مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال سیزدهم، شماره ۵۱، پاییز ۱۴۰۳، شاپا: ۲۳۸۳-۳۰۷۶

- **الگوی فضایی آسیب پذیری محیط-زیست در ایران**
  حبیب الله صادقی، افشین دانه کار، محمد جلال عباسی شوازی
- **برآورد نرخ فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش فعالیت-های انسانی در وقوع آن**
  امیرعلی عباس زاده، امیر صفاری، علی احمدآبادی
- **بررسی کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی و ارزیابی ظرفیت کانال‌های شهری کلات نادری جهت عبور...**
  زینت حسامی، محمدتقی دستورانی، فاطمه رضایی
- **پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا**
  رؤیا پناهی، محمدمهدی حسین زاده
- **بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه-بندی آن با استفاده از مدل راسگن**
  موسی عابدینی، پیام فتح الهی، بهروز نظافت تکنه
- **بررسی تغییرات فصلی و تأثیر عملیات اصلاح مرتع بر میزان تصاعد دی‌اکسید کربن**
  زهرا خرادمهر، سارا فرازمند، صاحب خورده بین
- **شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک‌های جنگلی در اثر تغییر اقلیم در ارتفاعات مختلف با استفاده از مدل Roth C**
  مهران میثاقی، احمد گلچین، محمدصادق عسکری
- **بررسی تغییر اقلیم و دگرگونی مؤلفه‌های طبیعی با تأکید بر سیلاب**
  عبدالحافظ پناهی، غلامرضا جانباز قبادی، صدرالدین متولی، شهریار خالدی
- **پیش‌نگری تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران بر اساس رویکرد همادی...**
  سکینه خان-سالاری، سیده عاطفه محمدی، زهرا قصابی، حسن صالحی
- **ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان لرستان با استفاده از تصاویر پیشرفته مادون‌قرمز**
  صمد خسروی یگانه، مصطفی کرم پور، بهروز نصیری
- **شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین**
  منصوره کوهی، ابراهیم اسعدی اسکویی
- **تحلیل تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید۱۹- و ارائه الگوی مبتنی بر یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی...**
  عباس ملکی ، صادق عابدی، علیرضا ایرج‌پور
- **پیش‌بینی خطرپذیری شهر خاش ناشی از مخاطره‌ی طوفان به روش کامبل و سری‌های جزئی**
  امید پیریان کلات، جواد جمشیدزهی، کرامت اله زیاری، رضا شفیع کناری
- **تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین**
  محمد کوهانی، جواد بهمنش
- **ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی بخش شاهو در مواجهه با خشکسالی**
  سحر ملکی ، محمد اکبرپور، امیدعلی مرادی

فصلنامه

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال سیزدهم، شمارهٔ پنجاه و یکم، پائیز ۱۴۰۳

شاپا چاپی: ۱۶۸۲-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۳۰۷۶

- **الگوی فضایی آسیب پذیری محیط¬زیست در ایران**
  حبیب الله صادقی، افشین دانه کار، محمد جلال عباسی شوازی
- **برآورد نرخ فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش فعالیت¬های انسانی در وقوع آن**
  امیرعلی عباس زاده، امیر صفاری، علی احمدآبادی
- **بررسی کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی و ارزیابی ظرفیت کانال‌های شهری کلات نادری جهت عبور...**
  زینت حصامی، محمدتقی دستورانی، فاطمه رضایی
- **پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا**
  رؤیا پناهی، محمدمهدی حسین زاده
- **بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه¬بندی آن با استفاده از مدل راسگن**
  موسی عابدینی، پیام فتح الهی، بهروز نظافت تکله
- **بررسی تغییرات فصلی و تأثیر عملیات اصلاح مرتع بر میزان تصاعد دی‌اکسید کربن**
  زهرا خرادمهر، سارا فرازمند، صاحب خورده بین
- **شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک‌های جنگلی در اثر تغییر اقلیم در ارتفاعات مختلف با استفاده از مدل Roth C**
  مهران میثاقی، احمد گلچین، محمدصادق عسکری
- **بررسی تغییر اقلیم و دگرگونی مؤلفه‌های طبیعی با تأکید بر سیلاب**
  عبدالحافظ پناهی، غلامرضا جانباز قبادی، صدرالدین متولی، شهریار خالدی
- **پیش‌نگری تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران بر اساس رویکرد همادی...**
  سکینه خان¬سالاری، سیده عاطفه محمدی، زهرا قصابی، حسن صالحی
- **ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان لرستان با استفاده از تصاویر پیشرفته مادون‌قرمز**
  صمد خسروی یگانه، مصطفی کرم پور، بهروز نصیری
- **شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین**
  منصوره کوهی، ابراهیم اسعدی اسکویی
- **تحلیل تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ و ارائه الگوی مبتنی بر یادگیری ماشین...**
  عباس ملکی ، صادق عابدی، علیرضا ایرج‌پور
- **پیش‌بینی خطرپذیری شهر خاش ناشی از مخاطره‌ی طوفان به روش گامبل و سری‌های جزئی**
  امید پیریان کلات، جواد جمشیدزهی، کرامت اله زیاری، رضا شفیع کناری
- **تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین**
  محمد کوهانی، جواد بهمنش
- **ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی بخش شاهو در مواجهه با خشکسالی**
  سحر ملکی، محمد اکبرپور، امیدعلی مرادی

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسؤل: دکتر سیدرضا حسین‌زاده
سردبیر: دکتر سیدرضا حسین‌زاده
هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

Prof. Victor R. Baker (Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona)
Prof. Ziyadin Çakir (Department of Geology, Istanbul Technical University)
Prof. Gao-Lin Wu (Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences)
Assistant Prof. Masoud Irannezhad (Civil Engineering University of Oulu, Finland)

حمید اجتهادی– استاد گروه زیست شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد
محمد رضا اصفهانی – استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
مرتضی اکبری – دانشیار بیابان زدایی ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
علیرضا راشکی – استاد بیابان زدایی ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
آذر زرین – دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد
شعبان شتایی جویباری – استاد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
حسین شفیع زاده مقدم- دانشیارمهندسی و مدیریت آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

بختیار فیضی زاده – دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS دانشگاه تبریز
منیژه قهرودی تالی– استاد جغرافیای طبیعی – ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی تهران
علیرضا کریمی – استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
غلامرضا لشکری پور- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد
حسین محمدزاده– استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد
ابوالفضل مسعودیان– استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان
مسعود میرزائی شهرابی– استاد شیمی معدنی گروه شیمی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد
مسعود مینائی – دانشیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد دانشگاه فردوسی مشهد
خلیل ولیزاده کامران– استاد، گروه سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز
احمد نوحه‌گر– استاد گروه برنامه ریزی مدیریت و آموزش محیط زیست دانشگاه تهران
مجتبی یمانی– استاد جغرافیا – ژئومورفولوژی گروه جغرافیا طبیعی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

مقالات نمودار آرای نویسندگان است و به ترتیب وصول و تصویب درج می‌شود.

بر اساس آئین‌نامه کمسیون نشریات وزارت علوم تحقیقات و فنآوری از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی- پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی و انجمن کواترنری ایران است

مدیر داخلی : دکتر مسعود رحیمی **کارشناس اجرایی :** سید محمد علی موسوی **ویراستاری انگلیسی :** مریم محمدی شاندیز
ویراستاری ادبی : دکتر جواد میزبان **حروف نگاری و صفحه آرایی:** نفیسه اسماعیلی **طراحی جلد :** امیراسفندیار عامل‌محرابی

بر اساس سیاست دانشگاه فردوسی مشهد این نشریه به صورت الکترونیکی چاپ می شود و هیچ نسخه کاغذی ندارد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیّات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی، کد پستی ۹۱۷۷۹۴۸۸۸۳
نشانی اینترنتی: http://geoeh.um.ac.ir E-mail:geo.eh@um.ac.ir

شماره پروانه: ۳/۲۷۱۱۱۶– **این مجله در نشست کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور مورّخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۰، رتبه علمی- پژوهشی دریافت کرده است.**

این مجلّه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام(ISC)
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
- پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)
- DOAJ (Directory of Open Access Journals)
- EBSCO Information Services

بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال سیزدهم، شمارهٔ پنجاه و یکم، پائیز ۱۴۰۳

شاپا چاپی : ۲۳۲۲-۱۶۸۲

شاپا الکترونیکی : ۳۰۷۶-۲۳۸۳

راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله برای چاپ در فصلنامه علمی ـ پژوهشی

جغرافیا و مخاطرات محیطی

نشریه **جغرافیا و مخاطرات محیطی** به دلیل تخصصی بودن فقط در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیطی (طبیعی و انسانی) پذیرای مقالات می باشد. مقاله ها باید حاصل کار پژوهشی نویسنده (یا نویسندگان) باشند و قبلاً در نشریه دیگری اعم از داخلی و خارجی و یا مجموعه مقالات همایش‌ها به چاپ نرسیده باشند و همچنین به طور همزمان برای نشریه دیگری نیز ارسال نشده باشند.

نحوه دریافت مقاله ها:

سیستم ارسال آنلاین: نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی تنها مقالاتی را در دستور کار قرار می دهد که از طریق وب سایت نشریه به نشانیhttps://geoeh.um.ac.ir/author ارسال شده باشند.

زبان و سبک: زبان مقالات مورد پذیرش نشریه فارسی به همراه چکیده مبسوط انگلیسی می باشد.

انواع مقالات:

- مقالات پژوهشی اصلی.
- مروری.
- مقالات کوتاه.
- یادداشت‌های فنی یا مقالات روش‌شناسی.
- مطالعات موردی.

تبصره:

مقاله‌های ارایه شده در همایش‌ها و مجامع علمی مشروط به اینکه با تغییرات قابل توجه و افزودن مطالب جدید همراه باشد، قابل بررسی خواهد بود.

مقاله‌های مروری که پیشرفت‌های جدید در موضوعات نشریه را در بر می‌گیرد، از نویسندگان مجرب و دارای مقالات پژوهشی در زمینه مورد نظر پذیرفته می‌شود.

آماده‌سازی مقاله

برای دریافت اطلاعات تکمیلی در خصوص نحوه نگارش بخش های مختلف مقاله نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی اینجا کلیک کنید.

بارگذاری فایل های تعارض منافع و تعهدنامه در زمان ارسال مقاله الزامی می باشد.

الزامات قالب‌بندی:

ساختار مقاله شامل بخش های زیر می باشد:

چکیده مبسوط انگلیسی شامل Introduction (Purpose, literature review, …), Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusion ، عنوان، چکیده، کلمات کلیدی، مقدمه، منطقه مورد مطالعه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، منابع

نکته مهم: به منظور بررسی دقیق صحت چکیده مبسوط انگلیسی، حتما هم متن فارسی و هم انگلیسی چکیده مبسوط ارسال شود.

محدودیت‌های تعداد کلمات :

متن اصل مقاله :۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ کلمه

چکیده مبسوط انگلیسی : ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ کلمه

کلمات کلیدی: حداقل ۳ و حداکثر ۶ عدد

تعداد منابع مقاله: برای مقالات پژوهشی بین ۲۰ تا ۵۰ و برای مقالات مروری بین ۵۰ تا ۳۰۰ منبع

راهنمایی در مورد فونت، حاشیه‌ها، فاصله‌گذاری خطوط و شماره‌گذاری صفحات:

متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان و به‌صورت تک‌ستونه ارسال شود.

کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات مقاله پس از حذف جداول و شکل ها از ۱۵صفحه تجاوز نکند.

حاشیه صفحه‌ها از بالا ۳/۵، از پایین ۳/۵، از راست و چپ ۳ سانتی‌متر باشد و فاصله سطرها ۱/۵ (۵ lines) تنظیم شود.

پاورقی در هر صفحه به‌صورت مستقل با شماره‌گذاری از یک آغاز شود.

تیترهای اصلی و فرعی شماره نداشته باشند.

تمام اعداد و ارقام در متن فارسی باشد و در صورت اعشاری بودن اعداد، ممیز به صورت (/) نوشته شود (اعداد فقط در جدول‌ها و شکل‌ها به انگلیسی است).

توضیح شکل‌ها (زیرنویس) و توضیح جدول‌ها (بالانویس) به دو زبان فارسی و انگلیسی باشد (در فارسی و انگلیسی مطابق هم باشند).

استنادهای درون متنی و منابع انتهای مقاله به زبان انگلیسی باشند (کلیه پرانتزهای باز و بسته استنادهای درون متنی با فونت فارسی باشد).

در کل متن، نیم‌فاصله‌ها رعایت شود.

فهرست‌های عددی یا بولتی (توپی خالی) نیم‌سانتی‌متر قبل از متن تورفتگی بخورد.

عنوان هر بخش یا زیربخش، با یک سطر خالی فاصله از انتهای متن بخش قبلی تایپ شود. در متن مقاله از شماره‌گذاری عنوان‌ها خودداری فرمایید.

فونت:

کلیه کلمات فارسی مقاله با قلم فارسی B Nazanin نوشته شود.

کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.

عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه ۱۴ نوشته شود.

عنوان‌های اصلی با اندازه ۱۳ توپر (Bold) نوشته شود.

متن مقاله با اندازه ۱۳ تایپ شود.

کلمات لاتین داخل متن با اندازه ۱۲ نوشته شود.

تمامی اسامی علمی به‌صورت ایتالیک درج شوند.

عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به‌ترتیب با اندازه ۱۲ و ۱۱ نوشته شود.

شماره جدول و شکل به-صورت توپر (Bold)بوده و کلیه شکل‌ها و جدول-ها بدون کادر باشند.

عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل-ها یکسان و اندازه قلم آن-ها از ۸ کوچکتر و از ۱۱ بزرگتر نباشد.

پاورقی در هر صفحه به‌صورت مستقل با شماره‌گذاری از یک آغاز شود و فونت آن برای زبان فارسی B Nazanin, 10 و زبان انگلیسی Times New Roman, 10 .

راهنمایی برای شفافیت و اختصار:

از حروف اختصاری بیش از حد استفاده نشود

وقتی حروف اختصاری برای اولین بار در یک متن به کار می روند، شکل کامل آن را درج کنید

چنانچه در چکیده و هم در کل مقاله از یک عبارت اختصاری استفاده کرده اید، عبارت اختصاری باید دو بار معرفی شود. یک بار در چکیده و بار دیگر وقتی برای اولین بار در متن اصلی ظاهر شده است -

جداول:

جداول باید به صورت متن قابل ویرایش ارسال شوند نه به صورت تصویر.

جداول را در کنار متن مربوطه یا در صفحه(های) جداگانه در انتهای مقاله خود قرار دهید.

به تمام جداول در متن اشاره شود.

جداول را با توجه به ظاهر شدن آن ها در متن به صورت متوالی شماره گذاری کنید.

زیرنویس را به همراه جداول ارائه دهید.

هر یادداشت در خصوص جدول را در زیر بدنه جدول قرار دهید.

از قوانین عمودی و سایه زدن در سلول های جدول اجتناب کنید.

جداول و نمودارها واضح باشند و ساختار مناسبی(light shading باشد نه table grid (داشته باشند و از اکسل کپی و چسبانده نشوند.

در جدول های مورد استفاده از منابع دیگر، ارجاع درون و برون متنی ضروری می باشد.

عنوان جدول‌ها بایستی بالای جدول وسط چین، B Nazanin 12 Bold و متن داخل جدول B Nazanin 11 باشد.

برای تمامی اطلاعات نوشته شده به زبان فارسی در داخل جداول در همانجا معادل انگلیسی هم ذکر گردد.

عنوان انگلیسی جدول ها نیز بایستی در زیر عنوان فارسی آن ها وسط چین، Times New Roman 12 Bold باشد.

شکل هاو تصاویر:

شکل ها، تصاویر و ... باید به صورت فایل های جداگانه همراه با متن اصلی ارائه شوند.

به شکل ها و تصاویر در متن مقاله اشاره شود.

تعداد تصاویر را با توجه به ترتیبی که در مقاله ظاهر می شوند، شماره گذاری کنید.

هر تصویر به عنوان یک فایل جداگانه با نامگذاری به صورت ۱، Fig.2 ارسال شود.

در شکل های مورد استفاده از منابع دیگر، ارجاع درون و برون متنی ضروری می باشد

برای تمامی اطلاعات نوشته شده به زبان فارسی در داخل اشکال(نقشه ها، نمودارها و غیره) در همانجا معادل انگلیسی هم ذکر گردد.

عنوان انگلیسی شکل ها نیز بایستی در زیر آن ها درج شود.

فرمول‌ها و روابط ریاضی

برای نمایش روابط و فرمول-های ریاضی از جدول دو ستونی با خطوط نامرئی استفاده شود.

تمام روابط ریاضی به‌ترتیب از ۱ شماره‌گذاری شوند و شمارهٔ هر رابطه با پرانتز جدا می‌شود.

روابط باید با اندازه فونت ۱۱ و قلم Times New Roman باشد.

واحدهای اندازه‌گیری

کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.

برای نوشتن واحدها از حالت نمایی استفاده شود (مثلاً به‌جای m/s از m s-1 استفاده شود).

منابع

شیوه نامه ای که باید در نوشتن منابع مورد استفاده قرار گیرد شیوه نامه انجمن روانشناسی آمریکا(APA) نسخه ۶ است. می‌توان برای افزایش بهره‌وری و راحتی در این‌کار از نرم -افزار WORD یا EndNote استفاده کرد. تعداد منابع مورد استفاده در مقاله بایستی برای مقالات پژوهشی بین ۲۰ تا ۵۰ و برای مقالات مروری بین ۵۰ تا ۳۰۰ منبع باشد.

استناد به منبع در متن مقاله (استنادهای درون‌متنی) و همچنین منابع انتهای مقاله (برون‌متنی) باید به انگلیسی نوشته شود و سال نشر نیز سال میلادی باشد.

اگر در مقاله از منبع فارسی استفاده شده باشد، باید اطلاعات منبع به زبان انگلیسی برگردانده شود.

اگر منبع مورداستفاده در مقاله، فارسی باشد؛ برای تبدیل اطلاعات کتابشناختی آن به انگلیسی، باید تمام اطلاعات آن (مانند نام نویسنده (نویسندگان)، عنوان منبع (نام نشریه، کتاب، گزارش، پایان‌نامه) و سایر اطلاعات موردنیاز) از صفحه عنوان انگلیسی یا سایت اینترنتی منبع گرفته شود. از ترجمه شخصی اطلاعات منابع فارسی خودداری نمایید.

برای استناد به منابعی که نسخه آنلاین دارند، به صفحه انگلیسی سایت منبع مراجعه کنید.

تمامی ارجاعات داخل متن باید به منبع مربوطه لینک شوند.

از ذکر منابع بی‌نام و غیرقابل‌دسترس خودداری شود.

منابع بر اساس حروف الفبای نام نویسندگان آورده می‌شود.

در منابع انتهای مقاله، نام همه نویسندگان ذکر شود و از آوردن عبارت et al. و others به‌جای آوردن نام سایر نویسندگان منبع، خودداری شود.

نام منبع (نشریه، کتاب و غیره) و ناشر مخفف نباشد و به‌طور کامل آورده شود.

برای استناد به مقاله‌هایی که هنوز منتشر نشده‌اند، به‌جای سال نشر از (In press) استفاده شود.

برای مقاله منتشرشده در نشریه، آوردن شماره نشریه (Issue) و شماره جلد الزامی است (طبق نمونه)، درصورتی‌که در اصل مقاله به شماره نشریه اشاره نشده است، می‌توان شماره را از سایت آن نشریه استخراج کرد.

منابعی که در اصل به زبان فارسی هستند بعد از برگرداندن به انگلیسی، با درج عبارت [In Persian] در انتها مشخص شوند.

برای مقاله‌های منتشرشده که DOI دارند، آوردن DOI در پایان هر منبع الزامی است DOI با آدرس دقیق ذکر شود.

برای کسب اطلاعات بیشتر در خصوص نحوه رفرنس دهی در بخش منابع(انتهای مقالات) اینجا کلیک کنید.

هزینه‌های مرتبط با انتشار

هزینه پردازش مقاله: نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی برای بررسی اولیه مقالات هیچ وجهی از نویسندگان دریافت نمی‌کند. اما مقالاتی که پس از طی کردن فرآیند داوری مورد پذیرش قرار بگیرند باید مبلغ چهار میلیون ریال بابت هزینه‌های ویراستاری و چاپ مقالات پرداخت نمایند.

دستورالعمل‌های تکمیلی برای نویسندگان:

مقاله خود را پس از انتشار، در پلتفرم‌های آکادمیک مانند ResearchGate، Academia.edu و Mendeley به اشتراک بگذارید.

یک شناسه ORCID ایجاد کنید و مقاله خود را به پروفایلتان متصل کنید.

مقاله خود را در شبکه‌های اجتماعی مانند توییتر، لینکدین و فیسبوک تبلیغ کنید.

از هشتگ‌های مرتبط استفاده کنید و افراد یا مؤسسات تأثیرگذار در حوزه خود را تگ کنید.

در ارائه‌های خود به مقاله منتشر شده در این نشریه اشاره کرده و لینک یا DOI آن را ارائه دهید.

اسلایدهای خود در خصوص مقاله را در پلتفرم‌هایی مانند SlideShare به اشتراک بگذارید.

مقاله خود را برای همکاران، پژوهشگران و گروه‌های تحقیقاتی مرتبط از طریق ایمیل ارسال کنید و لینک DOI مقاله را در امضای ایمیل خود قرار دهید.

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. ابوالفضل آزادی (استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)

۲. عبدالمجید احمدی (استادیار ژئومورفولوژی ، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی ، کرمانشاه)

۳. مرضیه اسمعیل پور(دانشیار اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه مراغه)

۴. نظام اصغری پور دشت بزرگ (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران)

۵. مرتضی اکبری (دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد)

۶. غلامرضا براتی (دانشیار جغرافیای طبیعی ،گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی)

۷. علی پناهی (استادیار گروه برنامه ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه ازاد اسلامی، تبریز)

۸. آزاده توکلی (دانشیار مهندسی عمران ، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی – مهندسی دانشگاه زنجان)

۹. ایرج جباری (دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی ، کرمانشاه)

۱۰. مهدی جوانشیری (دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد)

۱۱. میلاد حسنعلی زاده (دکتری تخصصی جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زنجان)

۱۲. ساره حسینی (استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت)

۱۳. سمیه خالقی (استادیار ژئومورفولوژی – گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه شهید بهشتی)

۱۴. مسعود رحیمی (استادیار ژئومورفولوژی– مدیریت محیطی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد)

۱۵. محمد رستمی خلج (استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری ، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ، استان خراسان رضوی)

۱۶. حمید شایان (استاد جغرافیای انسانی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد)

۱۷. حسین عساکره (استاد اقلیم شناسی،گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان)

۱۸. مصطفی قلی پور (دانش آموخته دکتری دانشکده محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

۱۹. فرانک کرمیان (دکتری توسعه کشاورزی ، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه)

۲۰. مجید کریم پور ریحان(دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، مرکزتحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران)

۲۱. علی گل کاریان (دانشیار مهندسی منابع طبیعی – آبخیزداری ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد)

۲۲. رئوف مصطفی زاده (دانشیار علوم و مهندسی آبخیز ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی)

۲۳. غلامرضا مقامی مقیم (دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان)

۲۴. اسماعیل نجفی (استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان)

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
• **الگوی فضایی آسیب پذیری محیط¬زیست در ایران** حبیب الله صادقی، افشین دانه کار، محمد جلال عباسی شوازی	۱
• **برآورد نرخ فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش فعالیت¬های انسانی در وقوع آن** امیرعلی عباس زاده، امیر صفاری، علی احمدآبادی	۳۵
• **بررسی کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی و ارزیابی ظرفیت کانال‌های شهری کلات نادری جهت عبور...** زینت حصامی، محمدتقی دستورانی، فاطمه رضایی	۵۶
• **پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا** رؤیا پناهی، محمدمهدی حسین زاده	۷۵
• **بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه¬بندی آن با استفاده از مدل راسگن** موسی عابدینی، پیام فتح الهی، بهروز نظافت تکله	۱۰۱
• **بررسی تغییرات فصلی و تأثیر عملیات اصلاح مرتع بر میزان تصاعد دی‌اکسید کربن** زهرا خرادمهر، سارا فرازمند، صاحب خورده بین	۱۲۹
• **شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک‌های جنگلی در اثر تغییر اقلیم در ارتفاعات مختلف با استفاده از مدل Roth C** مهران میثاقی، احمد گلچین، محمدصادق عسکری	۱۵۰
• **بررسی تغییر اقلیم و دگرگونی مؤلفه‌های طبیعی با تأکید بر سیلاب** عبدالحافظ پناهی، غلامرضا جانباز قبادی، صدرالدین متولی، شهریار خالدی	۱۸۴
• **پیش‌نگری تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران بر اساس رویکرد همادی...** سکینه خان¬سالاری، سیده عاطفه محمدی، زهرا قصابی، حسن صالحی	۲۱۴
• **ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان لرستان با استفاده از تصاویر پیشرفته مادون‌قرمز** صمد خسروی یگانه، مصطفی کرم پور، بهروز نصیری	۲۴۷
• **شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین** منصوره کوهی، ابراهیم اسعدی اسکویی	۲۸۰
• **تحلیل تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ و ارائه الگوی مبتنی بر یادگیری ماشین...** عباس ملکی ، صادق عابدی، علیرضا ایرج‌پور	۳۱۰
• **پیش‌بینی خطرپذیری شهر خاش ناشی از مخاطره‌ی طوفان به روش گامبل و سری‌های جزئی** امید پیریان کلات، جواد جمشیدزهی، کرامت اله زیاری، رضا شفیع کناری	۳۳۹
• **تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین** محمد کوهانی، جواد بهمنش	۳۶۷
• **ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی بخش شاهو در مواجهه با خشکسالی** سحر ملکی، محمد اکبرپور، امیدعلی مرادی	۳۹۳

بسمه‌تعالی

توافقنامه همکاری علمی

این توافقنامه فی‌مابین مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی و انجمن کواترنری ایران و به‌منظور همکاری در ادامه انتشار نشریه علمی با عنوان. جغرافیا و مخاطرات محیطی در زمینه بررسی مخاطرات محیطی منعقد می‌گردد.

ماده ۱- نشریه به‌صورت فصلنامه و هرسال چهار شماره به زبان فارسی منتشر می‌شود. صاحب‌امتیاز نشریه دانشگاه فردوسی مشهد بوده و اهداف آن عبارت‌اند از: گسترش و ارتقاء پژوهش در سطح کشور، کمک به ایجاد ارتباط و همکاری علمی بین محققین این زمینه در ایران، انتشار نتایج پژوهش‌های علمی.

ماده ۲- امور علمی نشریه را هیأت تحریریه که حداقل یک‌چهارم اعضای آن از اعضای انجمن هستند انجام خواهند داد.

تبصره ۱: انجمن متعهد می‌شود که حداقل دو نفر از اعضای هیأت تحریریه را از اعضای هیأت علمی دانشگاه‌ها انتخاب نماید.

تبصره ۲: یکی از اعضای هیأت تحریریه عضو دانشگاه فردوسی مشهد با پیشنهاد بالاترین مقام صاحب امتیاز و تأیید هیأت مدیره انجمن به عنوان سردبیر نشریه تعیین و با حکم بالاترین مقام صاحب امتیاز به این سمت منصوب خواهدشد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین‌نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

ماده ۳- دفتر نشریه در موسسه متقاضی نشریه خواهد بود و با مسئولیت مدیر مسئول اداره خواهدشد.

ماده ٤- روی جلد نشریه علاوه بر نشان دانشگاه فردوسی مشهد نشان انجمن کواترنری ایران با اندازه یکسان چاپ خواهد شد .

ماده ٥- در صفحه حقوقی تمامی شماره‌های نشریه، این جمله آورده شود «این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن کواترنری ایران است».

ماده ٦-کلیه هزینه‌های آماده سازی نشریه اعم از هزینه‌های داوری، حق‌الزحمه ویراستار مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ،... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

ماده ۷- هزینه‌های لیتوگرافی و چاپ نشریه (فیلم و زینگ، کاغذ، چاپ نشریه و جلد، صحافی) به صورت مشترک و با سهم مساوی توسط انجمن و موسسه متقاضی پرداخت خواهدشد.

ماده ۸- هرگاه یکی از طرفین قرارداد مایل به فسخ آن باشد بایستی تصمیم خود را حداقل شش‌ماه زودتر کتباً به اطلاع طرف مقابل برساند. در صورت توافق طرفین به فسخ توافقنامه، نتیجه توسط دبیرانجمن یا مدیرمسئول به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی‌کشور اعلام شود. موسسه متقاضی حداکثر به مدت شش ماه از تاریخ فسخ توافقنامه فرصت دارد تا با تکمیل مدارک و ارسال سه شماره آخر از نشریه به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، تقاضای اعتبار مستقل نماید تا مراحل ارزیابی نشریه صورت گیرد.

۹- این قرارداد در ۸ ماده و دو تبصره در دو نسخه به مدت ٤ سال تنظیم گردید و در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ توسط دکتر احمدرضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر فریبرز قریب (رییس هیات مدیره انجمن کواترنری ایران) به امضاء رسید.

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

معاونت پژوهش و فناوری

دکتر فریبرز قریب
رییس هیات مدیره انجمن کواترنری ایران

بسمه تعالی

توافقنامه همکاری علمی

این توافقنامه بین مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی و به منظور همکاری در ادامه انتشار نشریه (علمی پژوهشی) با عنوان جغرافیا و مخاطرات محیطی در زمینه بررسی مخاطرات محیطی منعقد می‌گردد.

ماده ۱: نشریه به صورت فصلنامه و هر سال چهار شماره به زبان فارسی منتشر می‌شود. صاحب امتیاز نشریه دانشگاه فردوسی مشهد بوده و اهداف آن عبارتند از: گسترش و ارتقاء پژوهش در سطح کشور، کمک به ایجاد ارتباط و همکاری علمی بین محققین این زمینه در ایران، انتشار نتایج نوآورانه پژوهشهای علمی.

ماده ۲: امورعلمی نشریه را هیأت تحریریه، که حداقل یک چهارم اعضای آن از بین اعضای انجمن هستند، انجام خواهند داد.

تبصره۱: انجمن متعهد می‌شود که لااقل دو نفر از اعضای هیأت تحریریه را از اعضای فعال هیأت علمی دانشگاه‌ها انتخاب نماید.

تبصره ۲: یکی از اعضای هیأت تحریریه عضو دانشگاه فردوسی با پیشنهاد بالاترین مقام صاحب امتیاز و تأیید هیأت مدیره انجمن به عنوان سردبیر نشریه تعیین و با حکم بالاترین مقام صاحب امتیاز به این سمت منصوب خواهدشد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین‌نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

ماده ۳: دفتر نشریه در موسسه متقاضی نشریه و با مسئولیت مدیر مسئول اداره خواهدشد.

ماده ۴: روی جلد مجله علاوه بر نشان دانشگاه فردوسی مشهد نشان انجمن ایرانی ژئومورفولوژی با اندازه یکسان نیز چاپ خواهدشد.

ماده ۵: در صفحه حقوقی تمامی شماره‌های نشریه، این جمله آورده شود «این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی است.

ماده ۶: کلیه هزینه‌های آماده سازی نشریه تا قبل از لیتوگرافی اعم از هزینه‌های داوری، حق‌الزحمه ویراستار، مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ،... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

ماده ۷: هزینه‌های لیتوگرافی و چاپ نشریه (فیلم و زینگ، کاغذ، چاپ نشریه و جلد، صحافی) به صورت مشترک و با سهم مساوی توسط انجمن و موسسه متقاضی پرداخت خواهدشد.

ماده ۸: هرگاه یکی از طرفین قرارداد مایل به فسخ آن باشد باید تصمیم خود را حداقل شش‌ماه زودتر کتباً به اطلاع طرف مقابل برساند. در صورت توافق طرفین به فسخ توافقنامه، نتیجه توسط دبیرانجمن یا مدیرمسئول به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور اعلام شود. موسسه متقاضی حداکثر به مدت شش ماه از تاریخ فسخ توافقنامه فرصت دارد تا با تکمیل مدارک و ارسال سه شماره آخر از نشریه به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، تقاضای اعتبار مستقل نماید تا مراحل ارزیابی نشریه صورت گیرد.

۹ـ این قرارداد در ۸ ماده و دو تبصره در دو نسخه به مدت ۴ سال تنظیم گردید و در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۲ توسط دکتر احمدرضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر مجتبی یمانی (رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی) به امضاء رسید.

دکتر مجتبی یمانی
رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

معاونت پژوهش و فناوری

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.1-34 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.84603.1417 Open access

Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran

Habib Allah Sadeghi[*a], Afshin Danehkar[*b], Mohammad Jalal Abbasi-Shavazi[c]

[a] *PhD scholar in Demography, Department of Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran .*
[b] *Professor in Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran .*
[c] *Academy Fellow, Vienna Institute of Demography, Austria.*
Professor in Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran .
Honorary Professor, School of Demography, Australian National University, Canberra, Australia.

Received: *25 September 2023* ***Revised:*** *17 November 2023* ***Accepted:*** *9 December 2023*

Abstract

A deeper understanding of environmental vulnerability is essential for crafting effective sustainability strategies. However, data deficiencies and methodological uncertainties often obscure a comprehensive grasp of the underlying issues. This study employs Google Earth Engine (GEE)-coded satellite imagery and the Getis spatial autocorrelation test to examine spatial patterns of environmental vulnerability in 397 Iranian counties from 2011 to 2021, framed within the theoretical lens of vulnerability.

The results of the Getis test reveal heterogeneous distributions and diverse vulnerability patterns across Iranian counties in various dimensions, including air pollution, greenhouse gas emissions, changes in temperature and precipitation, groundwater depletion, biodiversity threats, and soil erosion, particularly in the central, southern, eastern, and northern regions. Emphasizing the role of distinct spatial patterns in terms of "sensitivity" and "exposure," this research suggests that environmental policies in Iran should be tailored to regional spatial disparities and socio-ecological characteristics.

This approach can enhance adaptive capacity and mitigate environmental vulnerability in critical areas. The use of algorithmic techniques for environmental vulnerability indexing, combined with spatial data and population analysis, provides a robust framework for future research. This framework can be applied in national and regional planning to alleviate environmental pressures and improve sustainability.

Keywords: Environmental Vulnerability, Google erarth Engine(GEE) ,Spatial Autocorrolation, Sustainability Strategies, Regional Disparities, Adaptive Capacity.

[*] .Corresponding authors:
Habib Allah Sadeghi- Email: *habib.sadeghi@ut.ac.ir* Tel:+989165884674
Afshin Danehkar Email: *danehkar@ut.ac.ir* Tel:+989123094861

How to cite this Article: Sadeghi, H A., Danehkar,A., & Abbasi-Shavazi, M J. (2024). Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 1-34.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

ISSN (Online):2383-3076 ISSN (Print):2322-1682 جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۴-۱

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.84603.1417 دسترسی آزاد

الگوی فضایی آسیب‌پذیری محیط‌زیست در ایران

حبیب الله صادقی[۱]- دانشجوی دکتری جمعیت شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

افشین دانه کار[۲]- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

محمد جلال عباسی شوازی- الف) عضو آکادمی، موسسه جمعیت شناسی وین، اتریش، ب) استاد گروه جمعیت شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، و ج) استاد مدعو، موسسه مطالعات جمعیتی، دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا، استرالیا.

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۷/۳ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۲۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۱۸**

چکیده

شناخت سطح خرد آسیب‌پذیری محیط‌زیست از لحاظ فنی و نظری به‌عنوان نقشه راه دقیق در پایداری محیط‌زیست عمل می‌کند. باوجوداین ضعف داده و عدم قطعیت روشی فهم درست مسائل ناشی از آن را مغفول گذاشته است. مقاله پیش‌رو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کدنویسی شده گوگل‌ارث‌انجین (GEE) و روش خودهمبستگی فضایی گتیس در قالب نظریه‌ی «آسیب‌پذیری» به بررسی و تحلیل الگوهای فضایی آسیب‌پذیری محیط‌زیست ۳۹۷ شهرستان ایران طی‌سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ می‌پردازد. نتایج آزمون گتیس نشان دهنده توزیع نابرابر و الگوهای متنوع آسیب‌پذیری شهرستان‌های ایران در ابعاد مختلف ازجمله آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، تغییرات دما و بارش، کاهش آب‌های زیرزمینی، تهدید تنوع زیستی و فرسایش خاک، به‌ویژه در مناطق مرکزی، جنوب، شرق و نوار شمالی خواهد بود. به همین ترتیب، این پژوهش با تأکید بر نقش الگوهای فضایی متفاوت در ابعاد «حساسیت» و «قرار گرفتن در معرض خطر»، پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی در ایران باید با توجه به نابرابری‌های فضایی و متناسب با ویژگی‌های جمعیتی و بوم‌شناختی هر منطقه تنظیم شوند. این رویکرد می‌تواند به بهبود ظرفیت سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری محیط‌زیستی در مناطق بحرانی کمک کند. استفاده از تکنیک‌های الگوریتمی برای شاخص‌سازی آسیب‌پذیری محیط‌زیستی و تلفیق داده‌های فضایی با تحلیل‌های جمعیتی، چارچوبی مؤثر برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌دهد که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای به‌منظور کاهش فشارهای محیطی و بهبود پایداری محیط‌زیستی به کار گرفته شود.

۲. نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۵۸۸۴۶۷۴ Email: *habib.sadeghi@ut.ac.ir*

۲. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۰۹۴۸۶۱ Email: *danehkar@ut.ac.ir*

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری محیط‌زیستی ، موتور گوگل‌ارث (GEE) ، خودهمبستگی مکانی،راهبردهای پایداری، تفاوت‌های منطقه‌ای، ظرفیت سازگاری.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در حال حاضر به‌عنوان یک تهدید جدی برای جوامع مطرح می‌باشد، ریسک‌های محیط زیستی[1] است که نه‌تنها آرامش و امنیت را از زندگی انسان‌ها دور می‌کند، بلکه موجودیت بشر را نیز تهدید می‌کند (Sadeghi, Azizi & Sadeghi, 2022)؛ بنابراین، با افزایش آگاهی نسبت به قریب‌الوقوع بودن اثرات تغییرات محیط‌زیست بر جمعیت‌های انسانی، برخی از سیاست‌گذاران و اکثر جامعه علمی را برانگیخت تا خواهان اقدام مؤثرتری باشند (Guzmán & de México, 2013). در همین راستا ارزیابی اکوسیستم هزاره سازمان ملل[2] (۲۰۰۵) هشدار داد که «فعالیت‌های انسانی چنان بر عملکرد طبیعی زمین فشار وارد می‌کند که توانایی اکوسیستم‌های سیاره برای حفظ نسل‌های آینده را دیگر نمی‌توان بدیهی تلقی کرد» (Lee & Diop, 2009). چراکه تقاضای انسان در سیاره زمین از عرضه منابع پیشی گرفته و فشار بیش از توان ظرفیت بر اکوسیستم‌ها، کاهش تنوع زیستی در سطح جهانی و همچنین افزایش سطح منواکسید کربن[3] در اتمسفر که خود باعث افزایش دمای جهانی، تغییرات آب‌وهوا و اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌شود، رخ خواهد داد (Guzmán & de México, 2013).

علاوه بر این، همان‌طور که در گزارش معتبر منتشرشده توسط مرکز تاب‌آوری استکهلم[4] منعکس شد، پویایی جمعیت‌ها و استفاده نادرست از منابع مادی، انرژی و زیستی زمین، توسط سیستم اقتصادی جهانی در حال حاضر از مرزهای سیاره‌ای در سه حوزه (تغییر آب‌وهوا، تنوع زیستی و ورودی نیتروژن به بیوسفر) فراتر رفته و حداقل در شش حوزه دیگر شناخته‌شده نیز فراتر خواهد رفت (Rockström et al., 2009). در همین راستا اکوسیستم‌های طبیعی آن‌چنان به‌وسیله تخریب محیط‌زیست تحت تأثیر قرارگرفته که قابلیت لازم برای خود احیائی و سازگاری در آن‌ها به پایین‌ترین حد ممکن رسیده است(Reed, 2008)؛ بنابراین با توجه به موارد فوق تخریب محیط‌زیست به‌عنوان یک مسئله مهم و حیاتی نگرانی‌های جهانی بسیاری را برانگیخته است. بااین‌وجود به دلیل ضعف داده‌های ثبتی و عدم قطعیت در روش‌های سنجش آسیب‌پذیری، امکان ارزیابی یکپارچه محیط‌زیست از رهیافت نظری را دشوار کرده است.

1. Environmental risks
2. Millennium Ecosystem Assessment
3. CO_2
4. Stockholm Resilience Center

در همین راستا و از رهیافت نظری محیط‌زیست می‌توان اشاره کرد یکی از مهم‌ترین دیدگاه‌ها در موردحفاظت از محیط‌زیست، نظریه آسیب‌پذیری است؛ چراکه امکان بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری محیط-زیست در ابعاد حساسیت[1] و قرار گرفتن در معرض خطر[2] را به ورطه تحلیل می‌کشاند. اصطلاح «آسیب‌پذیری[3]» از کلمه لاتین vulnus به معنای «زخم» گرفته شده است. ازاین‌رو آسیب‌پذیری به معنای واقعی کلمه «توانایی زخمی شدن» است (Torabi, Saravani, Sadeghi & Jahanbazian, 2024; Gallopín, 2006). سایر تعاریف عمومی این اصطلاح مشابه هستند، به‌عنوان‌مثال «پتانسیل از دست دادن»(Cutter, 1996) یا «مستعد بودن برای آسیب دیدن»(Adger, 2006) یا «درجه‌ای که یک سیستم احتمالاً به دلیل در معرض خطر بودن، آسیب می‌بیند» (Turner, 2015). آسیب‌پذیری حتی قبل از اینکه کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های بهداشت عمومی، توسعه پایدار و تغییرات آب و هوایی پیدا کند، یکی از مفاهیم اساسی در رشته‌های تحقیقی مرتبط با مخاطرات طبیعی بوده است (Turner, 2015 Adger, 2000; Füssel, 2007).

در ادبیات گسترده آکادمیک، آسیب‌پذیری اصطلاحی است که با انواع پیامدهای خاص مدیریت سوانح و به‌طورکلی با خطرات طبیعی مرتبط است (Alwang, Siegel & Jorgensen, 2001). علاوه بر این، هم جغرافیای انسانی و هم بوم‌شناسی انسانی آسیب‌پذیری را به تغییرات محیطی مرتبط می‌داند (Adger, 2006). این در حالی است که تحقیقات دیگر آسیب‌پذیری را برحسب سطح خطر، ظرفیت بازیابی و پاسخ به آن تعریف می‌کند؛ بنابراین، آسیب‌پذیری علاوه بر معیارهای خطر که با جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در ارتباط است، توانایی مقابله با خطرات و شوک‌های مختلف را نیز توصیف می‌کند (Chambers, 1989; Proag, 2014)؛ بنابراین دو جنبه اساسی در بحث آسیب‌پذیری وجود دارد: نخست، جنبه خارجی که به عناصر ساختاری شامل میزان حساسیت و خطر مواجهه (McCarthy, 2001) و دوم، جنبه داخلی که به توانایی پاسخگویی و مقابله با عوامل تنش‌زا و اقدامات لازم برای غلبه بر آن‌ها اشاره دارد (Bohle, 2001; Chambers, 1989).

همان‌طور که ادگر (Adger, 2006) اشاره دارد، قرار گرفتن در معرض عوامل تنش‌زا، حساسیت و ظرفیت سازشی، سه عنصر حیاتی آسیب‌پذیری هستند. سگنوئن و همکاران (Segnoen et al, 2021) نیز ضمن تأکید بر ویژگی‌های فوق اشاره می‌کنند که آسیب‌پذیری توسط عوامل یا فرآیندهای اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی و محیطی تعیین می‌شود که حساسیت یک سیستم را نسبت به تأثیر مخاطرات افزایش می‌دهد. قرارگرفتن در معرض خطر و حساسیت زمانی که با هم مشاهده می‌شوند، تصویری از تأثیرات بالقوه محیط‌زیست بر یک ویژگی خاص ایجاد می‌کنند. این اثرات بالقوه سناریوهای نظری هستند که ظرفیت سازشی را در نظر نمی‌گیرند؛ بنابراین باید به‌عنوان مجزا از رتبه‌بندی آسیب‌پذیری کلی در نظر گرفته شوند. هنگامی‌که این سه مؤلفه با هم

1. Sensitivity
2. Exposure
3. Vulnerability

در نظر گرفته می‌شوند، می‌توانند برای ایجاد یک برآورد کلی از آسیب‌پذیری استفاده شوند. در واقع، این مفهوم ترکیبی آسیب‌پذیری، ابزار تحلیلی قدرتمندی را برای بررسی و سنجش جدی‌تر آسیب‌پذیری فراهم می‌کند. توصیف حالت‌های حساسیت محیط‌زیست به آسیب، شکنندگی، خطر و ظرفیت سازشی در سیستم‌های مختلف از سوی دولت‌ها و تصمیم‌گیرندگان بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Bardsley & Wiseman, 2012 Vogel, Susanne, Roger & Geoffrey, 2012.,).

با توجه به موارد فوق، واکاوی فضایی و زمانی محیط‌زیست و درنتیجه، تأیید نظریه آسیب‌پذیری ارائه شده توسط هیأت بین دولتی تغییرات اقلیمی[1] (۲۰۱۳) در مورد محیط‌زیست ایران می‌تواند به بسیاری از سؤالات پاسخ دهد و همچنین توجه سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران را به وضعیت کنونی محیط‌زیست جلب کند. علاوه بر این، توانایی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در مورد مسائل جامعه مثل محیط‌زیست را به سیاست مدران ارائه می‌کند. به همین ترتیب، تمرکز اصلی این تحقیق بر نظریه آسیب‌پذیری و جنبه داخلی آن یعنی آسیب‌پذیری در ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن و همچنین نقش پویایی جمعیت‌ها در افزایش ظرفیت سازشی خواهد بود. ازاین‌رو، تحقیق حاضر درصدد است به این سؤال که در ابتدا وضعیت محیط‌زیست ایران در دو بعد حساسیت و در معرض خطر بودن چگونه است؟ و آیا الگوی فضایی خاصی در این دو بعد آسیب‌پذیری وجود دارد؟ پاسخ دهد.

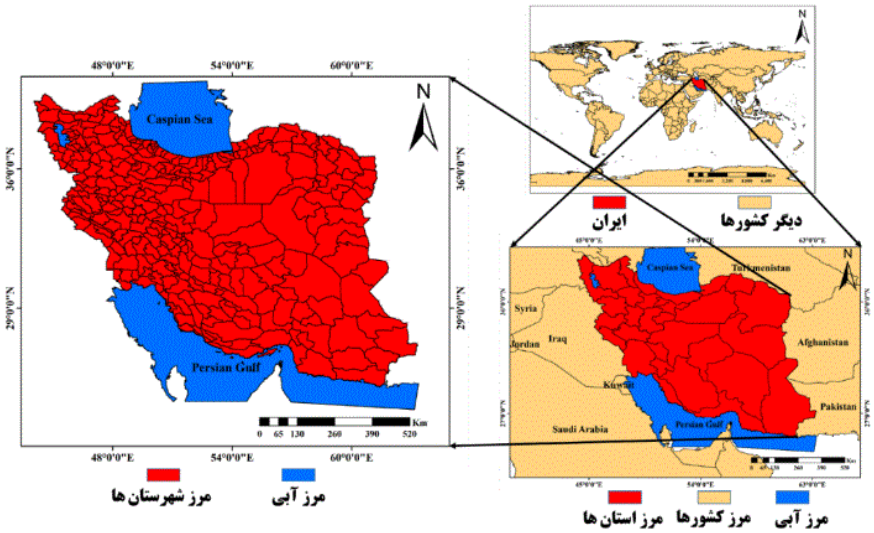
۲. مواد و روش

۲-۱ موقعیت منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه مطابق شکل ۱ و بر مبنای تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰ تعداد ۳۹۷ شهرستان ایران در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ خواهد بود که بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه تا ۶۳ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۴ درجه شمالی واقع شده است. کشور ایران با تنوع بسیار زیاد اقلیمی، خاکی، اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی مساحتی معادل ۱/۶۲۰ میلیون کیلومترمربع دارد. اقلیم غالب ایران فراخشک و خشک بیابانی[2] (۶۳ درصد کشور) بوده و مقدار متوسط بارندگی آن ۲۵۰ میلی‌متر است (Mohammadi, Karimzadeh, Pourmanafi & Soltani, 2018).

1 . Intergovernmental Panel on Climate Change

۲ . مطابق طبقه بندی دومارتون (De Martonne)



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲ روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و روش آن تحلیل ثانویه است که سطح تحلیل آن مطابق شکل ۱ و بر مبنای تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰ تعداد ۳۹۷ شهرستان ایران در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ خواهد بود. با توجه به موارد فوق، به‌منظور تحقق هدف پژوهش حاضر، در ابتدا چارچوب نظری و علمی موضوع بررسی و در ادامه روند تحقیق مطابق گزارش وضعیت محیط‌زیست ایران و مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۶) با تمرکز بر داده‌های محیط‌زیست شامل ۶ مجموعه داده آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، منابع آبی، فرسایش خاک، تنوع زیستی و تغییر اقلیم برای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری محیط‌زیست ایران موردتوجه قرار گرفت (Sadeghi, 2023). در همین راستا یکی از آلاینده‌های اصلی هوا ذرات معلق[1]، به‌ویژه ذرات با قطر آئرودینامکی کمتر از ۲/۵ میکرون[2] و ۱۰ میکرون است، که هنوز علی‌رغم تلاش‌های بسیار برای کنترل و کاهش آن، به‌عنوان یک مشکل فراگیر باقی مانده است. اگرچه اندازه‌گیری‌های مربوط به ایستگاه‌های زمینی پایش غلظت ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون به دلیل عدم پوشش کلیه مناطق بررسی و مطالعه آلودگی و اثرات ناشی از این ذرات ناکافی است (Raispour, 2021)، اما دورسنجی ماهواره‌ای در بسیاری از مطالعات به دلیل در دسترس بودن داده‌ها در یک شرایط با پوشش کامل و یکنواخت جهت دستیابی به توزیع بزرگ‌مقیاس ذرات استفاده شد (Han et al., 2015; Kloog et al., 2015; Chudnovsky, 2021)؛ که محصول متداول

[1]. PM
[2]. PM2.5

ماهواره‌ای برای برآورد غلظت زمینی ذرات ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون، عمق نوری هواویزها از طریق ماهواره مادیس با وضوح ۱۰۰۰ متر می‌باشد (Raispour, 2021).

گازهای گلخانه‌ای مجموعه‌ای از گازهای بخار آب، دی اکسیدنیتروژن، دی اکسید کربن و متان را در بر می‌گیرند. امروزه به علت تولید بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای احتمال می‌رود که زمین از حالت استاندارد گرم‌تر شده و باعث، آب شدن یخ‌های قطبی و ایجاد سیل در نقاطی از جهان، افزایش فعالیت‌های زمین‌شناختی پوسته، زمین‌لرزه‌ها، سونامی‌ها، آتشفشان‌ها و طوفان‌ها بیشتر و اسیدی‌تر شدن آب اقیانوس‌ها (و در نتیجه صدمه به موجودات آبزی) شود (Azmi & Motiee, 2011)؛ بنابراین همان‌طور که اشاره شد دو گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن و متان از طریق دو ماهواره سنتینل و گوست به‌عنوان مهم‌ترین گازهای مطرح(IPCC, 2013) موردبررسی قرار گرفت.

تغییرات اقلیمی ذیل دو مؤلفه دمای سطح و بارش مدل‌سازی و مورداستفاده قرار می‌گیرد (IPCC, 2013). از آنجایی دمای سطح زمین یک متغیر کلیدی در آنالیز و مدل‌سازی بیلان انرژی سطح، رطوبت سطحی، تبخیر و تعرق و مطالعات تغییر اقلیم در مقیاس‌های گوناگون است (Sabziparvar & Nazemosadat, 2016; Lafortezza, Carrus, Sanesi & Davies, 2009). می‌توان به‌وسیله ماهواره‌ای دور سنجی مادیس با رزلوشن ۱۰۰۰ متر در بازه‌های زمانی کوتاه نمایشی سینوپتیکی از دمای سطح زمین را ارائه کرد (Rozenstein, Qin, Derimian & Karnieli, 2014). علاوه براین، بارش یا بارندگی مهم‌ترین عاملی است که به‌طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد (Raispour, 2021). همان‌طور که اسکندری و همکاران (Eskandari, Ahmadloo, Pourghasemi, Ahangaran & Rezapour, 2023) اشاره می‌کنند میانگین بارندگی در کشور ایران به‌طور میانگین ۲۴۰ میلی‌متر است که از این مقدار حدود ۷۰ درصد آن مستقیماً تبدیل به بخار می‌شود. علاوه براین، برآورد مقدار بارش از طریق تصاویر پنج‌روزه ناسا با کیفیت ۵۰۰۰ متر برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی از قبیل سیل، خشکسالی و رانش زمین از اهمیت بالایی برخوردار است (Eskandari et al., 2023).

افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی (که دومین منبع آب شیرین در دنیا است) به‌عنوان چالشی جدی در بیشتر کشورها ایجاد شده است (Cunningham, Sharp, Hiebert & James, 2003). پمپاژ زیاد آب، چهره‌ی زمین را دگرگون خواهد کرد؛ به‌طوری‌که کیفیت آب‌ها را کاهش و هزینه استحصال آن را افزایش می‌دهد (Issazadeh & Argany, 2021; Nie et al.,2019). در چند دهه اخیر در دشت‌های مختلف کشور ایران نیز افت سطح آب زیر زمینی شکل گرفته و استفاده از تکنیک دور سنجی و تصاویر ماهواره گریس در زمینه‌های مختلف محیط زیستی به‌ویژه منابع آب زیر زمینی گسترش یافته است (Farokhnia & Morid, 2014).

مجموعه‌ای از مطالعات در ارتباط با شاخص پوشش گیاهی نرمال شده نشان می‌دهد که مناطق با پوشش گیاهی بیشتر امکان بیشتری را برای زیست انواع گونه‌های جانوری فراهم می‌کند (De Jong, Verbesselt,

(Schaepman & De Bruin, 2012). به همین منظور از تصاویر روزانه مادیس با وضوح ۲۵۰ متر و تفاوت بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز شاخص پوشش گیاهی نرمال شده به‌منظور بررسی ابعاد محیط زیستی پوشش گیاهی، تراکم پوشش جنگل‌ها و بازنمایی تنوع زیستی استفاده شد.

فرسایش خاک[1]، سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل مختلف محیطی نظیر آب‌وهوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Chen et al., 2019; Thomas, Joseph & Thrivikramji, 2018; Lee, Chu, Guzman & Botero-Acosta, 2021). بااین‌حال، مداخلات انسانی از طریق تغییر کاربری زمین[2]، فعالیت‌های کشاورزی و ساختمانی می‌تواند این فرآیند را سرعت بخشد (Vanacker et al., 2019; Diwediga, Le, Agodzo, Tamene & Wala, 2018). ازاین‌رو، امروزه فرسایش خاک به‌طور گسترده‌ای توسط مدل راسل محاسبه می‌شود (Paul, Techen, Robinson & Helming, 2019).

با توجه به موارد فوق و مطابق جدول ۱ داده‌های مورداستفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس[3] (ذرات معلق، دمای سطح، تنوع زیستی)، ماهواره سنتینل و گوست[4] (گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسید کربن)، تصاویر ماهواره‌ای GPM و Trmm و شبیه‌سازی پنج‌روزه ناسا[5] (بارش)، ماهواره گریس[6] (آب‌های زیر زمینی)، نقشه خاک فائو[7]، نقشه مدل رقومی ارتفاع ایران و مدل راسل[8] (فرسایش خاک) از طریق کد نویسی در محیط ابری گوگل ارث انجین[9] به دست آمد. به‌طورکلی در بحث داده‌های مورداستفاده امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تکمیل و ارائه داده‌های محیط‌زیستی به‌طور خاص در پایش آلودگی هوا (Han et al, 2015; Kloog et al., 2015; Chudnovsky, 2021; Karimian et al., 2016)، تغییرات اقلیمی (Rozenstein et al., 2014; Weng, Fu & Gao, 2014; Ashouri et al., 2015; Kirschbaum et al., 2017; Yuan et al., 2018; Tang, Clark, Papalexiou, Ma & Hong, 2020)، گازهای گلخانه‌ای (Yoshida et al., 2011; Saxena and Naik, 2019; Schneising et al., 2019)، تنوع زیستی (Rannow & Neubert, 2014; Najafi, Darvishsefat, Fatehi & Attarod, 2020)، منابع آب زیرزمینی (Feyisa, Meilby, Fensholt & Proud, 2014; Jiao, Zhang & Wang, 2015; Moshayedi & Jahangir, 2021; Mohammadi et al., 2018; Teng et al., 2016; Lee et al., 2021) و فرسایش خاک (Famiglietti et al., 2011) با توجه به تنوع اقلیم‌ها موردتوجه قرار گرفته است.

1. Soil Erosion
2. Land-use change
3 . MODIS
4. Sentinel & GOSAT
5. NASA Pentad Precipitation
6. Greece
7. FAO
8. RUSSEL
9. Google Earth Engine

جدول ۱- زمان و منبع جمع‌آوری داده‌های مورداستفاده

Table 1- Time and data collection source

زمان Time	کیفیت (m) Quality	منبع جمع‌آوری Data collection Source	ماهواره Satellite	داده Data	
2011.03.20-2022.03.20	1000	"MODIS/006/MCD19A2_GRANULES" select('Optical_Depth_047')	Modis	ذرات معلق Particulate Matter	
	1000	("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CH4") select('CH4_column_volume_mixing_ratio_dry_air')	Sentinel & Gosat	متان Methane	گازهای گلخانه‌ای Greenhouse Gases
		("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO") select('CO_column_number_density').		کربن Carbon	
	5000	("UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD")	5-day Nasa	بارش Rain	تغییرات اقلیمی Climate Change
	1000	("MODIS/006/MOD11A1") select('LST_Day_1km').	Modis	دما Temp.	
		('NASA/GLDAS/V022/CLSM/G025/DA1D') select('GWS_tavg')	Grace	آب‌های زیر زمینی Groundwater	
	250	("MODIS/006/MOD13Q1") select('NDVI').	Modis	تنوع زیستی Biodiversity	
	5000	("UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD")	5-day Nasa	باران Rain	فرسایش خاک راسل Soil erosion by the RUSLE model
	250	("MODIS/006/MOD13Q1") select('NDVI').	Modis	پوشش گیاهی Vegetation Cover	
	30	DEM	DEM	توپوگرافی Topography	
	30	DEM	DEM	حفاظت Conservation	
	30	DSMW	FAO Soil Map	خاک Soil	

در ادامه برای نشان دادن الگوهای فضایی موجود در داده‌های تحقیق از آزمون Getis استفاده شد. تحلیل لکه‌های داغ آماره (Getis- Ord) می‌تواند مناطقی را که میانگین محلی آن‌ها بیشتر از میانگین کل است مشخص کند (Getis & Ord, 1996). این ابزار نه‌تنها برای تائید یا رد وجود خودهمبستگی فضایی محلی است، بلکه اطلاعات قابل نقشه شدن را برای بصری کردن داده‌ها فراهم می‌کند (Carroll, Reid & Smith, 2008; Hinman, 2017). ازاین‌رو به‌منظور بررسی ترکیب حوزه فضایی طبق رابطه ۱ از آماره گتیس استفاده شد.

$$Gi^* = \frac{\sum_{j \neq i} w_{ij}\, x_j - w_i \bar{x}}{s\sqrt{\frac{n s_{1i} - w_i^2}{n-1}}}$$ رابطه ۱

در رابطه فوق W_{ij} یک وزن مکانی است و مناطق همسایه j به منطقه i را تعریف می‌کند، W_i مجموع وزنی مکانی W_{ij} است. در گام آخر از دیدگاه پسا اثبات‌گرایی[1] برای اثبات نظریه آسیب‌پذیری با بررسی داده‌های محیط‌زیست در ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

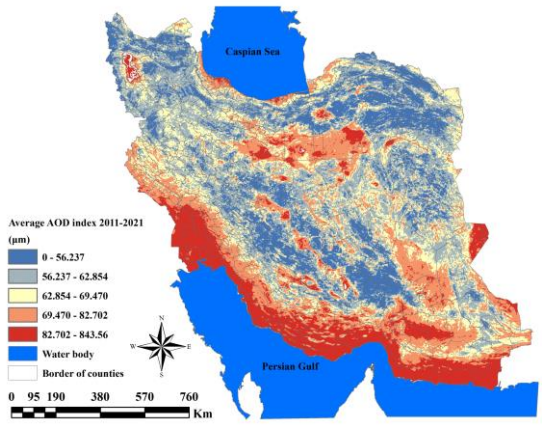
ابتدا یافته‌ها حول چند محور کلیدی به‌صورت توصیفی از روند و الگوی فضایی پارامترهای آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، تغییرات اقلیمی، آب‌های زیرزمینی، تنوع زیستی، فرسایش خاک ارائه، سپس نتایج آزمون آماری خودهمبستگی فضایی گتیس در بعد میانگین سالانه هر پارامتر (برای نشان دادن شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری و شناسایی محیط‌های آسیب‌پذیر)، عرضه و در انتها میزان رشد سالانه هر پارامتر (برای نشان دادن حساسیت) ارائه می‌شود.

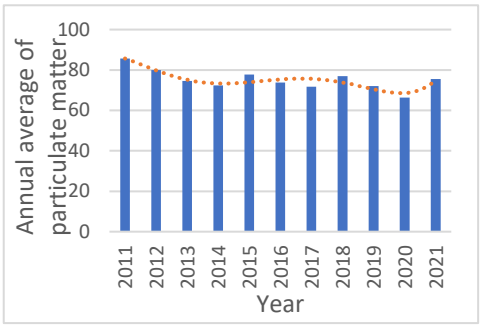
۳-۱ یافته‌های وضعیت محیط‌زیست ایران

گردوغبار:

نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که به‌طور خاص ذرات معلق ایران در نوار مرزی غرب تا جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق را پوشش می‌دهد که دریاچه ارومیه و دو کانون مرکزی ذرات معلق در مرکز کشور نیز قابل مشاهده است. علاوه براین، نتایج میانگین کشوری ذرات معلق نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ میانگین سالانه شاخص ذرات معلق ۸۵/۷۲ بود که در سال ۱۳۹۴ به مقدار ۷۷/۷۸ و در سال ۱۴۰۰ به مقدار ۷۵/۵۹ کاهش می‌یابد. همچنین در سال ۱۳۹۰ شهرستان ارسنجان فارس با میانگین ۱۴۵ میکرون آلوده‌ترین شهرستان ایران و شهرستان بهار استان فارس با مقدار میانگین ۱۴ پاک‌ترین شهرستان کشور بوده است. بااین‌حال در سال ۱۴۰۰ شهرستان بندرلنگه، استان هرمزگان با مقدار ۱۵۵ آلوده‌ترین و شهرستان بردسیر، استان کرمان با میانگین ۲۶/۵۵ میکرون پاک‌ترین شهرستان ایران بوده است.

1. Post positivism





میانگین ده‌ساله ذرات معلق

The 10-year average of particulate matter

روند میانگین ده‌ساله ذرات معلق

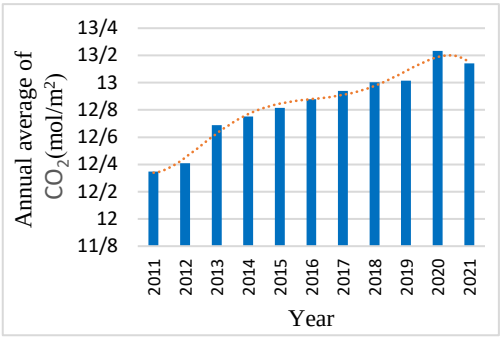
The 10-year trend of particulate matter

شکل ۲- الگوی فضایی و روند تغییرات میانگین ذرات معلق کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.2. The Spatial pattern and trend of changes in the average particulate matter across Iran from 2011 to 2021

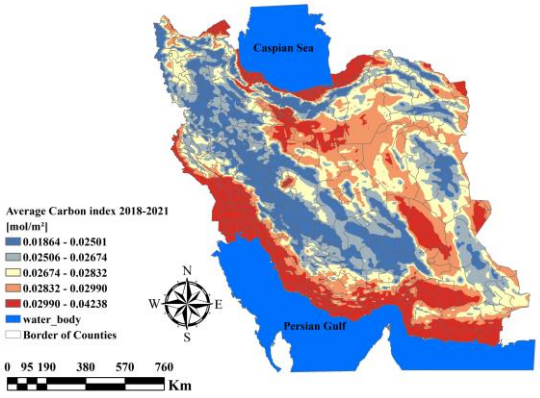
گازهای گلخانه‌ای:

توزیع گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در کشور مطابق شکل ۳ است. به‌طوری‌که شهرستان‌های نوار غرب تا جنوب و جنوب شرق و نوار شمالی کشور به همراه نقاط مرکزی کانون اصلی انتشار گاز گلخانه‌ای کربن پایه بوده است. علاوه براین روند سالانه انتشار دی‌اکسید کربن نیز نشان می‌دهد که انتشار آن از سال ۱۳۹۰ با میانگین ۱۲/۳۴ به میانگین ۱۳/۲۴ در سال ۱۴۰۰ رسیده است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد میانگین انتشار دی‌اکسید کربن با گذشت زمان در حال افزایش است و شهرستان‌های نوار شمالی، نوار غرب تا جنوب شرق و مرکزی بالاترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده و به‌عنوان کانون اصلی انتشار دی‌اکسید کربن حائز اهمیت هستند. علاوه براین نتایج انتشار گاز متان (شکل ۳) نیز نشان می‌دهد شهرستان‌های مرکزی به سمت شمال شرق و شرق، نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق به همراه نوار شرق تا شمال شرق کشور بیشترین مقدار انتشار گاز متان را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و شهرستان‌های غربی کمترین مقدار انتشار را داشته‌اند. نتایج روند سالانه انتشار دی‌اکسید کربن نیز نشان می‌دهد که از سال ۱۳۹۰ با مقدار میانگین ۱۹۰۵ تا سال ۱۳۹۴ با مقدار ۱۹۴۱ روند انتشار افزایشی و بعد از آن تا سال ۱۳۹۷ (تقریباً مصادف با همه‌گیری کووید ۱۹) با مقدار ۱۸۲۷ انتشار دی‌اکسید کربن به‌صورت میانگین کاهشی و مجدداً روند افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در سال ۱۴۰۰ به مقدار میانگین ۱۹۰۷ می‌رسد.



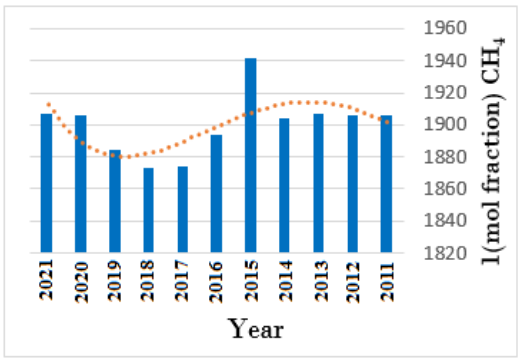
روند میانگین ده‌ساله دی‌اکسید کربن

The 10-year trend of CO_2



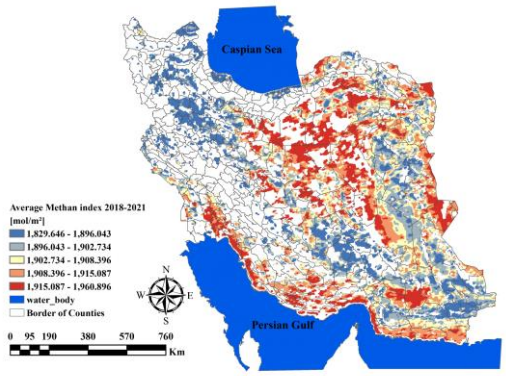
نقشه میانگین ۴ ساله دی‌اکسید کربن

The 4-year average map of CO_2



روند میانگین ده‌ساله متان

The 10-year trend of CH_4



نقشه میانگین ۴ ساله متان

The 4-year average map of CH_4

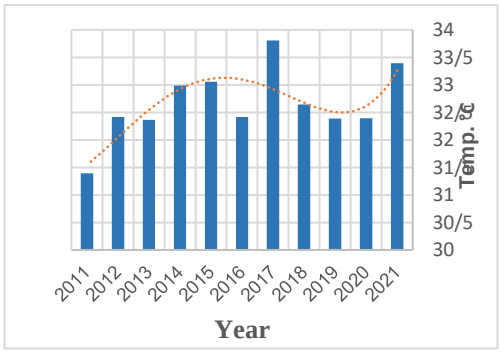
شکل ۳- الگوی فضایی و روند تغییرات میانگین گازهای گلخانه‌ای (کربن و متان) کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.3. The spatial pattern and trend of changes in the average greenhouse gases(CO_2 & CH_4) across Iran from 2011 to 2021.

تغییرات اقلیمی:

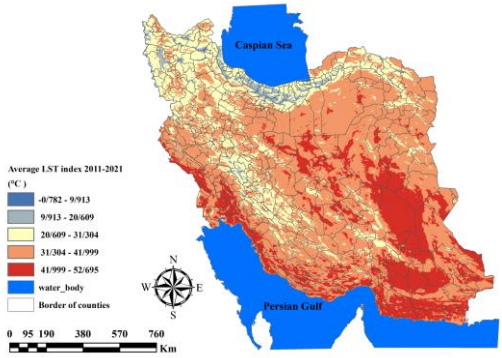
نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد به‌طورکلی شهرستان‌های نوار غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی تا شرق از دمای بیشتری برخوردار هستند. در مقابل، شهرستان‌های شمالی، شمال غرب از دمای کمتری برخوردار هستند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که میانگین دمای سطح کشور از ۳۱/۳۹ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۰ به ۳۳/۸۰ سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۶ که گرم‌ترین سال ایران بوده و ۳۳/۳۹ درجه در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است به‌طوری‌که میانگین دمای کشور ۲ درجه سانتی گرد در طول دوره موردبررسی

افزایش یافته است. از مهم‌ترین پیامد اصلی افزایش دما در یک منطقه جغرافیایی می‌توان به تغییرات اقلیمی گسترده اشاره کرد. علاوه بر این، نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد الگوی بارش کشور ایران پراکنده و از نابرابری گسترده‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که در شهرستان‌های نوار شمالی و نوارغربی کشور شاهد میانگین بارش خوب و در شهرستان‌های شرقی، جنوب شرق، شمال شرق و مرکز میانگین بارش کمتر از استانداردهای ممکن است. علاوه براین روند تغییرات میانگین بارش سالانه نیز نشان می‌دهد که میانگین بارش کل کشور از سال ۱۳۹۰ با مقدار ۲۳۲ میلی متر به ۳۱۲ میلی متر در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته و در سال ۱۴۰۰ با مقدار میانگین بارش ۱۹۵ میلی متری به پایین ترین حد خود در دوره موردمطالعه رسیده است.



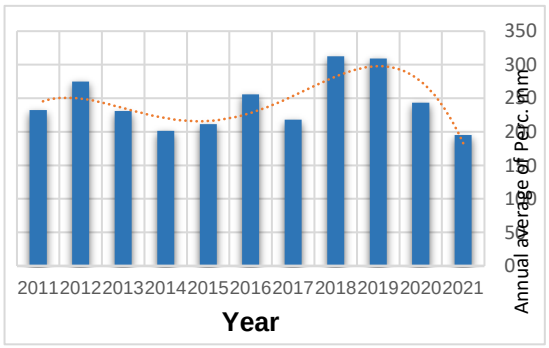
روند میانگین ده‌ساله دمای سطح

The 10-year trend of average surface temperature



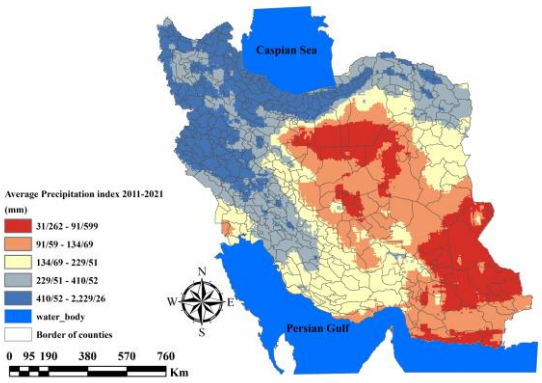
نقشه میانگین ده‌ساله دمای سطح

The 10-year average surface temperature map



روند میانگین ده‌ساله بارش

The 10-year trend of average precipitation



نقشه میانگین ده‌ساله بارش

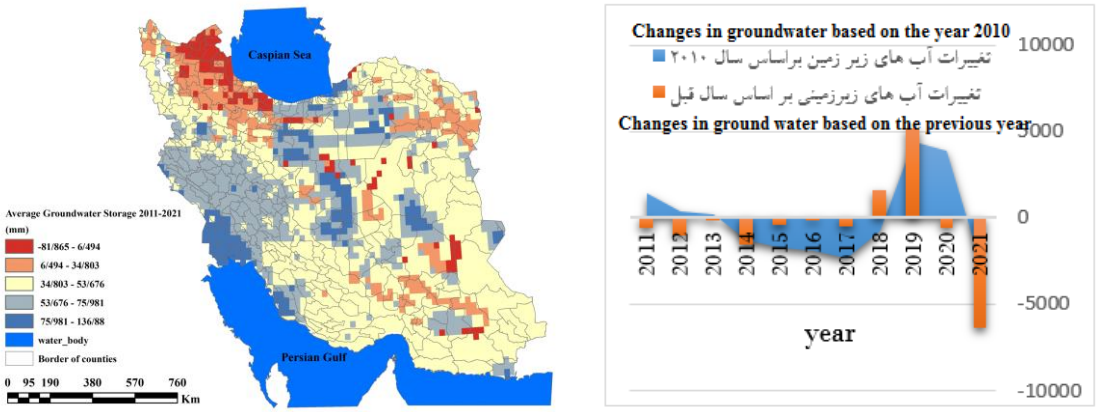
The 10-year average precipitation map

شکل ۴- الگو فضایی و روند میانگین تغییرات اقلیمی (دما و بارش) کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.4. The spatial pattern and trend of average climatic changes (Temperature and Precipitation) across Iran from 2011 to 2021

منابع آب زیر زمینی:

شکل ۵ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۰ شاخص آب‌های زیر زمینی به نسبت سال ۱۳۸۹ یعنی سال مبنا ۱۴۵۶ میلی متر مثبت بوده و بعد از آن به ۲۳۶۹ میلی متر منفی در سال ۱۳۹۶ می‌رسد. به سبب سیلاب سال ۱۳۹۸ شاخص به ۴۴۲۵ میلی متر افزایش و بعد از آن به ۲۵۴۰ میلی متر منفی در سال ۱۴۰۰ کاهش یافت. نتایج مقایسه شهرستانی نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ عباس آباد استان مازندران با ۳۳ میلی متر منفی بیشترین کاهش و شهرستان لنگرود استان گیلان با ۴۷ میلی متر مثبت بیشترین افزایش را داشته‌اند؛ اما با بررسی این نتایج در سال ۱۴۰۰ نتایج می‌توان روند کاهشی آب‌های زیر زمینی را بهتر درک کرد. به‌طوری‌که شهرستان تنکابن استان مازندران با ۲۵۵ میلی متر منفی بیشترین کاهش و شهرستان هویزه با ۲۰ میلی متر مثبت بیشترین افزایش آب‌های زیر زمینی را داشته که مقایسه مقادیر بیشینه و کمینه شهرستانی نشان از کاهش گسترده آب‌های زیر زمین کشور طی دوره موردمطالعه دارد. علاوه بر این مطالعه الگوی فضایی موجود در این رابطه نشان می‌دهد کاهش سطح آب‌های زیر زمینی در مناطق شمالی، شمال غرب، جنوب و شمال شرق کشور به واسطه کاهش بارش‌ها و افزایش بیش از حد برداشت آب‌های زیر زمینی به یک چالش جدی در کشور تبدیل شده است. چراکه کاهش آب‌های زیر زمینی با کاهش رطوبت خاک، افزایش تغییرات اقلیمی، فرو نشست گسترده زمین همراه است.



نقشه میانگین ده‌ساله منابع آب زیر زمینی

The 10-year trend of average groundwater

روند میانگین ده‌ساله منابع آب زیر زمینی

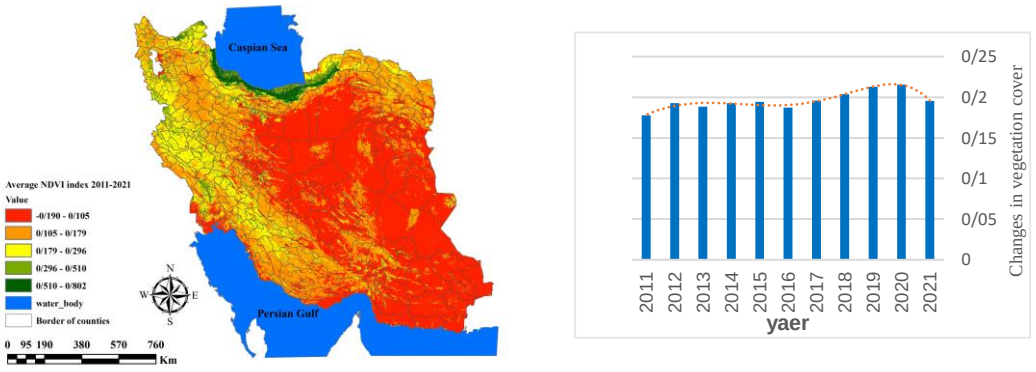
The 10-year trend of average groundwater

شکل ۵- الگو و روند میانگین تغییرات منابع آب زیر زمینی کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ بر مبنای سال ۱۳۸۹

Fig.5. The spatial pattern and trend of average groundwater across Iran from 2011 to 2021

تنوع زیستی:

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که نوار شمالی کشور به واسطه پوشش گیاهی نرمال شده بالاتر امکان زیست گونه‌های بیشتر گیاهی و جانوری را به نسبت سایر مناطق فراهم می‌کند. علاوه براین از شمال غرب تا بخش‌های انتهایی جنگل‌های زاگرس در استان لرستان نیز می‌توان پوشش گیاهی نرمال شده مناسبی را هرچند ضعیف‌تر از نوار شمالی مشاهده کرد که شرایط قابل قبولی را برای زیست انواع موجودات زنده فراهم نموده است. سایر مناطق کشور به‌شدت از ضعف پوشش گیاهی نرمال شده و تنوع زیستی پایین رنج می‌برند. علاوه براین همان‌طور که روند تغییرات میانگین سالانه در شکل ۶ نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده از مقدار ۰/۱۷ به مقدار ۰/۲۱ در سال ۱۳۹۸ و مقدار ۰/۱۹ در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است. به‌طوری‌که مقایسه نتایج شهرستانی نشان می‌دهد شهرستان فهرج استان کرمان با مقدار ۰/۰۵۷ ضعیف‌ترین تنوع زیستی و شهرستان عباس آباد مازندران با مقدار ۰/۶۱ بهترین تنوع زیستی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در سال ۱۴۰۰ شهرستان فهرج با مقدار ۰/۰۶ هنوز ضعیف‌ترین تنوع زیستی و شهرستان عباس آباد با افزایش چند صدم درصدی با مقدار ۰/۶۷ بهترین تنوع زیستی و پوشش گیاهی‌نرمال شده را به خود اختصاص داده است.



نقشه میانگین ده‌ساله تنوع زیستی

The 10-year trend of average biodiversity

روند میانگین ده‌ساله تنوع زیستی

The 10-year trend of biodiversity

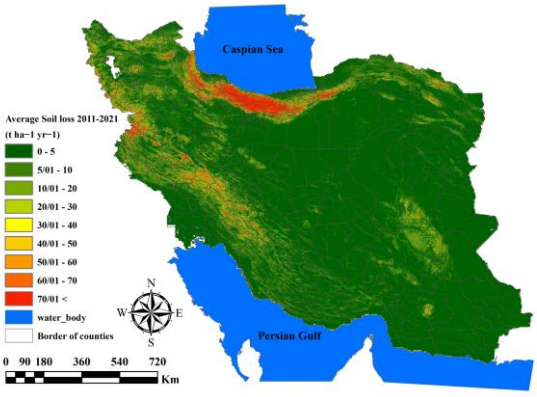
شکل ۶- الگو و روند میانگین تغییرات تنوع زیستی کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.6. The spatial pattern and trend of average biodiversity across Iran from 2011 to 2021

فرسایش خاک:

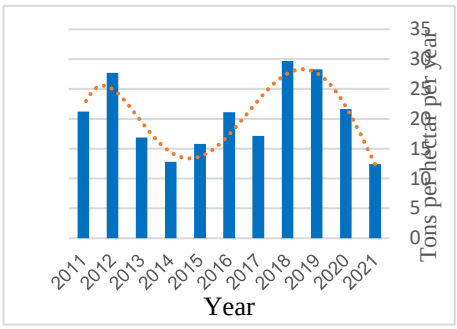
به‌طورکلی الگوی فضایی فرسایش خاک مطابق نتایج شکل ۷، سه کانون نوار شمالی کشور، نوار غربی و منطقه کویری و جنوب شرق کشور را به‌عنوان کانون‌های اصلی فرسایش خاک شناسایی کرد. علاوه براین نتایج روند تغییرات فرسایش خاک نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ به‌طور میانگین ۲۱ تن بر هکتار بر سال فرسایش خاک در ایران وجود دارد که این مقدار به ۲۹ تن بر هکتار بر سال برای سال ۱۳۹۷ افزایش پیدا می‌کند و در سال ۱۴۰۰ به ۱۲ تن بر هکتار بر سال می‌رسد که می‌تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گسترده‌ای در پی

داشته باشد. علاوه براین می‌توان اشاره کرد که به‌طور متوسط از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ در حدود ۲۰/۴۲ تن بر هکتار بر سال فرسایش خاک وجود داشته که مجموع خاک از دست رفته در این دوره به‌طور متوسط برای هر سال معادل ۲۵۴۲۹۲۰۴۴۰ تن است.



نقشه میانگین ده‌ساله فرسایش خاک

The 10-year trend of average soil erosion



روند میانگین ده‌ساله فرسایش خاک

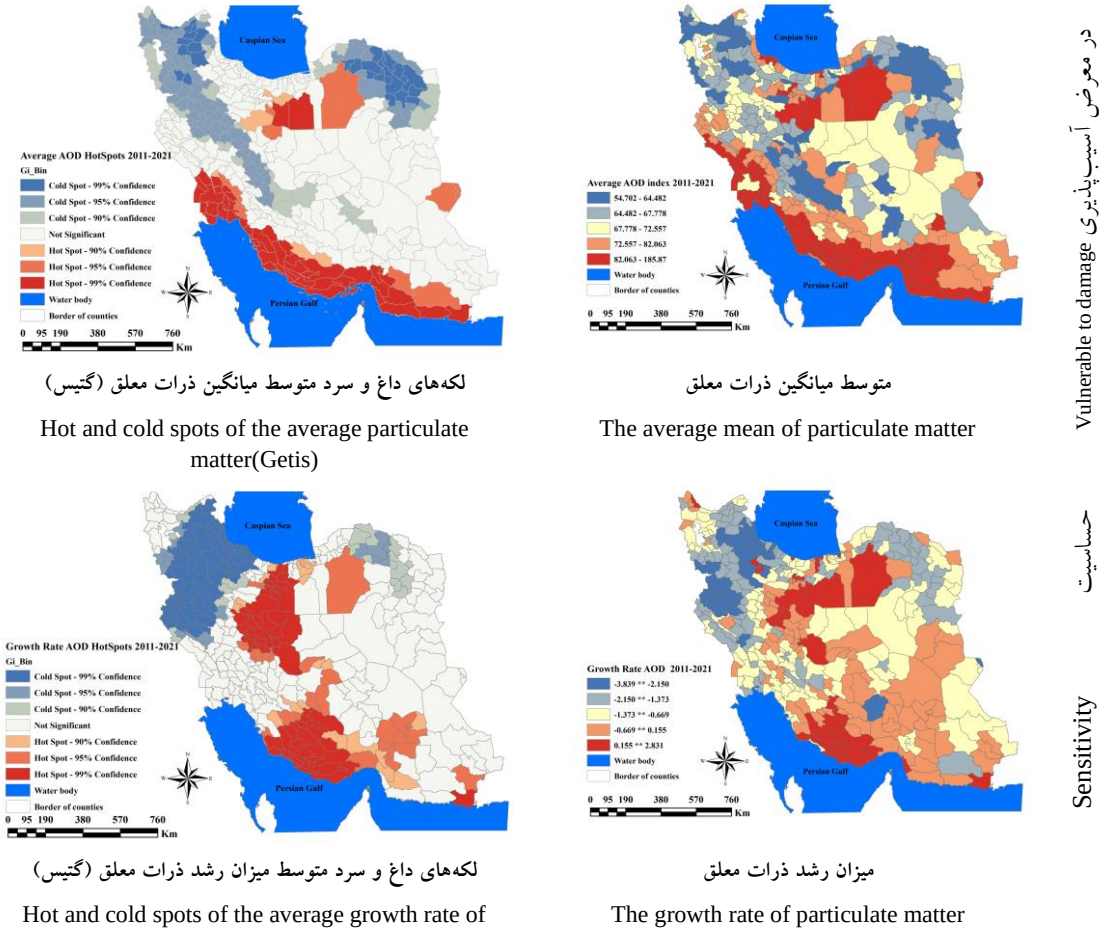
The 10-year trend of soil erosion

شکل ۷- الگو و روند میانگین تغییرات فرسایش خاک کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.7. The spatial pattern and trend of average soil erosion across Iran from 2011 to 2021

۳-۲ خود همبستگی فضایی گتیس

در بحث ذرات معلق به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی سنجش آلودگی هوای کمتر از ۲/۵ میکرون و شاخص گرد و غبار با قطر ۱۰ میکرون، نتایج مطابق شکل ۸ در ارتباط با نقشه میانگین سالانه نشان داد که شهرستان‌های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی تمرکز بیشترین انتشار ذرات معلق را دارند. در همین راستا آزمون آماری گتیس نیز این مجموعه شهرستان‌ها را به‌عنوان مناطق در معرض آسیب‌پذیر ناشی از انتشار ذرات معلق شناسایی می‌کند. علاوه بر این نتایج میزان رشد انتشارسالانه نیز نشان می‌دهد که در شهرستان‌های غرب و شمال غرب (رنگ آبی) با میزان رشد منفی بین ۳/۸۳ تا ۲/۱۵ شاهد کاهش ذرات معلق و در مقابل در شهرستان‌های جنوبی و مرکزی و شمالی تا شمال شرق به‌صورت یک نوار ممتد با میزان رشد ۰/۱۵۵ تا ۲/۸۳ بیشترین میزان رشد ذرات معلق قابل مشاهده است. به همین ترتیب، آزمون گتیس نیز نشان دهنده شکل گیری لکه داغ در نوار شمال تا جنوب به‌عنوان کانون اصلی مناطق حساس به آسیب‌پذیری می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که شهرستان‌های جنوب و مرکز به سمت شمال [مناطق مشترک بین میزان و میانگین] که هم رشد انتشار بیشتر و هم میانگین انتشار بیشتری دارند مناطق با ریسک بالا خواهند بود.



متوسط میانگین ذرات معلق

The average mean of particulate matter

لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین ذرات معلق (گتیس)

Hot and cold spots of the average particulate matter(Getis)

میزان رشد ذرات معلق

The growth rate of particulate matter

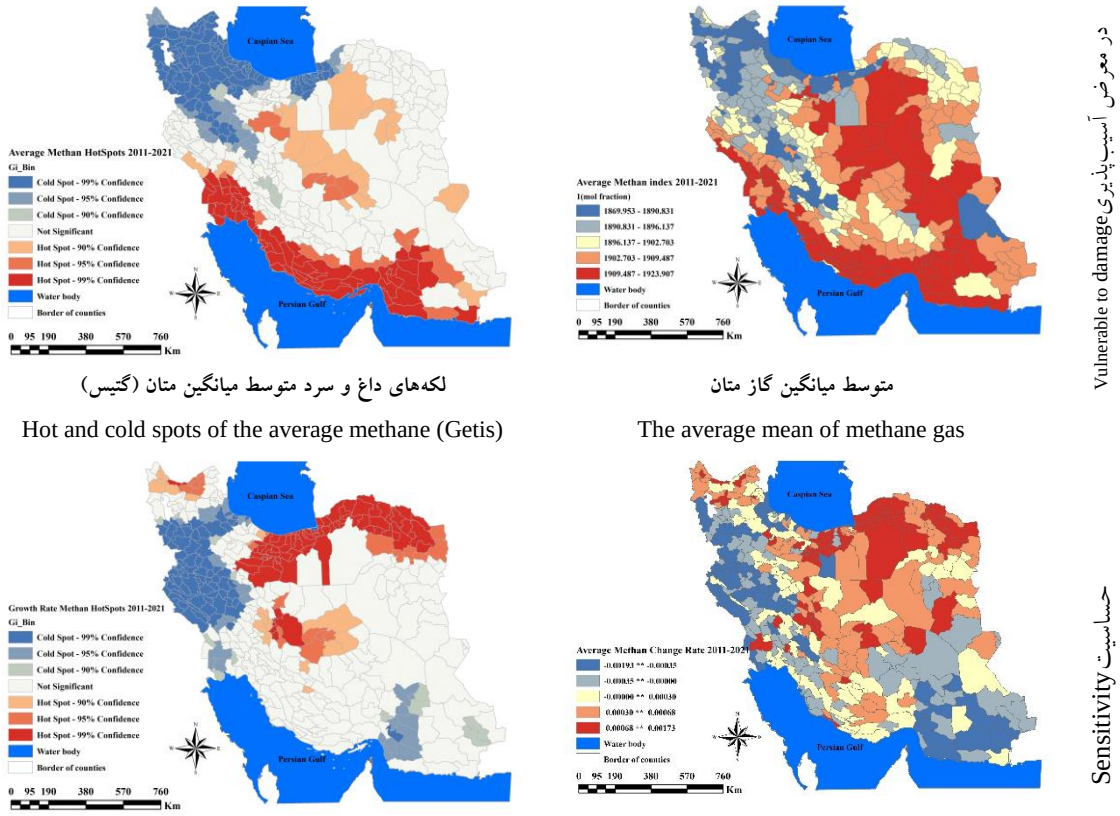
لکه‌های داغ و سرد متوسط میزان رشد ذرات معلق (گتیس)

Hot and cold spots of the average growth rate of particulate matter(Getis)

شکل ۸- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.8. The map of the average, growth rate and spatial autocorrelation index of particulate matter from 2011 to 2021

همان‌طور که نتایج شکل ۹ نشان می‌دهد در ارتباط با نتایج میانگین گازگلخانه‌ای متان شهرستان‌های مرکزی و نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق کانون اصلی انتشار گاز متان و مناطق آسیب‌پذیر را تشکیل می‌دهند که نتایج آزمون گتیس نیز تمرکز لکه داغ در این مناطق به‌عنوان شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیر را تأیید می‌کند. همچنین در ارتباط با میزان رشد انتشار متان نیز شهرستان‌های شمالی، شمال شرق و مرکز بیشترین میزان تغییرات بین (۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۱۷) به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد که نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز شکل‌گیری لکه‌های داغ با بیشترین میزان رشد انتشار متان در شهرستان‌های نوار شمالی، مرکزی و شمال شرق کشور به‌عنوان مناطق حساس را تأیید می‌کند. علاوه براین، شهرستان‌های مرکزی با رشد و میانگین انتشار بالا به‌عنوان مناطق پر مخاطره در انتشار گاز گلخانه‌ای متان شناسایی می‌گردد.



لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین متان (گتیس)

Hot and cold spots of the average methane (Getis)

متوسط میانگین گاز متان

The average mean of methane gas

تحلیل لکه‌های داغ و سرد متوسط رشد گاز متان (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average growth rate of methane gas (Getis)

میزان رشد گاز متان

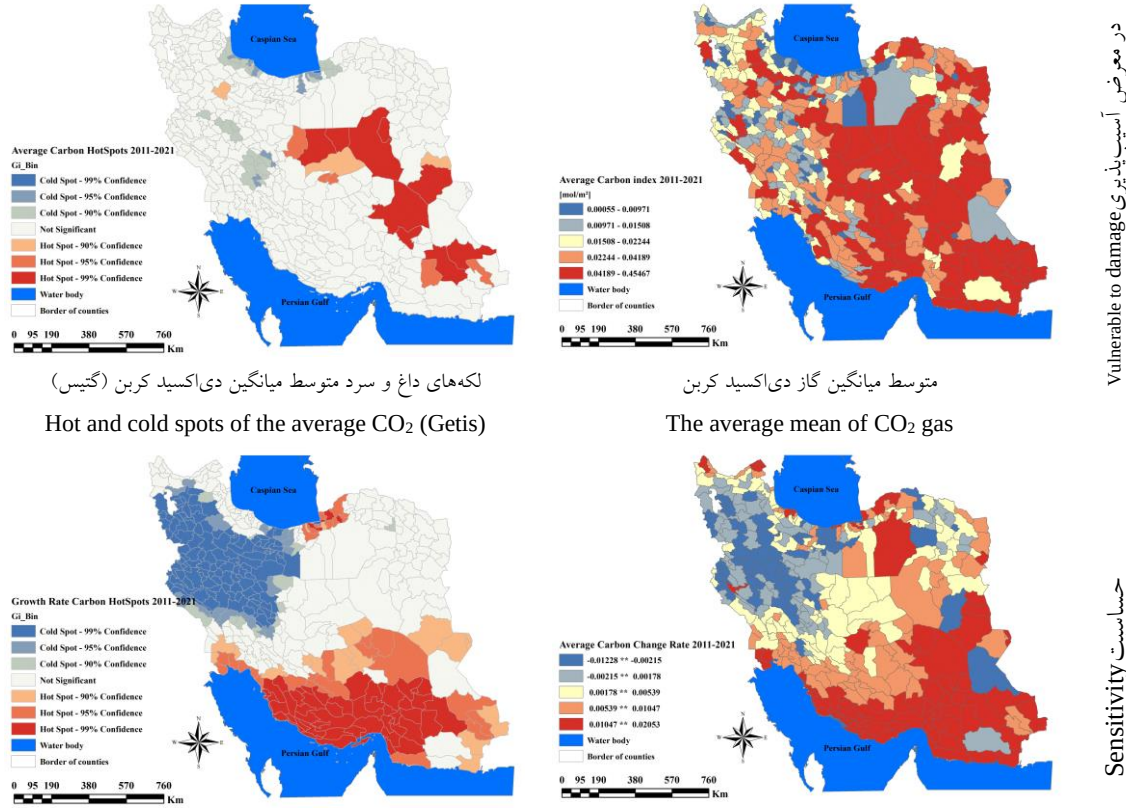
The growth rate of methane gas

شکل ۹- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی گاز گلخانه‌ای متان طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.9. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of methane greenhouse gas from 2011 to 2021.

علاوه بر این در رابطه با گاز دی‌اکسید کربن و مطابق نتایج شکل ۱۰ شهرستان‌های مرکزی به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق با بیشترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان مناطق در معرض آسیب‌پذیر شناسایی شد که نتایج آزمون گتیس نیز شکل‌گیری لکه‌های داغ با تمرکز بیشترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن را در این مناطق تأیید می‌کند. همچنین، نقشه میزان رشد تغییرات نشان می‌دهد که بیشترین میزان رشد تغییرات در شهرستان‌های شرقی، نوار جنوب تا غرب و نوار شمالی با میزان رشد بین ۰/۰۰۵۳ تا ۰/۰۲۱ بیشترین میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن را تجربه کرده و به‌عنوان مناطق حساس آسیب‌پذیری معرفی می‌گردد. به همین ترتیب نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز وجود لکه‌های داغ در نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شرق را به‌عنوان کانون‌های حساس آسیب‌پذیری ناشی از انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید

کربن تأیید می‌کند. علاوه بر این شهرستان‌های شرق و جنوب شرق به دلیل برخورداری از میزان رشد و میانگین انتشار بالا به‌عنوان مناطق پر مخاطره شناسایی می‌گردد.



متوسط میانگین گاز دی‌اکسید کربن

The average mean of CO_2 gas

لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین دی‌اکسید کربن (گتیس)

Hot and cold spots of the average CO_2 (Getis)

میزان رشد گاز دی‌اکسید کربن

The growth rate of CO_2 gas

تحلیل لکه‌های داغ و سرد گاز دی‌اکسید کربن (گتیس)

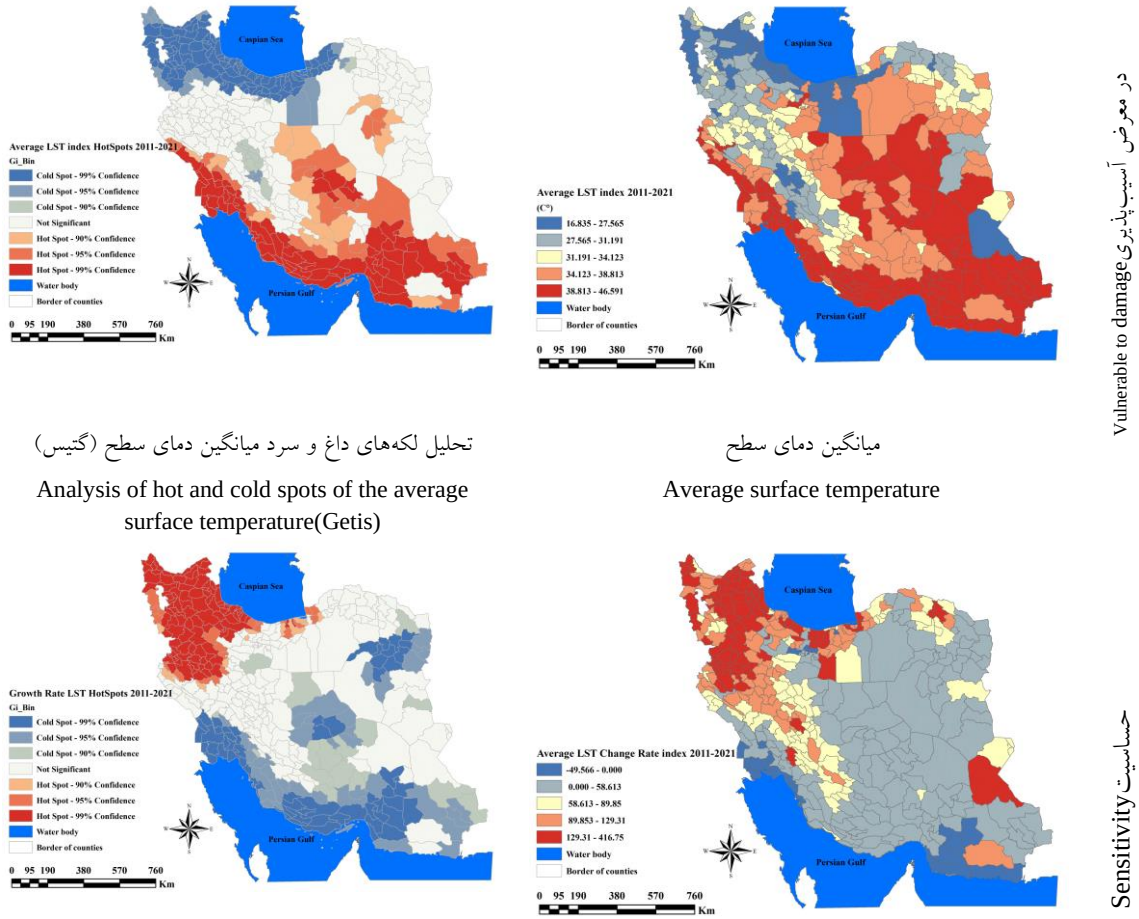
Analysis of hot and cold spots of the average growth rate of CO_2 gas (Getis)

شکل ۱۰- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.10. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of CO_2 greenhouse gas from 2011 to 2021.

در ارتباط با پارامتر تغییرات اقلیمی که به‌وسیله دو مؤلفه دمای سطح و بارش عملیاتی می‌شود نیز نتایج شکل ۱۱ نشان داد در شهرستان‌های شمالی و شمال غرب با دامنه ۱۶/۸۳ تا ۳۱/۱۹ کمترین میانگین دما و شهرستان‌های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق، شرق، شمال شرق و مرکز بیشترین میانگین دما را دارند که نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز با نشان دادن لکه‌های داغ در شهرستان‌های غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و مرکز به‌عنوان کانون اصلی گرما، در معرض آسیب‌پذیر بودن این مناطق را تأیید

می‌کند. علاوه بر این، نقشه میزان رشد دمای سالانه نشان می‌دهد که شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب تمرکز لکه‌های داغ با بیشترین میزان رشد دما به‌عنوان شهرستان‌های مناطق حساس آسیب‌پذیری خواهند بود.



میانگین دمای سطح

Average surface temperature

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین دمای سطح (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average surface temperature(Getis)

میزان رشد دمای سطح

The growth rate of surface temperature

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میزان رشد دمای سطح (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of surface temperature(Getis)

در معرض آسیب‌پذیری Vulnerable to damage

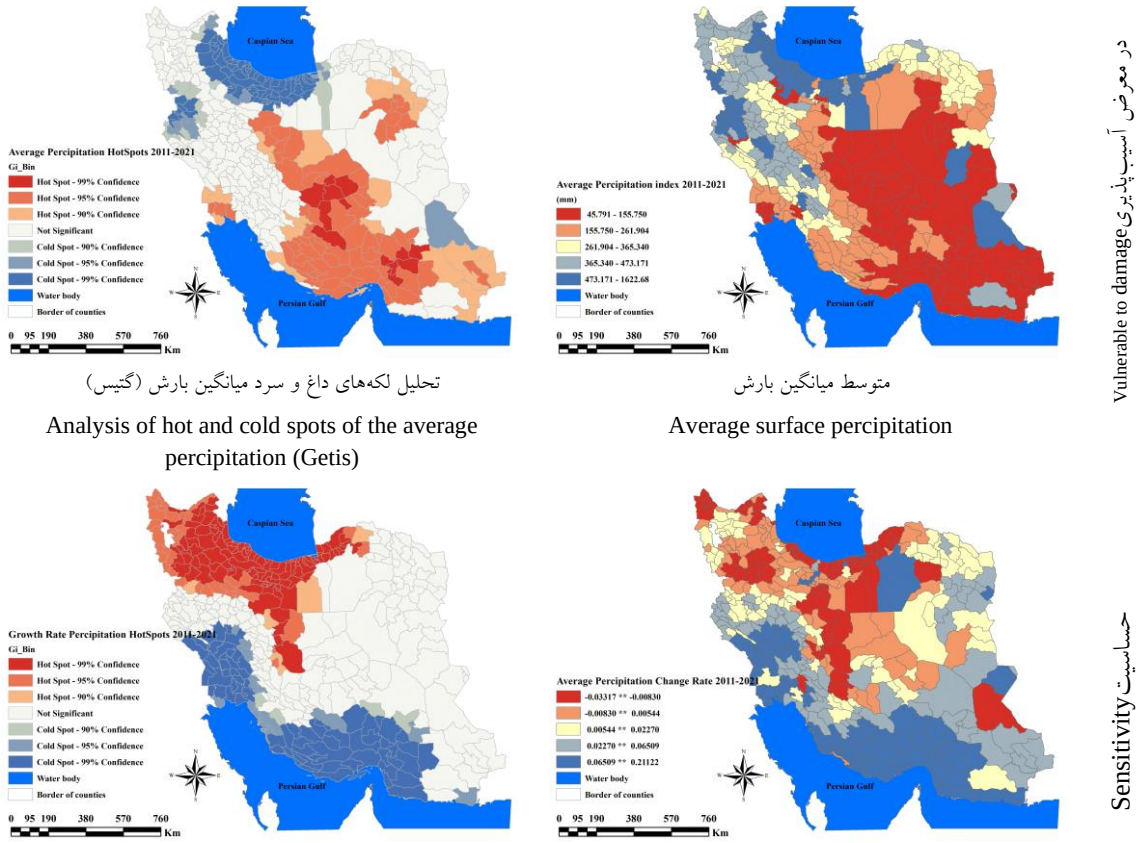
حساسیت Sensitivity

شکل ۱۱- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تغییرات اقلیمی دما طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.11. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of climate change in temperature from 2011 to 2021.

علاوه براین، برای مؤلفه بارش مطابق شکل ۱۲ متوسط بارش نشان می‌دهد درشهرستان‌های نوار شمالی و غربی کشور بیشترین میزان بارش و در شهرستان‌های نوار مرکزی تا جنوب و جنوب شرق کمترین میانگین

بارش وجود دارد که نتایج آزمون گتیس نیز آسیب‌پذیری شهرستان‌های مرکز تا جنوب و جنوب شرق را به‌عنوان لکه داغ با کمترین بارش و شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیر تأیید می‌کند. در مقابل نقشه میزان رشد بارش نشان می‌دهد که الگوی کاهشی بارش در شهرستان‌های شمالی، شمال غرب و مرکز تا شرق با تمرکز لکه داغ و میزان رشد منفی بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری تأیید می‌شود. به‌طورکلی می‌توان از شهرستان‌های مرکزی با رشد منفی و میانگین کم بارش به‌عنوان شهرستان‌های پر مخاطره نام برد.



متوسط میانگین بارش

Average surface percipitation

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین بارش (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average percipitation (Getis)

میزان رشد بارش

The growth rate of percipitation

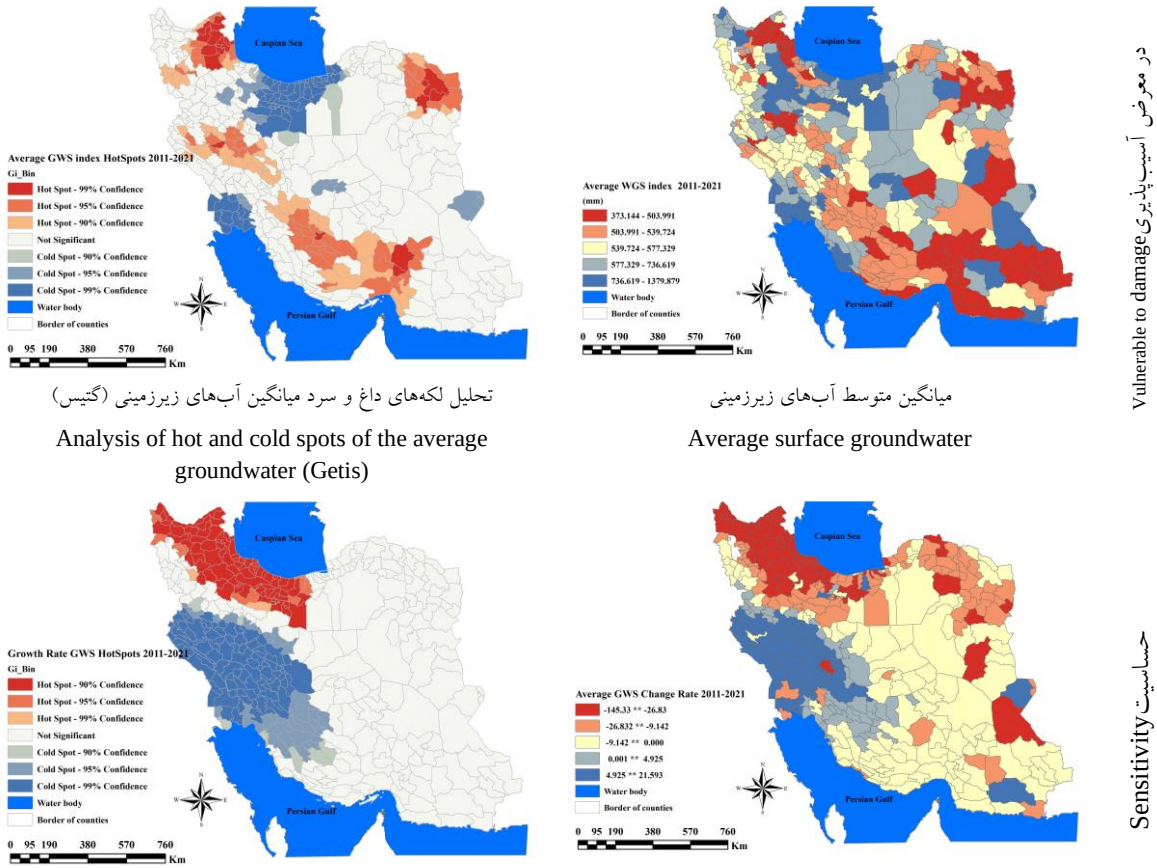
تحلیل لکه‌های داغ و سرد میزان رشد بارش (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of percipitation (Getis)

شکل ۱۲- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تغییرات اقلیمی بارش طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.12. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of climate change in percipitation from 2011 to 2021.

در رابطه با تغییرات آب‌های زیرزمینی نیز مطابق نتایج شکل ۱۳ شهرستان‌های نوار شمالی، مرکز و جنوب غرب بیشترین میانگین آب‌های زیر زمینی و شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و نوار غرب تا جنوب با کمترین میانگین آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری خواهند بود؛ بنابراین، تمرکز لکه داغ با کمترین میانگین آب‌های زیرزمینی نیز آسیب‌پذیر بودن این شهرستان‌ها را تأیید می‌کند. علاوه بر این، نتایج میزان رشد سالانه نیز نشان می‌دهد که شهرستان‌های شمالی و شمال غرب و شمال شرق با میزان تغییرات منفی بین ۱/۴۵۳ تا ۰/۰۹۱۴ بیشترین کاهش منابع آبی زیرزمینی را تجربه کرده‌اند. به‌طوری‌که نتایج آزمون گتیس نیز وجود لکه‌های داغ در شهرستان‌های شمالی و شمال غرب به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری را تأیید می‌کند. به‌طورکلی شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب کشور به‌عنوان شهرستان‌های با میانگین کم و رشد منفی به‌عنوان شهرستان‌های با مخاطره بالا شناسایی گردید.



میانگین متوسط آب‌های زیرزمینی

Average surface groundwater

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین آب‌های زیرزمینی (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average groundwater (Getis)

میزان رشد آب‌های زیرزمینی

The growth rate of groundwater

تحلیل لکه‌های داغ و سرد آب‌های زیر زمینی (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of groundwater (Getis)

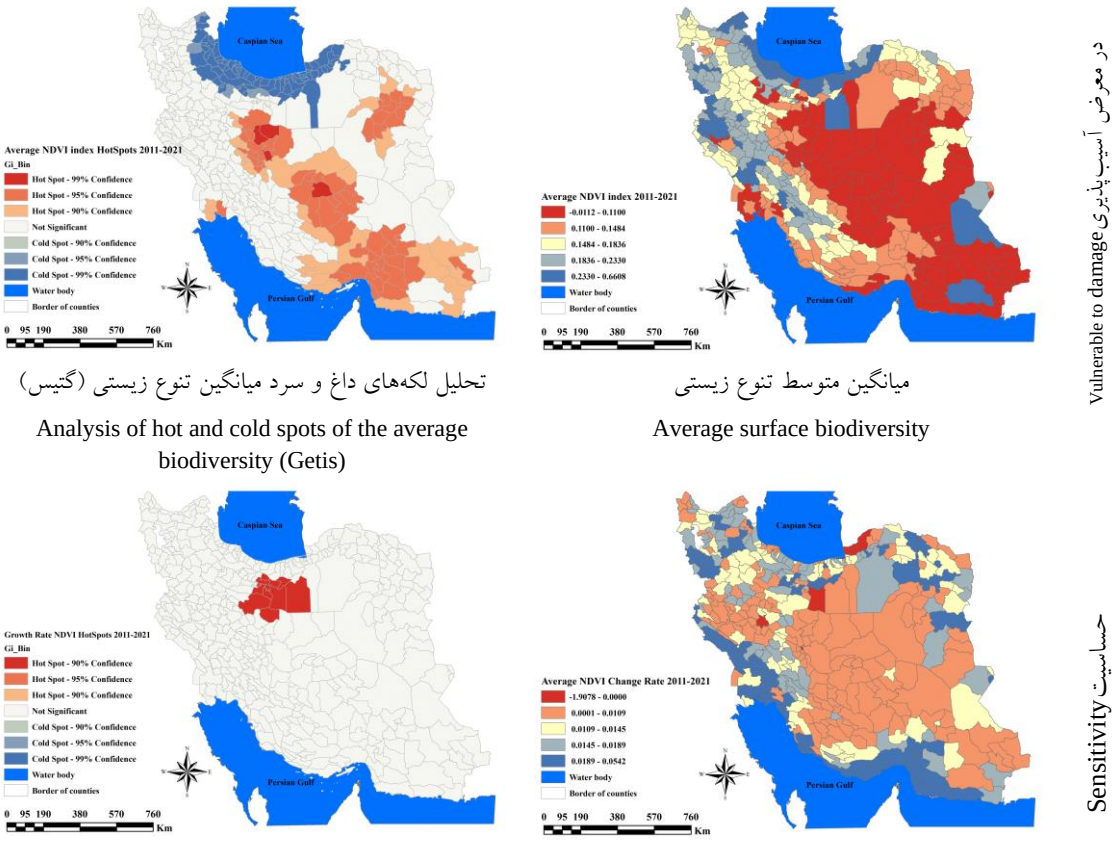
در معرض آسیب‌پذیری Vulnerable to damage

حساسیت Sensitivity

شکل ۱۳- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی منابع آبی زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.13. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of groundwater resources from 2011 to 2021

پارامتر تغییر انوهی پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی استاندارد شده، تنوع گونه‌های گیاهی را در یک منطقه خاص به تصویر می‌کشد. در همین راستا مطابق نتایج شکل ۱۴ نقشه میانگین تغییر انوهی پوشش گیاهی نشان می‌دهد شهرستان‌های مرکز به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق کمترین میانگین تغییر انوهی پوشش گیاهی را دارند. به همین ترتیب، نتایج آزمون گتیس نیز تمرکز لکه‌های داغ را در این مناطق به‌عنوان شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری تأیید می‌کند. درمقابل، نتایج میزان رشد تغییر انوهی پوشش گیاهی نیز نشان می‌دهد شهرستان‌های غربی، جنوب شرقی و مرکزی به سمت جنوب با رشد منفی بین ۱/۹۰۸ تا ۰/۰۰۱ تمرکز رشد منفی و کاهش تغییر انوهی پوشش گیاهی را به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری تأیید می‌کند که با توجه به میانگین پایین و میزان رشد منفی بالا تمرکز لکه‌های در معرض آسیب‌پذیری و حساس به آسیب‌پذیری را شکل می‌دهند. مضاف بر این از شهرستان‌های جنوب غرب و جنوب متمایل به شرق که میانگین پایین و رشد مثبت دارند به‌عنوان شهرستان‌های با عملکرد مناسب یاد می‌شود.



میانگین متوسط تنوع زیستی

Average surface biodiversity

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین تنوع زیستی (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average biodiversity (Getis)

میزان رشد تنوع زیستی

The growth rate of biodiversity

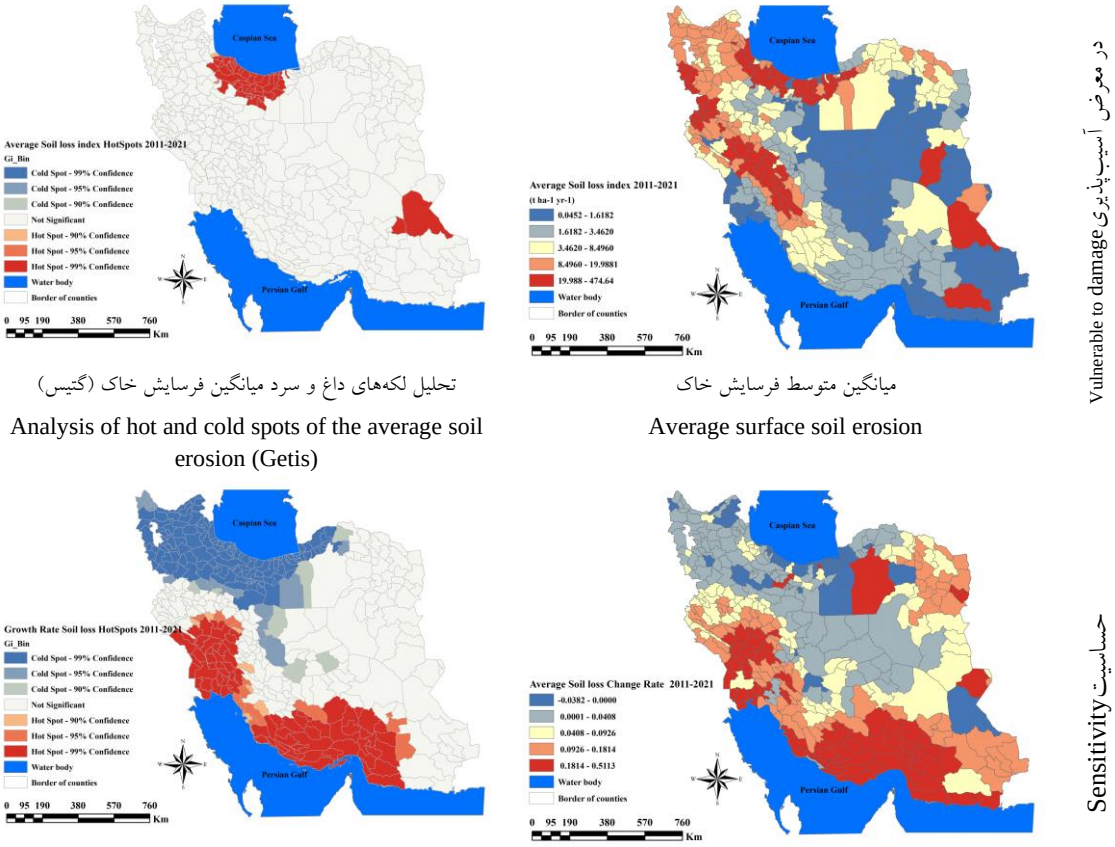
تحلیل لکه‌های داغ و سرد رشد تنوع زیستی (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of biodiversity (Getis)

شکل ۱۴- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تنوع زیستی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.14. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of biodiversity from 2011 to 2021

همان‌طور که نتایج شکل ۱۵ در ارتباط با نقشه میانگین فرسایش خاک نشان می‌دهد شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب بیشترین میانگین فرسایش خاک را دارند که نتایج گتیس نیز در معرض آسیب‌پذیری ناشی از فرسایش خاک در نوار شمال کشور را تأیید می‌کند. همچنین در ارتباط با رشد فرسایش خاک نیز نوار غرب تا جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق بیشترین میزان رشد مثبت فرسایش خاک را دارند که آزمون گتیس نیز حساس به آسیب‌پذیر بودن این شهرستان‌ها را تأیید می‌کند. علاوه براین شهرستان‌های غرب و جنوب غرب با میانگین بالا و رشد بالا به‌عنوان شهرستان‌های پر مخاطره شناسایی گردید.



میانگین متوسط فرسایش خاک

Average surface soil erosion

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین فرسایش خاک (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average soil erosion (Getis)

میزان رشد فرسایش خاک

The growth rate of soil erosion

تحلیل لکه‌های داغ و سرد فرسایش خاک (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of soil erosion (Gettys)

شکل ۱۵- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی فرسایش خاک طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.15. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of soil erosion from 2011 to 2021

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی پراکنده بوده و دسترسی به آمار آن‌ها معمولاً با تأخیر زمانی همراه است، وجود روش‌های دیگری برای برآورد داده‌های محیط‌زیستی ضروری به نظر می‌رسد (Ashouri et al., 2015; Kirschbaum et al., 2017). در این راستا اطلاعات ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور می‌تواند جایگزین و یا مکمل مناسبی برای ایستگاه‌های زمینی در نظر گرفته شود. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان برآورد پارامترهای محیط‌زیستی در محدوده وسیعی از سطح زمین، به‌خصوص برای مناطق صعب‌العبور را امکان‌پذیر ساخته که این موضوع باعث توجه محققان به داده‌های ماهواره‌ای در سطح گسترده شده است (Ghajarnia, Liaghat & Arasteh, 2015; Kirschbaum et al., 2017).

علاوه براین، روش‌های فضایی به دلیل استفاده از مقادیر محلی و عدم تمرکز بر میانگین‌ها قابلیت‌های فراوانی را در نشان دادن الگوهای مکانی سطح خرد و نوسانات واقعی مکانی دارند (Sadeghi, Mohamadi Masiri & mohammadi, 2022). به همین دلیل قدرت و رابطه واقعی متغیرها را بهتر نشان می‌دهند؛ بنابراین در این تحقیق از روش خودهمبستگی فضایی گتیس و نظریه آسیب‌پذیری طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ برای ۳۹۷ شهرستان ایران استفاده شد.

همان‌طور که IPCC (IPCC, 2013 Solomon, 2007;)، ادگر(Adger, 2006) و چمبرز (Chambers, 1989) اشاره می‌کنند آسیب‌پذیری از سه عنصر حیاتی قرار گرفتن در معرض، حساسیت و ظرفیت سازگاری تشکیل می‌شود. این تعریف چندبعدی آسیب‌پذیری خود در دو جنبه خارجی، شامل عناصر ساختاری مرتبط با قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت؛ و جنبه داخلی شامل توانایی پاسخگویی و مقابله با عوامل استرس‌زا بررسی می‌شود؛ بنابراین با تأکید بر جنبه خارجی آسیب‌پذیری وضعیت محیط‌زیست ایران در دو بعد قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت، می‌توان بسترها و زمینه‌های لازم برای ایجاد ظرفیت سازگاری محیط‌زیست [به‌طور خاص با تأکید بر نقش پویایی‌های جمعیتی] که همواره مهم‌ترین هدف شناخت محیط‌زیست بوده را افزایش داد.

در همین راستا، نتایج خودهمبستگی فضایی گتیس در ارتباط با بعد در معرض آسیب‌پذیری [یا خطر] نشان داد که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی، همسو با نتایج احمدی و درویش (Ahmadi & Darvish, 2022) و شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ برای گاز گلخانه‌ای متان شهرستان‌های مرکزی و نوار جنوب تا جنوب شرق، همسو با عظمی و مطیعی (Azmi & Motiee, 2011) و شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های مرکزی به سمت شرق تا جنوب و جنوب شرق همسو با شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022) و قنادی و همکاران (Ghannadi, Shahri & Moradi, 2022)؛ تغییرات اقلیمی ناش از دما شهرستان‌های جنوب، جنوب غرب، شرق، جنوب شرق و مرکز، همسو با محمدی و همکاران

(Mohammadi et al., 2018) و رمضانی و همکاران(Ramezani Khojeen, Kheirkhah Zarkesh & Daneshkar Arasteh, 2016)؛ تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های مرکز تا جنوب و جنوب شرق، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018) و ذبیحی و همکاران(Zabihi, Sadeghi & Vafakhah, 2015) ؛ آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمال غرب تا شمال شرق و نوار غرب تا جنوب، همسو با فروتن و همکاران(Forootan et al., 2014) و فرخ نیا و مرید(Farokhnia & Morid, 2014)؛ تنوع زیستی شهرستان‌های مرکز به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018)؛ فرسایش خاک شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018) با میانگین بالای تخریب در معرض آسیب‌پذیری [یا خطر] قرار دارند.

علاوه براین، نتایج خودهمبستگی فضایی گتیس در ارتباط با بعد حساسیت نیز تأیید می‌کند که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های جنوب، مرکز و شمال به‌صورت یک خط ممتد؛ برای گاز گلخانه‌ای متان شهرستان‌های شمالی، شمال شرق و مرکز؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های شرق، نوار جنوب تا غرب و نوار شمالی؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از دما شهرستان‌های نوارشمالی، شمال غرب و غرب؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های شمالی، شمال غرب مرکز تا شرق؛ برای آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمالی و شمال غرب؛ برای تنوع زیستی شهرستان‌های مرکزی به سمت جنوب؛ برای فرسایش خاک شهرستان‌های نوار غرب تا جنوب غرب و جنوب شرق با رشد بالای تخریب در وضعیت حساس آسیب‌پذیری قرار دارند.

به‌طورکلی مقایسه نتایج آزمون‌های خودهمبستگی فضایی ابعاد آسیب‌پذیری حساسیت و قرار گرفتن در معرض خطر نیز نشان می‌دهد که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های جنوبی و مرکزی به سمت شمال؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های مرکزی؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از دما شهرستان‌های شرق، جنوب شرق؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های مرکزی؛ برای آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب کشور؛ برای تنوع زیستی شهرستان‌های مرکزی به سمت جنوب، جنوب و شرق؛ برای فرسایش خاک شهرستان‌های غرب و جنوب غرب که هم رشد بالا و هم میانگین تخریب بالای دارند در دسته شهرستان‌های با آسیب‌پذیری حاد دسته‌بندی می‌شوند؛ بنابراین می‌توان اشاره کرد که نتایج تأییدکننده آسیب‌پذیری در ابعاد حساسیت و قرار گرفتن در معرض خطر محیط‌زیست ایران به‌صورت الگوهای نابرابر فضایی همسو با مطالعات محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2018)؛ شایسته و غریبی(Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ قنادی و همکاران(Ghannadi et al., 2022)؛ فرخ نیا و مرید(Farokhnia & Morid, 2014) است.

با مشخص شدن الگوهای فضایی متفاوت ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن آسیب‌پذیری می‌توان از مجموعه پیشنهادهای سیاستی برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش ظرفیت سازشی سخن گفت. به همین ترتیب در ذیل پیشنهادها این پژوهش حول چند محور کلیدی دسته‌بندی می‌شود: نخست، نقش سیاست‌های سطح خرد با توجه به الگوهای نابرابر شهرستانی جهت سیاست‌گذاری مرتبط با الگوهای متفاوت هر شهرستان در اولویت است. دوم، نقش سیاست‌های دوگانه برای شهرستان‌های در معرض خطر و شهرستان‌های حساس حائز اهمیت است. به‌طوری‌که شهرستان‌های در معرض حساسیت، تأکید سیاست‌ها بر پیشگیری و در شهرستان‌های در معرض خطرتمرکز اصلی بر سیاست‌های مقابله‌ای است. علاوه براین، با توجه به اینکه این مطالعه بخشی از یک پژوهش گسترده‌تر (Sadeghi, 2023) است با استناد به نتایج پژوهش مذکور می‌توان به‌طور خلاصه بر رابطه جمعیت و محیط‌زیست به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم افزایش ظرفیت سازشی تأکید کرد. جونز و پرستون (Jones & Preston, 2011) اشاره می‌کند تعاملات جمعیت و محیط‌زیست یک میدان مطالعاتی به‌طور فزاینده مهم است که نیازمند توجه فزاینده است. هنگام توجه به مسائل محیط‌زیستی اگرچه مسیرهای شناخته‌شده شامل نژاد، قومیت، پویایی جنسیتی، رشد اقتصادی و همچنین دسترسی به شبکه‌های ایمنی، اجتماعی و خدماتی که برای تأمین معیشت ضروری هستند، به‌سرعت دنبال شود. بااین‌وجود برخی از جنبه‌های پویایی جمعیت، مانند مهاجرت، شهرنشینی، تحولات خانوار، تحصیلات و ساختار سنی به‌طور مستقیم با سازگاری مرتبط هستند (Sadeghi, 2023; Abbasi Shavazi & Sadeghi, 2022). ازاین‌رو، تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌ها و پویایی جمعیت می‌تواند ابزار قدرتمندی برای برنامه‌ریزی سازگاری و ظرفیت سازشی ایجاد کند (Guzmán & de México, 2013). شربین و همکاران (Sherbinin, Carr, Cassels & Jiang, 2007) استدلال می‌کنند، علاقه به موضوع انطباق با تغییرات محیط‌زیستی به‌سرعت در حال گسترش است، اما نادیده گرفتن پویایی جمعیت شکاف قابل‌توجهی در توسعه و اجرای پروژه‌های سازگاری ایجاد می‌کند. در همین راستا، توجه مناسب به رشد، ترکیب و توزیع جمعیت که ساز و کار آن‌ها در پژوهش صادقی (Sadeghi,2023) بررسی گردید برای درک چگونگی توزیع آسیب‌پذیری محیط‌زیست در بین گروه‌های مختلف مردم حیاتی است (برای اطلاعات بیشتر به رساله دکتری Sadeghi, 2023 مراجعه شود).

در یک نتیجه‌گیری کلی، محیط‌زیست ایران در پارامترهای آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، گازهای گلخانه‌ای، منابع آب زیرزمینی، تنوع زیستی و فرسایش خاک از الگوی فضایی متفاوت حساسیت و قرار گرفتن در معرض آسیب‌پذیری برخوردار است که آزمون آماری گتیس نیز تأییدکننده الگوهای متفاوت فضایی آسیب‌پذیری خواهد بود. لذا در بستر توسعه اقتصادی و اجتماعی توجه به ابعاد آسیب‌پذیری و اولویت‌بندی شهرستان‌ها با توجه به درجه قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت می‌تواند تأثیر واقعی مؤلفه‌های مؤثر بر ظرفیت سازگاری [مانند پویایی جمعیت] را در بهبود عملکرد محیط‌زیست نشان دهد. در همین راستا سنجش ترکیبی

آسیب‌پذیری، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص سازی ترکیبی ابعاد محیط‌زیست با استفاده از روش‌های الگوریتمی تسلط تصادفی برای تعیین وزن ابعاد گوناگون در سنجش آسیب‌پذیری و تأکید بر نقش پویایی جمعیت در افزایش ظرفیت سازگاری محیط‌زیست از مهم‌ترین پیشنهادهای این پژوهش برای مطالعات آینده است.

تقدیر و تشکر: این مقاله مستخرج از رساله دکتری است که با حمایت دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه تهران تهیه شده است. از این دانشکده و دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abbasi Shavazi, M. J., & Sadeghi, H. A. (2022). The impact of population dynamics on environmental hazards and issues: A scoping review. *Environmental Management Hazards, 9*(4), 325-339. [In Persian] http://dx.doi.org/10.22059/jhsci.2023.354442.763

Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography, 24*(3), 347-364. https://doi.org/10.1191/030913200701540465

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change, 16*(3), 268-281. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Ahmadi, M., & Darvish, D. (2022). Investigation of changes in air pollutants in major metropolises of Iran using the optical depth of satellite images. *Journal of Natural Environment, 75*(1), 165-176. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jne.2022.338515.2387

Alwang, J., Siegel, P. B. & Jorgensen, S. L. (2001). *Vulnerability: a view from different disciplines*. Social Protection Discussion Papers Series, The World Bank, Washington DC.

Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., … & Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society, 96*(1), 69-83. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1

Azmi, A., & Motiee Langroudi, H. (2011). Review on Rural Environmental Problems in Iran and Solutions in Resolving These Problems. *Journal of Housing and Rural Environment, 30*(133), 101-115. [In Persian] http://jhre.ir/article-1-20-fa.html

Bardsley, D. K., & Wiseman, N. D. (2012). Climate change vulnerability and social development for remote indigenous communities of South Australia. *Global Environmental Change, 22*(3), 713-723. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.04.003

Bohle, H. G. (2001). Vulnerability and criticality: perspective from social geography. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. *Journal of Environmental Protection, 2*(6), 3–5.

Carroll, M. C., Reid, N., & Smith, B. W. (2008). Location quotients versus spatial autocorrelation in identifying potential cluster regions. *The Annals of Regional Science, 42*(2), 449-463. https://doi.org/10.1007/s00168-007-0163-1

Chambers, R. (1989). Vulnerability, Coping and Policy. *IDS Bulletin, 20*(2), 1-7.

Chen, Z., Wang, L., Wei, A., Gao, J., Lu, Y., & Zhou, J. (2019). Land-use change from arable lands to orchards reduced soil erosion and increased nutrient loss in a small catchment. *Science of the Total Environment, 648*, 1097-1104. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.141

Chudnovsky, A. A. (2021). *Monitoring Air Pollution in the Urban Environment by Remote Sensing*. Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis, and Modeling in the Urban Environment. https://doi.org/10.1002/9781119625865.ch18

Cunningham, A. B., Sharp, R. R., Hiebert, R., & James, G. (2003). Subsurface biofilm barriers for the containment and remediation of contaminated groundwater. *Bioremediation Journal, 7*(3-4), 151-164. https://doi.org/10.1080/713607982

Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography, 20*(4): 529-539. https://doi.org/10.1177/030913259602000407

De Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M. E., & De Bruin, S. (2012). Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change. *Global Change Biology, 18*(2), 642-655. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02578.x

Diwediga, B., Le, Q. B., Agodzo, S. K., Tamene, L. D., & Wala, K. (2018). Modelling soil erosion response to sustainable landscape management scenarios in the Mo River Basin (Togo, West Africa). *Science of the Total Environment, 625*, 1309-1320. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.228

Eskandari, S., Ahmadloo, F., Pourghasemi, H. R., Ahangaran, Y., & Rezapour, Z. (2023). Temporal and Spatial Analysis of the Relationship Between Climate Parameter Changes and Fire in the Forests and Rangelands in the Province of Gilan. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 21*(1), 164-186. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.17350859.1402.21.1.10.1

Famiglietti, J. S., Lo, M., Ho, S. L., Bethune, J., Anderson, K. J., Syed, T. H., & Rodell, M. (2011). Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophysical Research Letters, 38*(3). https://doi.org/10.1029/2010GL046442

Farokhnia, A., & Morid, S. (2014). Assessment of GRACE and GLDAS capabilities for estimation of water balance in large scale areas, a case study of Urmia Lake Watershed. *Iran-Water Resources Research, 10*(1), 51-62. [In Persian] https://www.iwrr.ir/article_13418.html?lang=en

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment, 140*, 23-35. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029

Forootan, E., Rietbroek, R., Kusche, J., Sharifi, M. A., Awange, J. L., Schmidt, M., ... & Famiglietti, J. (2014). Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data. *Remote Sensing of Environment, 140*, 580-595. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.025

Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change, 17*(2), 155-167. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002

Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, *16*(3), 293-303. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004

Getis, A. & Ord, J. K. (1996). Local spatial statistics: an overview. In P. Longley & M. Batty (eds) *Spatial analysis: Modelling in a GIS Environment*. Cambridge: Geoinformation International.

Ghajarnia, N., Liaghat, A., & Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, *158*, 50-65. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.010

Ghannadi, M. A., Shahri, M., & Moradi, A. (2022). Air pollution monitoring using Sentinel-5 (Case study: big industrial cities of Iran). *Environmental Sciences*, *20*(2), 81-98. [In Persian] https://doi.org/10.52547/envs.2022.1026

Guzmán, J. M., & de México, C. (2013). *The demography of adaptation to climate change*. G. Martine, & D. Schensul (Eds.). New York, London and Mexico City: UNFPA, IIED, and El Colegio de México. https://www.iied.org/g03554

Han, L., Zhou, W., Li, W., Meshesha, D. T., Li, L., & Zheng, M. (2015). Meteorological and urban landscape factors on severe air pollution in Beijing. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *65*(7), 782-787. https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1007220

Hinman, S. E. (2017). Comparing spatial distributions of infant mortality over time: Investigating the urban environment of Baltimore, Maryland in 1880 and 1920. *Applied Geography*, *86*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.015

IPCC. (2013). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In C. B. Field, V. M. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, ..., & P. M. Midgley (Eds.), A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: University Press Cambridge. http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3117.9529

Issazadeh, V., & Argany, M. (2021). Changes in Water Surface of Aquifers Using GRACE Satellite Data in the Google Earth Engine: A Study of the Urmia Lake Watershed From 2002 to 2017. *Town and Country Planning*, *13*(1), 193-214. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jtcp.2020.304748.670127

Jiao, J. J., Zhang, X., & Wang, X. (2015). Satellite-based estimates of groundwater depletion in the Badain Jaran Desert, China. *Scientific Reports*, 5(1), 8960. https://doi.org/10.1038/srep08960

Jones, R. N., & Preston, B. L. (2011). Adaptation and risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *2*(2), 296-308. https://doi.org/10.1002/wcc.97

Karimian, H., Li, Q., Li, C., Jin, L., Fan, J., & Li, Y. (2016). An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing. *Aerosol and Air Quality Research*, *16*(4), 1081-1092. https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.06.0424

Kirschbaum, D. B., Huffman, G. J., Adler, R. F., Braun, S., Garrett, K., Jones, E., ... & Zaitchik, B. F. (2017). NASA's remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *98*(6), 1169-1184. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00296.1

Kloog, I., Sorek-Hamer, M., Lyapustin, A., Coull, B., Wang, Y., Just, A. C., ... & Broday, D. M. (2015). Estimating daily PM2. 5 and PM10 across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data. *Atmospheric Environment*, *122*, 409-416. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.004

Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, *8*(2), 97-108. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003

Lee, M., & Diop, S. (2009). Millennium ecosystem assessment. An Assessment of Assessments: Findings of the Group of Experts Pursuant to UNGA Resolution 60/30, 1, 361.

Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. *Journal of Environmental Management*, 279, 111631. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111631

McCarthy, J. J. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 2). Cambridge University Press.

Mohammadi, S., Karimzadeh, H., Pourmanafi, S., & Soltani, S. (2018). Spatial and Temporal Evaluation of Soil Erosion using RUSLE model Landsat satellite image time series (Case Study: Menderjan, Isfahan). *Journal of Range and Watershed Managment*, *71*(3), 759-774. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.221162.1073

Moshayedi, Z., & Jahangir, M. H. (2021). Qualitative evaluation of surface water resources using satellite images in Seymareh dam reservoir. *Iranian journal of Ecohydrology*, *8*(4), 925-939. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2021.328294.1530

Najafi, Z., Darvishsefat, A. A., Fatehi, P., & Attarod, P. (2020). Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran megacity. *Iranian Journal of Forest*, *12*(2), 257-270. [In Persian] http://www.ijf-isaforestry.ir/article_114056.html

Nie, W., Zaitchik, B. F., Rodell, M., Kumar, S. V., Arsenault, K. R., Li, B., & Getirana, A. (2019). Assimilating GRACE into a land surface model in the presence of an irrigation-induced groundwater trend. *Water Resources Research*, 55(12), 11274-11294. https://doi.org/10.1029/2019WR025363

Paul, C., Techen, A. K., Robinson, J. S., & Helming, K. (2019). Rebound effects in agricultural land and soil management: Review and analytical framework. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1054-1067. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.115

Proag, V. (2014) The concept of vulnerability and resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, 369-376. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6

Raispour, K. (2021). Evaluation of Spatiotemporal Column Particulate Matter Concentration (PM2.5) Due to Dust Events in Iran Using Data from NASAN / MERRA-2 Reanalysis Model. *Journal of the Earth and Space Physics*, *47*(2), 333-354. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.316499.1007273

Ramezani Khojeen, A., Kheirkhah Zarkesh, M. M., & Daneshkar Arasteh, P. (2016). Calculating and Calibrating Land Surface Temperature Using Landsat8 Thermal bands. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, *7*(3), 49-64. [In Persian] https://gisj.sbu.ac.ir/article_95869.html

Rannow, S., & Neubert, M. (2014). *Managing protected areas in central and eastern Europe under climate change*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0

Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: a literature review. *Biological Conservation*, *141*(10), 2417-2431. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, *461*(7263), 472-475. https://doi.org/10.1038/461472a

Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, *14*(4), 5768-5780. https://doi.org/10.3390/s140405768

sabziparvar, A. A., & Nazemosadat, M. J. (2016). Validation of Land surface Temperature (LST) from Landsat-5 and MODIS Images (Case study: Wheat fields of Marvdasht Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(4), 25-43. [In Persian] https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.8864.2260

Sadeghi, H. A. (2023). *Explanation of the spatial pattern of environmental degradation in Iran with emphasis on demographic and economic determinants*. Ph.D. thesis, University of Tehran. [In Persian]

Sadeghi, H. A., Azizi, A., & Sadeghi, R. (2022). The Impact of Gender Gaps on the Environmental Performance in Selected Countries. *Woman in Development & Politics*, *20*(3), 389-413. [In Persian] .https://doi.org/10.22059/jwdp.2022.339832.1008173

Sadeghi, H., Mohamadi Masiri, A., & mohammadi, S. (2022). Environmental Governance and Government Efficiency in Iran. *State Studies of Contemporary Iran*, *8*(2), 31-57. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.27831914.1401.8.2.2.7

Saxena, P., & Naik, V. (2019). *Air pollution: sources, impacts and controls*. CAB International. https://doi.org/10.1079/9781786393890.0000

Schneising, O., Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., Burrows, J. P., Borsdorff, T., ... & Wunch, D. (2019). A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*, *12*(12), 6771-6802. https://doi.org/10.5194/amt-12-6771-2019

Segnon, A. C., Totin, E., Zougmoré, R. B., Lokossou, J. C., Thompson-Hall, M., Ofori, B. O., ... & Gordon, C. (2021). Differential household vulnerability to climatic and non-climatic stressors in semi-arid areas of Mali, West Africa. *Climate and Development*, *13*(8), 697-712. https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1855097

Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel-5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *11*(34), 1-16. [In Persian] https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813

Sherbinin, A. D., Carr, D., Cassels, S., & Jiang, L. (2007). Population and environment. *Annual Review Environment and Resources*, *32*(1), 345-373. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.041306.100243

Solomon, S. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge university press.

Tang, G., Clark, M. P., Papalexiou, S. M., Ma, Z., & Hong, Y. (2020). Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote sensing of environment*, *240*, 111697. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697

Teng, H., Rossel, R. A. V., Shi, Z., Behrens, T., Chappell, A., & Bui, E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*, *77*, 156-167. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.11.024

Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, *9*(3), 893-906. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.05.011

Torabi, F., Saravani, K., Sadeghi, H. A., & Jahanbazian, S. (2024). A comparative study of household vulnerability: A scoping review of the areas and measurement methods. *refahj*. *24*(94), 2. [In Persian] https://doi.org/10.32598/refahj.24.94.4424.1

Turner, B. S. (2015). *Vulnerability and human rights*. University Park, USA: Penn State University Press. https://doi.org/10.1515/9780271030449

Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., ... & Opfergelt, S. (2019). Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, *178*, 256-266. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024

Vogel, C., Susanne, C. M., Roger, E. K., & Geoffrey, D. D. (2012). *Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: pathways, players and partnerships1. In Integrating science and policy*. London :Routledge.

Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2014). Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, *145*, 55-67. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.003

Yoshida, Y., Ota, Y., Eguchi, N., Kikuchi, N., Nobuta, K., Tran, H., ... & Yokota, T. (2011). Retrieval algorithm for CO 2 and CH 4 column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite. *Atmospheric Measurement Techniques*, *4*(4), 717-734. https://doi.org/10.5194/amt-4-717-2011

Yuan, F., Wang, B., Shi, C., Cui, W., Zhao, C., Liu, Y., ... & Yang, X. (2018). Evaluation of hydrological utility of IMERG Final run V05 and TMPA 3B42V7 satellite precipitation products in the Yellow River source region, China. *Journal of Hydrology*, *567*, 696-711. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.045

Zabihi, M., Sadeghi, S. H., & Vafakhah, M. (2015). Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*, *7*(4), 442-457. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103089

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.35-55 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.87559.1477 Open access

Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the role of human activities in its occurrence

Amirali Abbaszadeh[a], Amir Saffari[b*], Ali Ahmadabadi[b]

[a] *Ph.D student in geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran.*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran.*

Received: 10 April 2024 ***Revised: 13 May 2024*** ***Accepted: 14 June 2024***

Abstract

Land subsidence is a significant hazard affecting many plains of Iran, including the Eyvanakey Plain in Semnan Province. The Eyvanakey Plain has a high potential for subsidence due to the influence of climate and topography. Given the importance of this issue, the present research aims to evaluate land subsidence in the Eyvanakey Plain and analyze the factors contributing to its occurrence.

In this study, Sentinel-1 radar images, Landsat satellite imagery, and data from piezometric wells in the region were utilized as primary research data. The key tools employed include GMT, ArcGIS, ENVI, and SPSS software. The study was conducted in two main phases: first, an assessment of land subsidence in the region from 2016 to 2022, and second, an analysis of the impact of groundwater depletion and land use changes on subsidence.

The results indicate that the study area experienced subsidence ranging from 28 to 533 mm over the six-year period, which is a significant amount. Spatial analysis of the subsidence reveals that the highest rates occurred in the southern parts of the Eyvanakey Plain. These areas also experienced an annual drop in groundwater levels of approximately 2 meters, highlighting groundwater depletion as one of the primary causes of subsidence.

Furthermore, based on the results, the extent of man-made areas and agricultural lands increased by 6.9 km² and 2.7 km², respectively, between 1992 and 2022. Given that the highest levels of subsidence were observed in these land use areas, the development of agricultural lands and man-made areas has been identified as the main cause of subsidence.

Key words: Land Subsidence, Groundwater Depletion, Eyvanakey Plain, Land Use changes, Sentinel-1 Radar Imagery, Spatial Analysis.

* .Corresponding author:Amir Saffari Email:saffari@khu.ac.ir Tel:+989121870792

How to cite this Article: Abbaszadeh, A., Saffari, A., Ahmadabadi, A. (2024). Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the Role of human activities in its occurrence. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 35-55.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۵-۳۵

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI:10.22067/geoeh.2024.87559.1477 دسترسی آزاد

برآورد نرخ فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش فعالیت‌های انسانی در وقوع آن

امیرعلی عباس زاده- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

امیر صفاری[۱] - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علی احمدآبادی- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ **دریافت:۱۴۰۳/۱/۲۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۲/۲۴ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۳/۲۵**

چکیده

فرونشست زمین مخاطره‌ای است که بسیاری از دشت‌های ایران ازجمله دشت ایوانکی در استان سمنان را دربرگرفته است. دشت ایوانکی تحت تأثیر وضعیت اقلیمی و توپوگرافی، پتانسیل بالایی از نظر وقوع مخاطره فرونشست دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به برآورد وضعیت فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و اطلاعات مربوط به چاه-های پیزومتری منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش، GMT، ArcGIS، ENVI و SPSS بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، در این پژوهش ابتدا به ارزیابی وضعیت فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ و سپس به ارزیابی تأثیر افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی در فرونشست رخ داده پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل‌توجهی می‌باشد. آنالیز مکانی فرونشست رخ داده بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است که این مناطق نیز سالانه با افت سطح آب زیرزمینی حدود ۲ متر مواجه شده است، بر این اساس، یکی از دلایل فرونشست رخ داده، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومترمربع افزایش مواجه شده‌اند و با توجه به اینکه بیش-

[۱]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۸۷۰۷۹۲ Email:saffari@khu.ac.ir

ترین میزان فرونشست (بیش از ۵۰۰ میلی‌متر) در محدوده این کاربری‌ها بوده است، بنابراین توسعه اراضی کشاورزی و نواحی انسان‌ساخت، عامل اصلی وقوع فرونشست منطقه بوده است.

کلیدواژه‌ها: فرونشست زمین،کاهش منابع آب زیرزمینی، دشت ایوانکی،تغییرات کاربری اراضی،تصاویر راداری سنتینل-۱، تحلیل مکانی.

۱- مقدمه

امروزه روند افزایشی جمعیت و دخالت‌های نابجای انسان در محیط، زمینه را برای گسترش مخاطرات طبیعی فراهم آورده است (Ganjaeian, 2019). ازجمله مخاطرات طبیعی که در طی سال‌های اخیر بسیاری از جوامع را درگیر کرده است، مخاطره فرونشست است (Delinom et al., 2009). بنا به تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده، فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد(Amighpey, Arabi & Talebi, 2010). فرونشست زمین مسئله‌ای جهانی و پدیده‌ای مورفولوژیکی است(Hsieh et al., 2011). این پدیده متأثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است که ممکن است مبدل به مخاطره و تهدیدی برای انسان و دستاوردهای انسانی شود(Saffari, Jafari & Tavakoli Sabour, 2018). فرونشست زمین وابسته به وضعیت زمین‌شناسی، اقلیمی و هیدروژئومورفولوژی مناطق است و عوامل انسانی مانند برداشت از منابع آب زیرزمینی و سازه‌های انسانی نقش تشدیدکننده دارند(Li et al., 2023; Hasibuan et al., 2023).

مناطق مختلفی از جهان تحت تأثیر وضعیت طبیعی و عوامل انسانی، در معرض مخاطره فرونشست قرار دارند (Malik, Kumar, Perissin & Pradhan, 2022; Jiang et al., 2023). وضعیت هیدرواقلیمی ایران سبب شده است تا بخش‌های زیادی از آن در معرض این مخاطره باشند. در واقع، با توجه به اینکه بخش زیادی از وسعت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربرگرفته است و این مناطق با کمبود منابع آب سطحی مواجه هستند، بنابراین این مناطق در معرض فرونشست قرار دارند. ازجمله مناطقی که در معرض مخاطره فرونشست هستند، دشت‌های استان سمنان ازجمله دشت ایوانکی است. بررسی‌های اولیه صورت گرفته و همچنین گزارش‌های ارائه شده از سوی سازمان‌های مختلف نشان داده است که دشت ایوانکی با مخاطره

فرونشست مواجه است و اثرات آن به‌صورت ترک‌خوردگی اراضی کشاورزی، ترک‌خوردگی سازه‌های انسانی و غیره نمایان شده است. با توجه به اهمیت موضوع و اثرات زیانبار فرونشست، لازم است تا به بررسی مخاطره فرونشست در این دشت پرداخته شود که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع موردمطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به کیم و همکاران (Kim, Kim, Kim, Won & Moon, 2007) اشاره کرد که با استفاده از روش سری زمانی PSI، میزان فرونشست منطقه شهری بوسان را ۳۰ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. بزانو و همکاران (Bozzano et al., 2015) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست دشت اکه آلبو[1] را حدود ۸۰ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. چن و همکاران(Chen et al., 2015) با استفاده از روش سری زمانی PSI، به ارزیابی میزان فرونشست شهر پکن پرداختند. دا لیو و توسی (Da Lio & Tosi, 2018) به ارزیابی فرونشست زمین در دشت ساحلی فریولی ایتالیا پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داده است که میزان فرونشست این دشت بیش از ۵ میلی‌متر در سال بوده است. بخارائی و همکاران(Bokhari et al., 2023) با استفاده از روش سری زمانی PSI، میزان فرونشست زمین در شهر گوادار[2] پاکستان را در طی دوره زمانی ۲ ساله بین ۳۲ تا ۹۲ میلی‌متر فرونشست برآورد کرده‌اند. خان و همکاران(Khan, Faiz, Gadea & Ahmad, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست در حوضه پیشاور پاکستان را حدود ۳/۲۳ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. در ایران نیز صفاری و همکاران(Saffari et al., 2018) با استفاده از روش سری زمانی SBAS، فرونشست سالانه دشت شهریار-کرج را در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، ۱۳۶ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. بابایی و همکاران(Babaei, Khazaei & Qasere Mobarakeh, 2017) با استفاده از روش‌های PS و SBAS، نشان دادند که در قسمت جنوب غربی شهر تهران و در مناطق شهرداری ۹، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۱ فرونشست معناداری در فاصله زمانی این یک سال اتفاق افتاده است. اصغری سراسکانرود و محمدزاده شیشه‌گران(Asghari Saraskanroud & Mohamadzadeh Shishegaran, 2021) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، ماکزیمم میزان فرونشست زمین در دشت شهریار حدود ۱۱/۵ سانتی-

[1] Acque Albule

[2] Gwadar

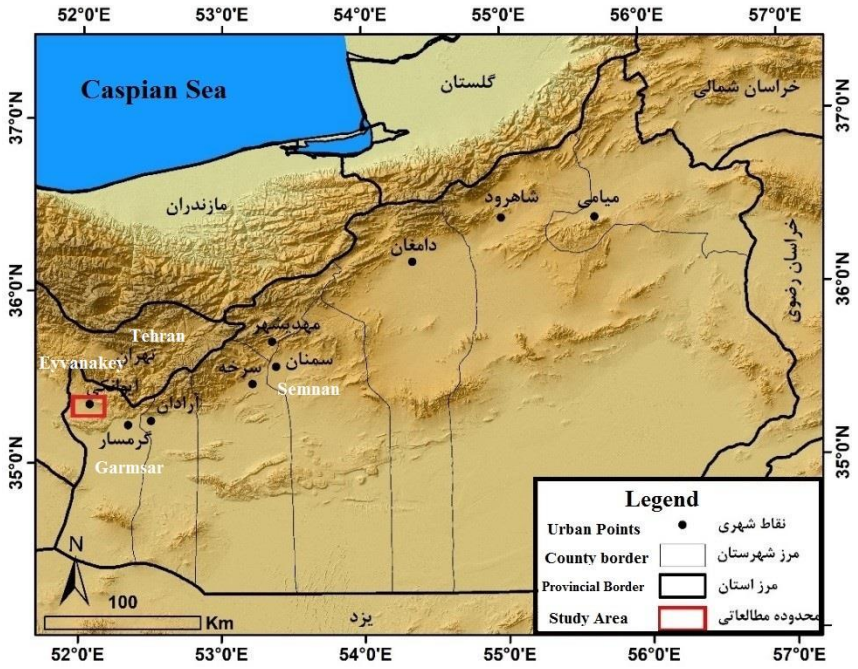
متر در سال برآورد کرده‌اند. قره‌چلو و همکاران Gharechelou, Akbari Ghoochani, Golian & Ganji, (2021) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، ماکزیمم میزان فرونشست زمین در دشت مشهد را حدود ۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. اسدی و همکاران(Asadi, Ganjaeian, Javedani & Ghaderi Hasab, 2021) به ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است که دشت ایوانکی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ ماکزیمم ۳۳ سانتی‌متر فرونشست داشته است. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Akbari, Javanshiri & Mohammadpour, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست زمین در دشت مرکزی شهرستان قائن را بین ۲/۶ تا ۷/۸ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. محرابی و همکاران(Mehrabi, Karimi & Khalesi, 2023) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری نشان دادند که میزان فرونشست دشت جیرفت از ۱۱ سانتی‌متر در سال ۲۰۱۴ به ۱۳ سانتی‌متر در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است. در راستای تحقیقات پیشین صورت گرفته، هدف از این پژوهش، برآورد وضعیت فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن است. در این تحقیق بر خلاف تحقیقات پیشین ازجمله اسدی و همکاران(Asadi et al., 2021) دوره زمانی ۶ ساله در نظر گرفته شده است و علاوه بر محاسبه نرخ فرونشست، ارتباط آن با افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی نیز ارزیابی و تحلیل شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل دشت ایوانکی در غرب استان سمنان است. دشت ایوانکی با حدود ۴۰۰ کیلومترمربع وسعت، از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان گرمسار قرار دارد و مهم‌ترین شهر این دشت، شهر ایوانکی است (شکل ۱). دشت ایوانکی از سمت شمال به دامنه‌های جنوبی البرز و از سمت جنوب به واحد تپه‌ماهور منتهی می‌شود. دشت ایوانکی از نظر ارتفاعی در بین طبقه ارتفاعی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. همچنین این دشت از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک تا نیمه‌خشک

محسوب می‌شود به‌طوری‌که متوسط بارندگی ایستگاه باران‌سنجی ایوانکی در طی دوره ۲۳ ساله، ۱۴۵ میلی‌متر بوده است (Ebadati, 2015).



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location map of the study area

۲-۲- روش انجام پژوهش

در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر ماهواره لندست و اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش، GMT[1] (به‌منظور تهیه نقشه فرونشست)، ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر)، ENVI (به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی) و SPSS (به‌منظور انجام محاسبات مورد نظر) بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، این پژوهش در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

[1] Generic Mapping Tools

مرحله اول (ارزیابی میزان فرونشست منطقه): در این مرحله با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۶ ساله (ژانویه ۲۰۱۶ تا ژانویه ۲۰۲۲) و با استفاده روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست دشت ایوانکی محاسبه شده است. در این مرحله از ۶۱ تصاویر راداری استفاده شده است (جدول ۱). تصاویر مورد استفاده دارای حالت مداری صعودی، نوع IW، فرمت SLC و پولاریزاسیون VV هستند پس از تهیه تصاویر، به‌منظور پردازش تصاویر از سیستم عامل لینوکس[1] و نرم‌افزار GMT استفاده شده است که برای این منظور در مرحله اول پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیحات مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است، همچنین در این مرحله آستانه همبستگی تصاویر ۰/۲ تعریف شده است. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین[2] زمانی تصاویر نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. در این پژوهش ابتدا میزان جابجایی سالانه محاسبه شده است و درنهایت جابجایی کلی صورت گرفته از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ محاسبه شده است.

جدول ۱- تاریخ تصاویر راداری مورد استفاده

Table 1- Date of the radar images used

ردیف Num.	تاریخ Date	ردیف Num.	تاریخ Date	ردیف Num.	تاریخ Date	ردیف Num.	تاریخ Date
1	2016.01.06	17	2017.10.15	32	2019.03.27	47	2020.09.17
2	2016.02.23	18	2017.11.20	33	2019.05.02	48	2020.10.23
3	2016.03.18	19	2017.12.26	34	2019.06.07	49	2020.11.28
4	2016.04.11	20	2018.01.19	35	2019.07.13	50	2021.01.03
5	2016.05.29	21	2018.02.24	36	2019.08.18	51	2021.02.08
6	2016.07.04	22	2018.04.01	37	2019.09.23	52	2021.03.16
7	2016.09.02	23	2018.05.07	38	2019.10.29	53	2021.04.21
8	2016.10.20	24	2018.06.12	39	2019.12.04	54	2021.05.27
9	2016.12.07	25	2018.07.18	40	2020.01.09	55	2021.07.02
10	2017.01.24	26	2018.08.23	41	2020.02.14	56	2021.08.07
11	2017.03.01	27	2018.09.28	42	2020.03.21	57	2021.09.12

[1] Linux

[2] Baseline

2021.10.18	58	2020.04.26	43	2018.11.03	28	2017.04.06	12
2021.11.23	59	2020.06.01	44	2018.12.09	29	2017.05.12	13
2021.12.17	60	2020.07.07	45	2019.01.14	30	2017.06.29	14
2020.01.10	61	2020.08.12	46	2019.02.19	31	2017.08.04	15
						2017.09.09	16

مرحله دوم (تحلیل ارتباط فرونشست منطقه با افت منابع آب زیرزمینی): در این مرحله با استفاده از اطلاعات مربوط به وضعیت افت سطح آب چاه‌های دشت ایوانکی، میزان تغییرات این چاه‌ها محاسبه شده و سپس نقشه وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه تهیه شده است. در این مرحله ابتدا اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیزومتری در محدوده مطالعاتی تهیه شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS میزان افت سالانه هر چاه محاسبه شده است. پس از محاسبه میزان افت سالانه هر چاه، با استفاده از روش درونیابی Spilne (بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته، این روش تناسب بیش‌تری برای این موضوع دارد) و از طریق نرم‌افزار ArcGIS، نقشه افت سالانه آب زیرزمینی منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه میزان افت سالانه آب زیرزمینی منطقه، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ارتباط افت منابع آب زیرزمینی با فرونشست منطقه ارزیابی شده است.

مرحله سوم (تحلیل ارتباط فرونشست منطقه با تغییرات کاربری اراضی): در این مرحله با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (جدول ۲)، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ تهیه شده است و پس از ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، به تحلیل ارتباط آن‌ها با فرونشست منطقه پرداخته شده است. در این مرحله ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مربوط به سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ تهیه شده است. پس از تهیه تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شده است و سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال[1]، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و آنالیز تغییرات صورت گرفته، به ارزیابی وضعیت فرونشست زمین در هر کاربری و ارتباط تغییرات کاربری اراضی با میزان فرونشست رخ داده پرداخته شده است.

[1] Maximum Likelihood

جدول ۲- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Table 2- Specifications of the images used

ردیف Num.	تاریخ Date	ماهواره Satellite	سنجنده Sensor
1	1992	Landsat 5	TM
2	2002	Landsat 5	TM
3	2012	Landsat 7	ETM
4	2022	Landsat 8	OLI

۳-نتایج و بحث

۱-۳-ارزیابی میزان فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲

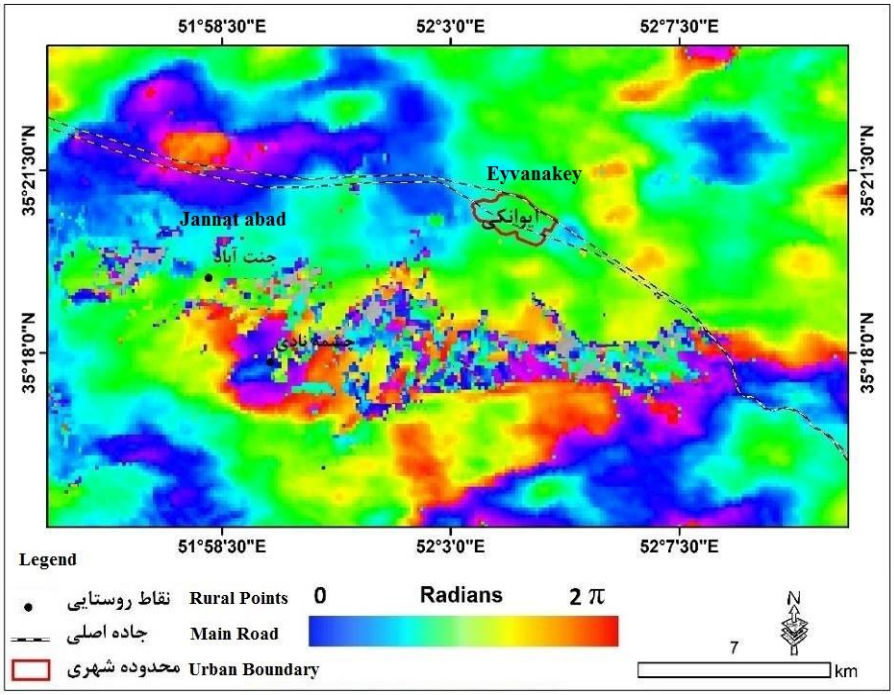
در این پژوهش به‌منظور ارزیابی فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰ از ۶۱ تصویر راداری استفاده شده است و بر اساس بیس‌لاین زمانی، ۶۰ زوج تصویر به‌منظور تهیه نقشه‌های اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۳). پس از انتخاب زوج تصاویر، اینترفروگرام‌های مورد نظر در این بازه زمانی تهیه شده است (شکل ۲).

جدول ۳- زوج تصاویر انتخاب شده جهت تهیه نقشه‌های اینترفروگرام

Table 3- Selected image pairs for generating interferogram maps

زوج تصاویر Image pair		شماره Num.	زوج تصاویر Image pair		شماره Num.	زوج تصاویر Image pair		شماره Num.
2020.02.14	2020.03.21	41	2018.02.24	2018.04.01	21	2016.01.06	2016.02.23	1
2020.03.21	2020.04.26	42	2018.04.01	2018.05.07	22	2016.02.23	2016.03.18	2
2020.04.26	2020.06.01	43	2018.05.07	2018.06.12	23	2016.03.18	2016.04.11	3
2020.06.01	2020.07.07	44	2018.06.12	2018.07.18	24	2016.04.11	2016.05.29	4
2020.07.07	2020.08.12	45	2018.07.18	2018.08.23	25	2016.05.29	2016.07.04	5
2020.08.12	2020.09.17	46	2018.08.23	2018.09.28	26	2016.07.04	2016.09.02	6
2020.09.17	2020.10.23	47	2018.09.28	2018.11.03	27	2016.09.02	2016.10.20	7
2020.10.23	2020.11.28	48	2018.11.03	2018.12.09	28	2016.10.20	2017.12.07	8
2020.11.28	2021.01.03	49	2018.12.09	2019.01.14	29	2016.12.07	2017.01.24	9
2020.11.28	2021.01.03	50	2019.01.14	2019.02.19	30	2017.01.24	2017.03.01	10
2021.01.03	2021.02.08	51	2019.02.19	2019.03.27	31	2017.03.01	2017.04.06	11
2021.02.08	2021.03.16	52	2019.03.27	2019.05.02	32	2017.04.06	2017.05.12	12
2021.03.16	2021.04.21	53	2019.05.02	2019.06.07	33	2017.05.12	2017.06.29	13

2021.04.21	2021.05.27	54	2019.06.07	2019.07.13	34	2017.06.29	2017.08.14	14
2021.05.27	2021.07.02	55	2019.07.13	2019.08.18	35	2017.08.04	2017.09.09	15
2021.08.07	2021.09.12	56	2019.08.18	2019.09.23	36	2017.09.09	2017.10.15	16
2021.09.12	2021.10.18	57	2019.09.23	2019.10.23	37	2017.10.15	2017.11.20	17
2021.10.18	2021.11.23	58	2019.10.29	2019.12.04	38	2017.11.20	2017.12.26	18
2021.11.23	2021.12.17	59	2019.12.04	2020.01.09	39	2017.12.26	2018.01.19	19
2021.12.17	2022.01.10	60	2020.01.09	2020.02.14	40	2018.01.19	2018.02.24	20

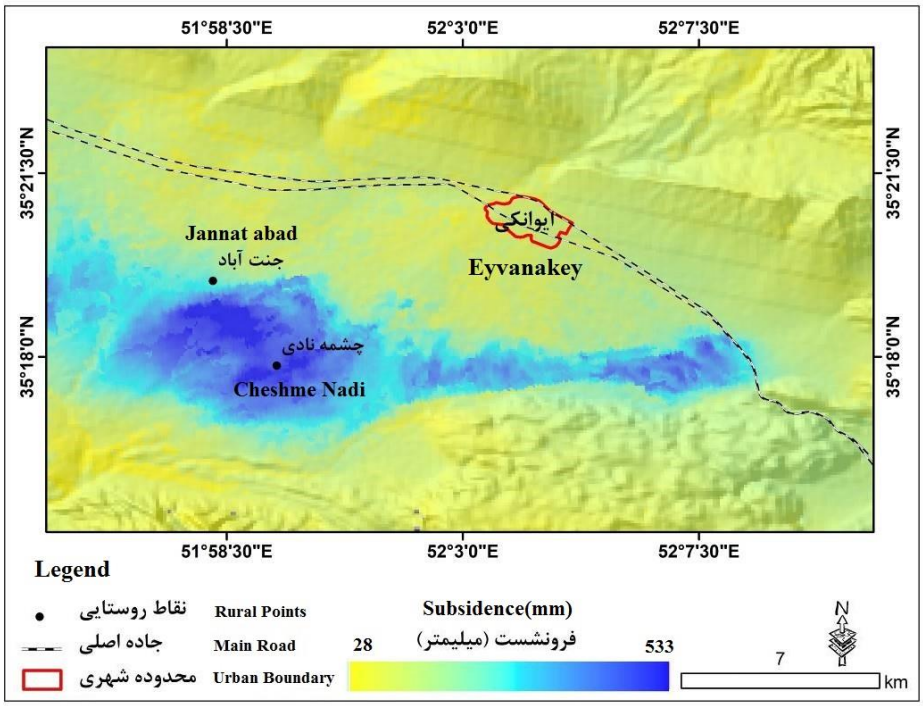


شکل ۲- نمونه‌ای از نقشه اینترفروگرام‌های منطقه (زوج تصویر ۲۰۱۶/۰۷/۰۴ - ۲۰۱۶/۰۵/۲۹)

Fig.2. An example of interferogram maps of the area (image pair 2016.05.29 – 2016.07.04)

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام منطقه، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰ تهیه شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل‌توجهی است. بر این اساس می‌توان گفت که دشت ایوانکی به‌طور متوسط سالانه حدود ۸ سانتی‌متر فرونشست دارد که این مسئله بیانگر بحرانی بودن و در معرض مخاطره بوده این دشت است. همچنین نتایج بررسی وضعیت پراکنش مکانی

فرونشست رخ داده بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی و بیش‌تر در حدفاصل روستاهای جنت‌آباد و چشمه نادری بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه تجمعی فرونشست منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰

Fig.3. Cumulative subsidence map of the area from the date 2016.01.06 to 2022.01.10

۲-۳-بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه

یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع فرونشست، افت منابع آب زیرزمینی است. در واقع، در طی سال‌های اخیر روند افزایشی جمعیت و استفاده بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی سبب افت سطح منابع آب زیرزمینی شده و همین مسئله زمینه را برای وقوع فرونشست در بسیاری از دشت‌های کشور ازجمله دشت ایوانکی فراهم آورده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت ایوانکی از اطلاعات سازمان آب و منطقه‌ای استان سمنان استفاده شده است که برای این منظور میزان افت سطح آب ۱۳ چاه محاسبه شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله، بیش‌ترین میانگین افت سالانه آب زیرزمینی با ۱/۹۵ متر مربوط به چاه برج حیدر (چاه شماره ۸) بوده است. بعدازاین چاه نیز چاه‌های شمال مزرعه

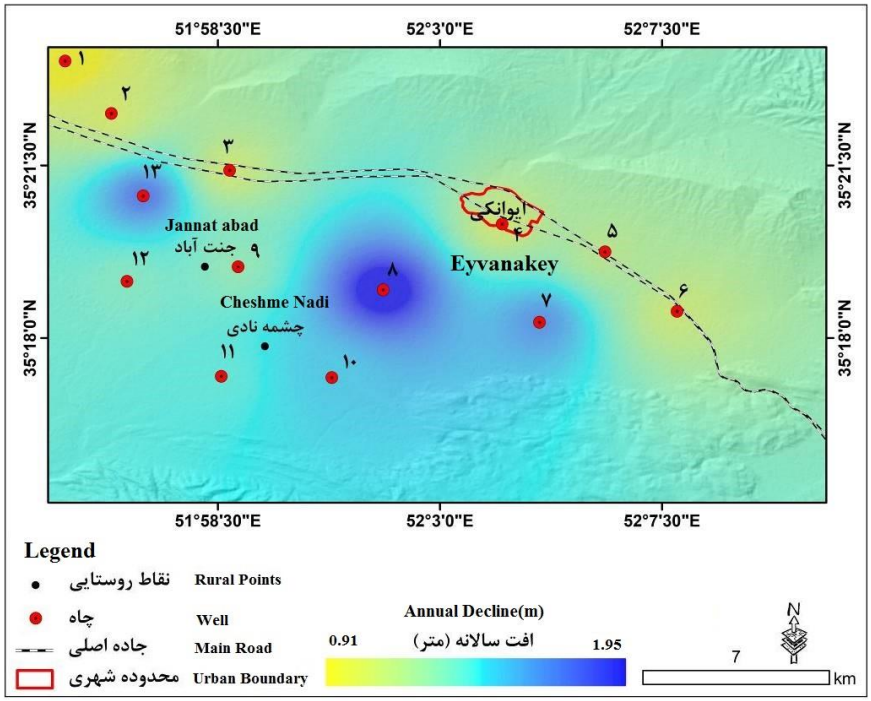
بهشت‌آباد (چاه شماره ۱۳) و چاه باغ دانش (چاه شماره ۷) به ترتیب با میانگین افت سالانه ۱/۷۵ و ۱/۵۱ متر، دارای بیش‌ترین میزان افت آب زیرزمینی بوده‌اند. همچنین کم‌ترین میانگین افت سالانه آب زیرزمینی با ۰/۹۱ متر مربوط به چاه چنداب (چاه شماره ۱) بوده است. در این پژوهش پس از محاسبه میانگین افت سالانه چاه‌های منطقه موردمطالعه، به‌منظور تهیه نقشه میزان افت سطح آب در منطقه موردمطالعه، اطلاعات مربوطه وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و سپس با استفاده از روش درونیابی Spline نقشه میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی در این دشت تهیه شده است (شکل ۴) که بر اساس آن بیش‌ترین میزان افت آب زیرزمینی مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است.

جدول ۴- موقعیت و میانگین افت سالانه چاه‌های منطقه موردمطالعه

Table-4 Location and average annual decline of wells in the study area

موقعیت در نقشه Location on the map	موقعیت محلی Local location	دوره زمانی Time period	سطح آب در سال مبنا Water level in the base year	سطح آب در سال ۱۳۹۸ Water level in the year 2019	میانگین افت سالانه (متر) Average annual decline
1	چنداب Chandab	1993-2019	120	144	0.91
2	باغ اناری Bagh Anari	1993-2019	61	89	1.06
3	پمپ‌بنزین Fuel pump	1993-2019	72	100	1.08
4	پارک بخشداری Park	1993-2019	142	170	1.07
5	جهادآباد Jahad Abad	1993-2019	118	136	1.14
6	سیالک Sialk	1993-2019	43	71	1.09
7	باغ دانش Garden	1993-2019	96	122	1.51
8	برج حیدر Borj Heydar	1993-2019	91	142	1.95
9	جنت‌آباد Jannat Abad	1993-2019	32	64	1.23
10	شرق چشمه نادی East of Cheshme Nadi	1993-2019	6	42	1.4

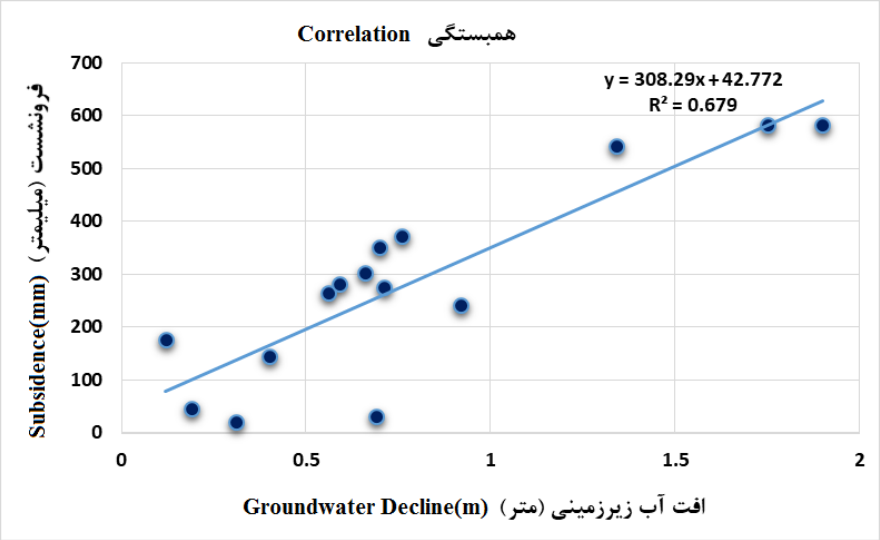
1.31	38	4	1993-2019	جنوب چشمه نادی South of Nadi Cheshme	11
1.26	37	4	1993-2019	جنوب بهشت‌آباد South of Behesht Abad	12
1.57	78	51	2002-2019	شمال مزرعه بهشت‌آباد Northth of Behesht Abad	14



شکل ۴- نقشه درونیابی شده افت آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه

Fig.4. The interpolated map of groundwater decline in the study area

پس از نقشه درونیابی افت منابع آب زیرزمینی، به‌منظور ارزیابی ارتباط بین میزان فرونشست منطقه با افت سطح آب چاه‌های موردمطالعه، همبستگی بین آن‌ها محاسبه شده است که نتایج یافته‌ها بیانگر ارتباط قوی و مثبت (۶۸/.) بین آن‌ها می‌باشد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده، یکی از عوامل اصلی در وقوع فرونشست منطقه، افت منابع آب زیرزمینی بوده است.

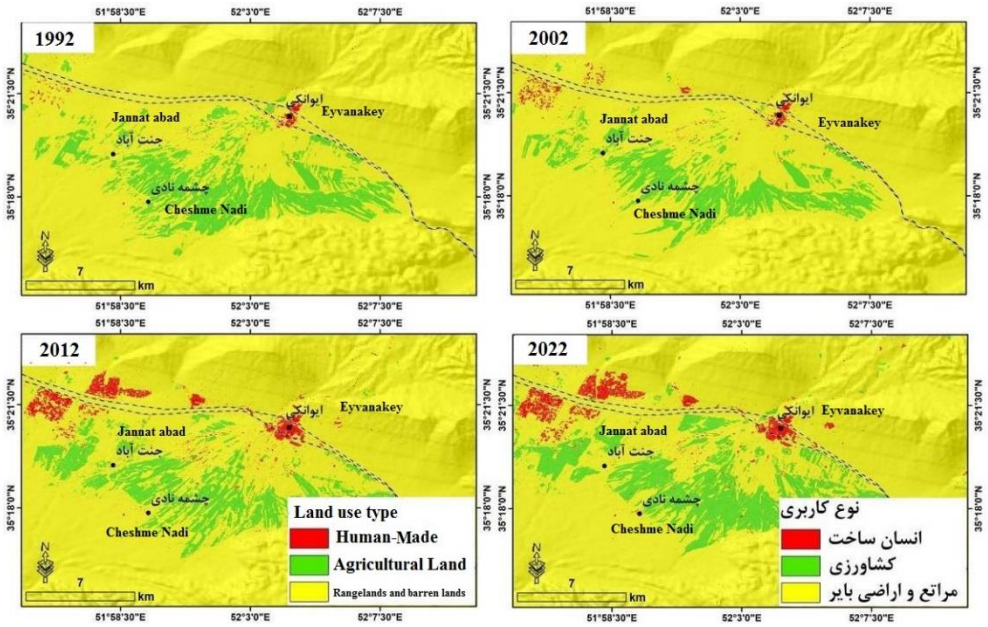


شکل ۵- نمودار وضعیت همبستگی بین افت سطح آب چاه‌ها با میزان فرونشست زمین

Fig.5. Graph of correlation between groundwater level decline and subsidence rate

۳-۳-ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه

با توجه به اینکه یکی از عوامل مؤثر در وقوع فرونشست، تغییرات کاربری اراضی است. در این بخش به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی محدود مطالعاتی و ارتباط آن با فرونشست منطقه پرداخته شده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ استفاده شده است. پس از تهیه تصاویر مورد نظر و انجام تصحیحات و پیش‌پردازش‌های لازم، نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ تهیه شده است (شکل ۶). بر اساس نقشه‌های تهیه شده، بخش زیادی از وسعت محدوده را مراتع و سپس اراضی کشاورزی دربرگرفته است.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

Fig.6. Land use map of the area from 1992 to 2022

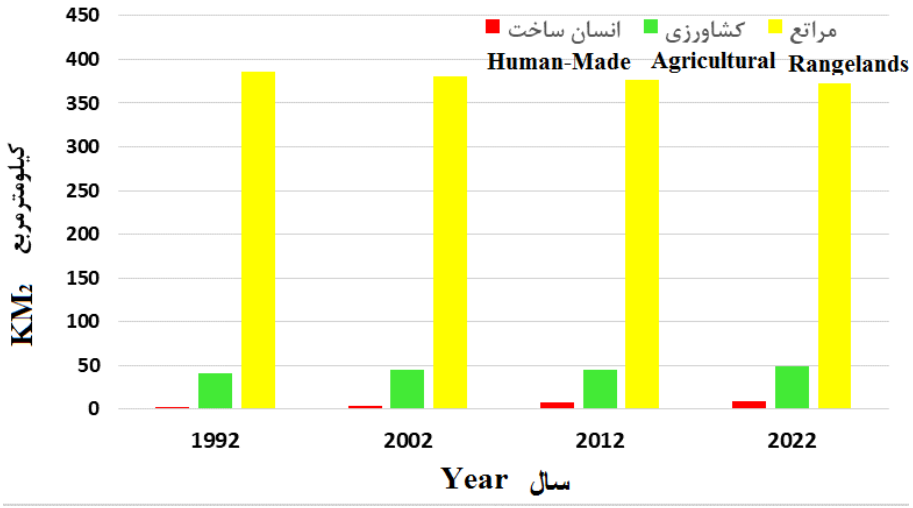
بررسی نقشه‌های کاربری اراضی محدوده مطالعاتی نشان داده است که این محدوده در طی سال‌های اخیر با تغییرات زیادی مواجه شده است. بر اساس نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت در سال ۱۹۹۲، ۱/۷ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۳/۸، ۷/۵ و ۸/۶ کیلومترمربع افزایش یافته است که این مسئله بیانگر روند توسعه این کاربری در طی سال‌های اخیر بوده است. کاربری اراضی کشاورزی در سال ۱۹۹۲، ۴۱/۳ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۴۴/۷، ۴۵/۲ و ۴۸/۵ کیلومترمربع افزایش یافته است که این مسئله بیانگر این است که کاربری اراضی کشاورزی نیز در طی سال‌های اخیر دارای روند افزایشی بوده است. کاربری مراتع و اراضی بایر در سال ۱۹۹۲، ۳۸۶/۲ کیلومترمربع وسعت داشته است که این میزان در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۲ به ترتیب به ۳۸۰/۷، ۳۷۶/۵ و ۳۷۲/۱ کیلومترمربع کاهش یافته است (جدول ۵ و شکل ۷). با توجه به نتایج حاصله، کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومترمربع افزایش یافته مواجه شده‌اند و کاربری مراتع و اراضی بایر با ۱۴/۱ کیلومترمربع کاهش مواجه شده است. مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت

تأثیر روند افزایشی جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فرونشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و درنتیجه وقوع فرونشست در دشت ایوانکی شده است. در شکل ۸ تصویر از اثرات فرونشست در دشت ایوانکی نشان داده شده است.

جدول ۵- مساحت کاربری‌های اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ برحسب کیلومترمربع

Table 5-The area of Land use types within the study area from 1992 to 2022 (km^2)

ردیف Row	نوع کاربری Land use Type	1992	2002	2012	2022
1	سکونتگاهی و انسان‌ساخت Human-Made	1.7	3.8	7.5	8.6
2	کشاورزی Agricultural	41.3	44.7	45.2	48.5
3	مراتع و اراضی بایر Rangelands and barren lands	386.2	380.7	376.5	372.1



شکل ۷- نمودار مساحت کاربری‌های اراضی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

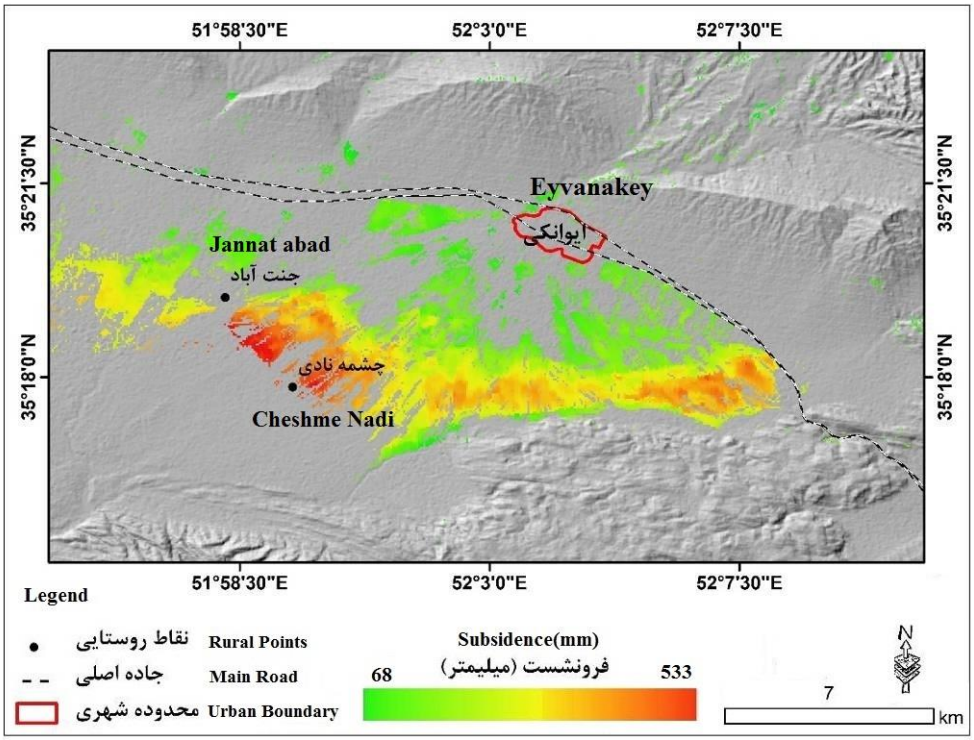
Fig.7. Graph of the area of land use types within the study area from 1992 to 2022

شکل ۸- تصویر از اثرات فرونشست در دشت ایوانکی

Fig.8. A picture of the effects of subsidence in the Eyvanakey Plain

مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که تحت تأثیر روند افزایشی جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فرونشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و درنتیجه وقوع فرونشست در دشت ایوانکی شده است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی ارتباط میزان فرونشست رخ داده در محدوده مطالعاتی با نوع کاربری‌های اراضی، وضعیت فرونشست رخ داده در هر کاربری محاسبه شده است. به‌منظور انجام این کار، ابتدا لایه اطلاعاتی هر کاربری (کاربری سال ۲۰۲۲) جدا شده و سپس نقش فرونشست آن کاربری (بر اساس نقشه تجمعی فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲) استخراج شده است. بررسی وضعیت میزان فرونشست رخ داده در کاربری مراتع و اراضی بایر نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۲۸ تا ۴۷۹ میلی‌متر بوده است. بررسی وضعیت میزان فرونشست رخ داده در کاربری نواحی انسان‌ساخت نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۵۱ تا ۵۰۳ میلی‌متر بوده است. همچنین نتایج ارزیابی میزان فرونشست رخ داده در کاربری اراضی کشاورزی نشان داده است که میزان فرونشست این کاربری در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ بین ۶۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر بوده است (شکل ۹). بر این اساس می‌توان گفت مناطقی که دارای کاربری اراضی کشاورزی هستند، دارای بیش‌ترین میزان فرونشست هستند و بنابراین بین نوع کاربری کشاورزی و فرونشست رخ داده، ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ بنابراین

می‌توان گفت که دلیل اصلی فرونشست منطقه، کاربری اراضی کشاورزی بوده است؛ چراکه این کاربری به‌طور مستقیم سبب افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع مخاطره فرونشست شده است.



شکل ۹- نقشه میزان فرونشست کاربری اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲

Fig.9. Map of land subsidence rates in agricultural land use from 2016 to 2022

۴-نتیجه‌گیری

موقعیت قرارگیری دشت ایوانکی سبب شده است تا این دشت پتانسیل فرونشست بالایی داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ ارزیابی شده است. بر اساس نتایج حاصله، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ساله بین ۲۸ تا ۵۳۳ میلی‌متر فرونشست داشته که رقم قابل‌توجهی است. بر این اساس می‌توان گفت که دشت ایوانکی به‌طور متوسط سالانه حدود ۸ سانتی‌متر فرونشست دارد که این مسئله بیانگر بحرانی بودن و در معرض مخاطره بوده این دشت است. همچنین نتایج بررسی وضعیت پراکنش مکانی فرونشست رخ داده

بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی و بیش‌تر در حدفاصل روستاهای جنت‌آباد و چشمه نادری بوده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی عوامل مؤثر در فرونشست رخ داده، به بررسی وضعیت افت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی در دشت ایوانکی پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، میانگین سالانه افت آب چاه‌های پیزومتری منطقه بین ۰/۹۱ تا ۱/۹۵ متر بوده است و بر اساس نقشه تهیه شده، بیش‌ترین میزان افت سطح آب زیرزمینی، مربوط به مناطق جنوبی دشت ایوانکی بوده است. نتایج همبستگی بین میزان فرونشست منطقه با افت سطح آب چاه‌های موردمطالعه، بیانگر ارتباط بین قوی و مثبت (۰/۶۸) بین آن‌ها می‌باشد. بر این اساس، همانند دشت کرج-شهریار (Saffari et al., 2018) و دشت مشهد(Gharechelou et al., 2021)، یکی از عوامل اصلی در وقوع فرونشست منطقه، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. همچنین نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان داده است که کاربری نواحی انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ به ترتیب با ۶/۹ و ۷/۲ کیلومترمربع افزایش یافته مواجه شده‌اند و کاربری مراتع و اراضی بایر با ۱۴/۱ کیلومترمربع کاهش مواجه شده است. با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به کاربری اراضی کشاورزی و نواحی انسان‌ساخت بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت که همانند دشت همدان(Ganjaeian, Asadi, Menbari & Ebrahimi, 2023)، تحت تأثیر روند افزایشی جمعیت، روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی و انسان‌ساخت افزایش یافته که این مسئله باعث افزایش فشار بر زمین و تشدید فرونشست در منطقه شده است. همچنین روند توسعه اراضی کشاورزی نیز سبب افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه وقوع فرونشست در دشت ایوانکی شده است.

References

Amighpey, M., Arabi, S., & Talebi, A. (2010). Studying Yazd Subsidence Using InSAR and Precise Leveling. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, *20*(77), 157-164. [In Persian] https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55368

Asadi, M., Ganjaeian, H., Javedani, M., & Ghaderi Hasab, M. (2021). Evaluation of the Relationship between Natural Factors and Subsidence in Ivanaki Plain Using Radar Imaging. *Hydrogeology*, *6*(1), 13-22. [In Persian] https://doi.org/10.22034/hydro.2021.13016

Asghari Saraskanroud, S., & Mohamadzadeh Shishegaran, M. (2021). Estimation of subsidence using radar interferometry technique and groundwater parameters and land use (Case study: shahryar plain). *Quantitative Geomorphological Research*, *10*(1), 40-54. [In Persian] https://doi.org/10.22034/gmpj.2021.258196.1229

Babaei, S., Khazaei, S., & Qasere Mobarakeh, F. (2017). Interferometric Processing Time Series COSMO-SkyMed Pictures to Calculate Subsidence Rate of the Ground and Underground Structures. *Journal of Geomatics Science and Technology*, *7*(1), 55-67. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.2322102.1396.7.1.5.5

Bokhari, R., Shu, H., Tariq, A., Al-Ansari, N., Guluzade, R., Chen, T., ... & Aslam, M. (2023). Land subsidence analysis using synthetic aperture radar data. *Heliyon*, *9*(3), e14690. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14690

Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D., Rocca, A., & Romano, E. (2015). Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modelling with satellite InSAR data: The Acque Albule Plain case study. *Remote Sensing of Environment*, *168*, 219-238. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.07.010

Chen, B., Gong, H., Li, X., Lei, K., Ke, Y., Duan, G., & Zhou, C. (2015). Spatial correlation between land subsidence and urbanization in Beijing, China. *Natural Hazards*, *75*, 2637-2652. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1451-6

Da Lio, C., & Tosi, L. (2018). Land subsidence in the Friuli Venezia Giulia coastal plain, Italy: 1992–2010 results from SAR-based interferometry. *Science of the Total Environment*, *633*, 752-764. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.244

Delinom, R. M., Assegaf, A., Abidin, H. Z., Taniguchi, M., Suherman, D., Lubis, R. F., & Yulianto, E. (2009). The contribution of human activities to subsurface environment degradation in Greater Jakarta Area, Indonesia. *Science of the Total Environment*, *407*(9), 3129-3141. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.003

Ebadati, N. (2015). Trend assessment of changes in water quality plain Eyvanakey. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *2*(4), 383-394. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2015.58064

Ganjaeian, H. (2019). *Geomorphological hazards of urban areas, study methods and control strategies.* Tehran: EnteKhab Publishing. [In Persian]

Ganjaeian, H., Asadi, M., Menbari, F., & Ebrahimi, A. (2023). Analysis of Subsidence Status in Hamedan Urban Area using Radar and Satellite Images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(4), 221-236. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76383.1217

Gharechelou, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S., & Ganji, K. (2021). Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, *12*(3), 40-61.[In Persian] https://doi.org/10.30495/girs.2021.680336

Hasibuan, H. S., Tambunan, R. P., Rukmana, D., Permana, C. T., Elizandri, B. N., Putra, G. A. Y., ... & Ristya, Y. (2023). Policymaking and the spatial characteristics of land subsidence in North Jakarta. *City and Environment Interactions*, *18*, 100103. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100103

Hosseinzadeh, S. R., Akbari, E., Javanshiri, M., & Mohammadpour, Z. (2023). Spatial Analysis of Ground Subsidence using Radar Interferometry (Case Study: Central Plain of Ghaen City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(4), 99-126. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75138.1169

Hsieh, C. S., Shih, T. Y., Hu, J. C., Tung, H., Huang, M. H., & Angelier, J. (2011). Using differential SAR interferometry to map land subsidence: a case study in the Pingtung Plain of SW Taiwan. *Natural Hazards*, *58*, 1311-1332. https://doi.org/10.1007/s11069-011-9734-7

Jiang, C., Liu, D., Jiang, C., Wang, Q., Sadat-Noori, M., & Li, H. (2023). Tracing groundwater discharge into a coal mining subsidence lake in eastern China: Observations from water stable (δD and δ18O) and radon (222Rn) isotope. *Applied Geochemistry*, *156*, 105757. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2023.105757

Khan, S. D., Faiz, M. I., Gadea, C. A., & Ahmad, A. (2023). Study of land subsidence by radar interferometry and hot spot analysis techniques in the Peshawar Basin, Pakista. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *26* (1), 173-184. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.02.001

Kim, J. S., Kim, D. J., Kim, S. W., Won, J. S., & Moon, W. M. (2007). Monitoring of urban land surface subsidence using PSInSAR. *Geosciences Journal*, *11*, 59-73. https://doi.org/10.1007/BF02910381

Li, W., Wang, Y., Wang, G., Liang, Y., Li, C., & Svenning, J.C. (2023). How do rotifer communities respond to floating photovoltaic systems in the subsidence wetlands created by underground coal mining in China? *Journal of Environmental Management*, *339*,117816. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117816

Malik, K., Kumar, D., Perissin, D., & Pradhan, B. (2022). Estimation of ground subsidence of New Delhi, India using PS-InSAR technique and Multi-sensor Radar data. *Advances in Space Research*, 69(4), 1863-1882. https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.08.032

Mehrabi, A., Karimi, S., & Khalesi, M. (2023). Spatial Analysis of Jiroft Plain Subsidence Using the Coherence Pixel Technique (CPT). *Geography and Environmental Planning*, *34*(1), 99-116.[In Persian] https://doi.org/10.22108/gep.2022.133667.1525

Saffari, A., Jafari, F., & Tavakoli Sabour, S. (2018). Monitoring its land subsidence and its relation to groundwater harvesting Case study: Karaj Plain - Shahriar. *Quantitative Geomorphological Research*, *5*(2), 82-93. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1395.5.2.6.8

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.56-74 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82144.1357 Open access

Investigating the effectiveness of the SWMM model in simulating and evaluating the capacity of Kalat Naderi urban channels for the passage of flood flows

Zinat Hesami[a], Mohammad Taghi Dastorani[b*], Fateme Rezaei Garavi[c]

[a]*MSc Graduate in Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

[b]*Professor in watershed sciences , Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

[c]*PhD in Watershed Sciences and Engineering, Rgional Water Company of Kalat-Nader, Razavi Khorasan Province, Iran.*

Received: 30 July 2023 ***Revised: 21 September*** ***Accepted: 19 November 2023***

Abstract

Urban development and industrialization, combined with the lack of proper drainage systems and the disorder of canals and channels, have had adverse effects on urban areas, leading to flooding of roads and inundation. This research, conducted in a region of Kalat city, aimed to analyze these issues. First, the physical characteristics of the area—such as area size, slope, equivalent width, percentage of impervious surfaces, and other parameters—were estimated. After determining the average water flow velocity, the concentration time of the study area was calculated based on the length of the largest waterway.

Using rainfall parameters such as intensity-duration-frequency (IDF) and the temporal and spatial distribution of rainfall, the SWMM (Storm Water Management Model) was simulated, sensitivity-analyzed, and evaluated for different return periods. Sensitivity analysis revealed that among the eight parameters analyzed, the percentage of impervious surfaces had the greatest effect on peak flow rate.

To calibrate and evaluate the model, five measured events were analyzed. Three events were used for calibration, where criteria such as Nash-Sutcliffe Efficiency (NS), Root Mean Square Error (RMSE), BIAS%, and Kling-Gupta Efficiency (KGE) were employed to assess performance. The calibration results indicated good agreement between simulated and observed runoff, with NS values greater than 0.5 for all three events.

For model evaluation, two additional events were analyzed using the same criteria. The RMSE values for the calibration simulations were 0.01, 0.003, and 0.01 cubic meters per second, respectively, while the RMSE values for the evaluation simulations were 0.04 and 0.04 cubic meters per second. These results demonstrate the model's acceptable performance.

The findings indicate a strong agreement between simulated and observed runoff, proving that the SWMM model has the required accuracy for urban runoff simulation. Thus, this model can be effectively used for urban runoff management plans and drainage network design. Additionally, it was determined that the upstream watershed of the study area, characterized by good permeability and a small size, supports channels with suitable dimensions for return periods ranging from 2 to 50 years.

Keywords: Urban runoff, SWMM model, Drainage System, Sensitivity Analysis, Rainfall-Runoff Simulation, Calibration and Evaluation.

*.Corresponding author: Mohammad Taghi Dastorani Email:dastorani@um.ac.ir Tel:+989133575425

How to cite this Article: Hesami, Z., Dastorani, M. T., & rezayi, F. (2024). Investigating the effectiveness of the SWMM model in simulating and evaluating the capacity of Kalat Naderi urban channels for the passage of flood flows. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 56-74.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۷۴-۵۶

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82144.1357 دسترسی آزاد

بررسی کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی و ارزیابی ظرفیت کانال‌های شهری کلات نادری جهت عبور جریان‌های سیلابی

زینت حصامی- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمدتقی دستورانی[۱]- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

فاطمه رضایی- دکترای علوم و مهندسی آبخیز، کارشناس شرکت آب منطقه‌ای شهرستان کلات نادر، خراسان رضوی ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۳۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۸/۲۸

چکیده

توسعه شهری و صنعتی‌شدن جوامع و همچنین عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها تأثیرات نامطلوبی بر حوزه‌های شهری داشته و سبب آبگرفتگی معابر سطح شهر و ایجاد سیلاب می‌گردد. در این تحقیق که در منطقه‌ای از شهر کلات انجام شد، ابتدا مشخصات فیزیکی حوزه (مساحت، شیب، عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر و سایر پارامترها) برآورد و پس از تعیین سرعت متوسط آب، زمان تمرکز منطقه موردمطالعه با توجه به طول بزرگ‌ترین آبگذر تعیین گردید. سپس با استفاده از پارامترهای بارندگی همچون شدت- مدت- فراوانی و توزیع زمانی و مکانی بارش مدل مذکور برای دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی، آنالیز حساسیت و ارزیابی گردید. با انجام آنالیز حساسیت مشخص شد از بین ۸ پارامتر استفاده شده بیشترین تأثیر را درصد مناطق نفوذناپذیر روی میزان دبی اوج دارد. برای واسنجی و ارزیابی مدل از ۵ واقعه اندازه‌گیری شده استفاده شد و نتایج آن با دبی محاسبه شده توسط مدل مقایسه شد. سه واقعه برای واسنجی مدل استفاده شد و جهت تجزیه‌وتحلیل نتایج از عوامل معیار Nash، RMSE، BIAS% و KGE استفاده گردید. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی سه واقعه انتخاب شده انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای وجود دارد که مقدار NS برای وقایع بیشتر

[۱] نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۵۷۵۴۲۵ Email:dastorani@um.ac.ir

از ۰.۵ می‌باشد. دو واقعه نیز برای ارزیابی مدل استفاده شد و جهت تجزیه‌وتحلیل نتایج از عوامل معیار ذکر شده در مرحله واسنجی استفاده شد. همچنین مقادیر RMSE برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی مدلSWMM به ترتیب برابر ۰.۰۱، ۰.۰۰۳ و۰.۰۱ مترمکعب بر ثانیه و برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از ارزیابی مدل ۰.۰۴،۰.۰۴ مترمکعب بر ثانیه شد که نشان‌دهنده‌ی نتایج قابل‌قبول مدل است. درنتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای وجود دارد و این موضوع نشان می‌دهد که مدل SWMM دقت موردنیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری با تعیین اثرات مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب شهری در منطقه موردمطالعه استفاده نمود. با توجه به اینکه حوزه آبخیز بالادست منطقه مطالعاتی نفوذپذیری مناسبی داشته و همچنین وسعت زیادی ندارد کانال‌ها برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۵۰ ساله دارای ابعاد مناسب هستند.

کلیدواژه‌ها:رواناب شهری، مدل SWMM ،سیستم زهکشی،تحلیل حساسیت،شبیه‌سازی بارش–رواناب، کالیبراسیون و ارزیابی.

۱–مقدمه

باران یکی از رویدادهای طبیعی است که اگر بتوانیم راهکارهای مناسبی را برای جمع‌آوری درست و به‌موقع انجام دهیم می‌تواند بسیاری از نیازهای ضروری بشر را تأمین کند. هرگاه بارانی با شدت زیاد بر روی حوضه‌ای می‌بارد، به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک در همان اوایل بارندگی، آب بر روی خاک جاری شده و از طریق مسیل‌ها به رودخانه‌ها می‌پیوندد. نقش مسیل‌ها در هدایت و انتقال آب جاری شده به سمت رودخانه‌ها غیرقابل‌انکار بوده که در صورت نادیده گرفتن شرایط مورفولوژیکی آن و دخل و تصرف در حریم آن، می‌تواند باعث به وجود آمدن خسارات مالی و جانی شود (Alizadeh, 2015). تغییر الگوی استفاده از زمین و افزایش سطوح شهری باعث بر هم خوردن پروسه‌های هیدرولوژیکی منطقه و بر هم خوردن تعادل طبیعی آب می‌گردد. کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب، منجر به افزایش پیک سیلاب حتی در بارش‌های کم در دوره زمانی کوتاه‌مدت می‌گردد. در حوضه‌های شهری حدود ۹۰٪ اما در حوضه‌های غیرشهری (حوضه‌های جنگلی) ٪۲۵ از بارندگی به رواناب تبدیل می‌شود (Sheng & Wilson, 2009) فشار فعالیت‌های مضر بشری اغلب سبب افزایش سیلاب‌ها می‌شود (Istomina, Kocharyan & Lebedeva, 2005).

سیلاب جریان‌های شدید رودخانه‌ها و طغیان سیلاب دشت‌هاست که به‌عنوان یک پدیده طبیعی در تنظیم چرخه بیوژئوشیمیایی سطح زمین و ذخیره سازی آب نقش اساسی دارد، اما وقوع آن در مناطق مسکونی و در زمان‌های خاص، می‌تواند ویرانگر بوده و ناپایداری سکونتگاه‌های انسانی را فراهم آورد (Paron, Di Baldassarre & Shrodor,2023). درصورتی‌که این رویداد به‌صورت غیرمنتظره و با شدت زیاد باشد می‌تواند باعث ایجاد خسارات فراوانی گردد. مطالعه پارامترهای محیطی که باعث ایجاد سیل می‌شود بیانگر این است که دخالت‌های انسان در چرخه طبیعی آب به‌وسیله تخریب پوشش گیاهی در عرصه آبخیز، استفاده غیراصولی از اراضی، افزایش سطوح نفوذناپذیر و مانند آن امکان به وقوع پیوستن سیل در مناطق مختلف را فراهم می‌کند (Ghanavati, Karam & Aghaalikhani, 2013). پراکندگی‌های نامنظم زمانی و مکانی بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث ایجاد سیلاب‌های ویرانگر و همچنین هدر رفتن آب‌های سطحی است که موضوع بسیار حائز اهمیتی است. به همین جهت مهار رواناب‌های سطحی و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفتن آب و تبدیل تهدید به فرصت می‌باشد. مشخص نمودن مناطق مستعد تولید رواناب و سیل و مناطق در معرض آبگرفتگی یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در موفقیت طرح‌های مدیریت سیلاب است (Ahmadzadeh, Saeedabadi & Nouri, 2015). تعیین نقش عوامل انسانی یا ساخت‌وسازهای بدون برنامه در آبگرفتگی معابر و همچنین طراحی و احداث آبگذرها بدون در نظر گرفتن شیب و شکل زمین در آبگرفتگی بالاترین نقش را دارا می‌باشد (Afshari Azad & Pourkey, 2012). بی‌شک برای رفع معضلاتی همانند ورود سیلاب به پهنه شهرها، آبگرفتگی معابر، نامناسب بودن و نبود امکانات زیر بنایی برای ایجاد فضاهای سبز درون و پیرامون شهرها بخصوص برای ایجاد تفرجگاه و پناهگاه‌های و نقاط امن برای استفاده در زمان وقوع حوادث غیرمترقبه توجه به آبخیزداری شهری در کشور نه‌تنها ضرورتی گریزناپذیر است بلکه یک الزام است (Fallah Zawareh, Kamali & Mirzaei, 2013) شهری شدن فرآیندی است که در طی آن اراضی طبیعی و کشاورزی به مناطق ساخته دست بشر مبدل می‌شود و برنامه‌ریزی برای توسعه و گسترش شهرها در درجه اول نیازمند شناخت ویژگی‌های زیربنای شهری است. در نواحی شهری بخش زیادی از زمین به‌وسیله مواد غیرقابل نفوذ پوشیده شده است که ویژگی‌های این مواد کاهش نفوذناپذیری و تشکیل سریع رواناب سطحی است که باعث ایجاد سیل بدون ارتباط با دشت سیلابی

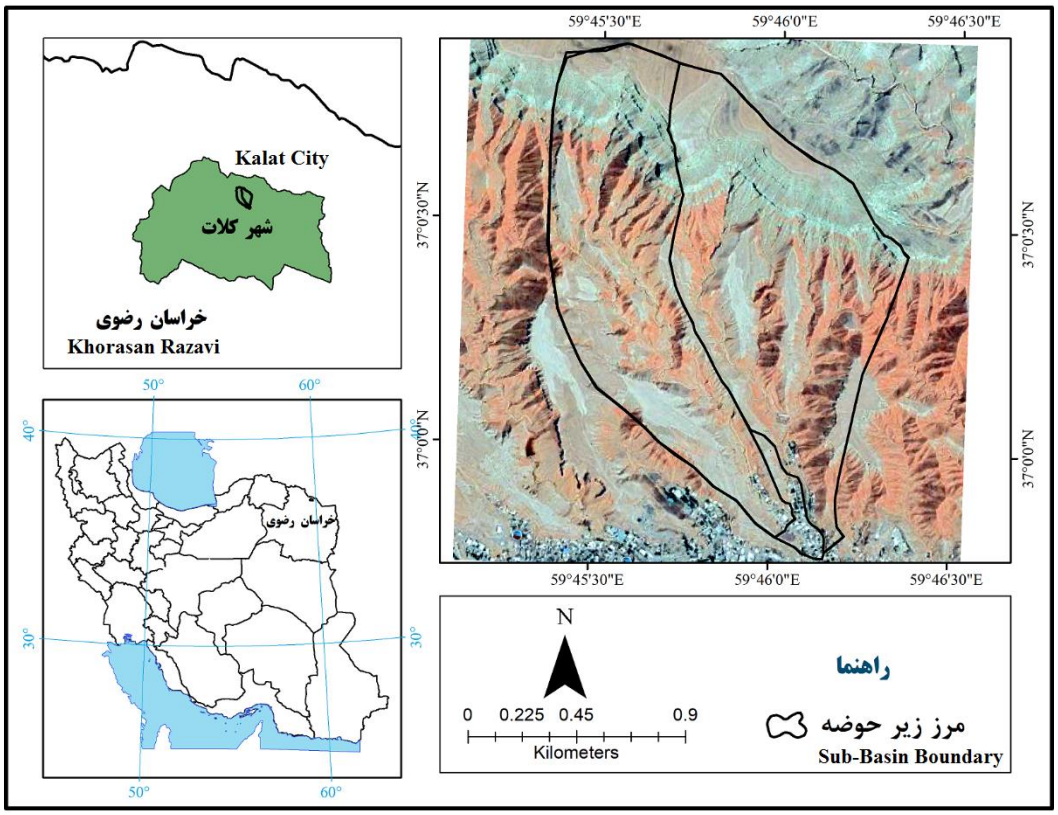
می‌شود. البته باید توجه داشت که پیچیدگی‌های محیط شهری و زیرساخت‌های مربوط به زهکشی تأثیر زیادی بر تشکیل رواناب سطحی دارد (Chen, Hill & Urbano, 2009). حجم رواناب در حوزه‌های شهری به میزان زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های سطوح نفوذناپذیر است (Ogden, Pradhan, Downer & Zahner, 2011). یکی از معضلات مدیریت در بخش شهری، جمع‌آوری رواناب‌های شهری در هنگام بارش و جلوگیری از خسارت به تأسیسات شهری می‌باشد که با توجه به اهمیت این موضوع بررسی و برآورد سیلاب‌های شهری، امروزه بسیار موردتوجه قرار گرفته است. در حوزه‌های شهری دبی اوج سیلاب برای طراحی شبکه زهکشی و انتقال رواناب بسیار مؤثر است (Khorsandi Kouhanestani & Zolfaghary, 2016). حال در شرایطی که شبکه زهکشی به شکل مناسبی طراحی نشده یا ناقص شکل گرفته باشد موجب تمرکز بیشتر رواناب‌ها در مناطق با شیب کمتر می‌شود یا اینکه از به هم پیوستن رواناب‌های متعدد در نقاطی با شیب بیشتر، جریان‌های سیلابی با قدرت تخریب بالا تشکیل می‌گیرد. در این حالت جریان حالت معمول نداشته و سبب بحران‌آفرینی می‌شود. هر چه حجم آب و میزان شیب بیشتر باشد قدرت تخریب آن بالاتر می‌رود. در نقاط سکونت‌گاهی شاید حتی فرصت تخلیه ساکنین فراهم نشود (Hejazizadeh, Khosravi & Naserzadeh, 2011). اتخاذ روش‌های صحیح در مدیریت آبخیزهای شهری امری انکارناپذیر و ضروری است ازاین‌رو مدیران و برنامه ریزان شهری برای اجرای این امر مهم به برآورد میزان رواناب با درجه اطمینان بالایی نیاز دارند (Shahbazi, Khaliqi Sygarodi, Malekian & Salajegheh, 2014). یکی از کلیدی‌ترین فعالیت‌ها در حوزه عمران و بهسازی شهری، جمع‌آوری، هدایت و مدیریت رواناب‌های سطحی است. به همین جهت موضوع جمع‌آوری، هدایت و بازیابی رواناب‌های سطحی امروزه به یکی از مسائل مهم در اداره کلان‌شهرها مبدل شده است. مدیریت یکپارچه‌ی حوضه‌های آبخیز، تضمین‌کننده‌ی استفاده‌ی بهینه از منابع آب‌وخاک در اکوسیستم‌های طبیعی و غیرطبیعی است. برای رسیدن به این هدف، به اطلاعات جامعی از رویکردهای متفاوت مدیریتی و اجرایی و نیز ویژگی‌های فیزیکی، اقتصادی-اجتماعی و اکولوژیک حوضه‌های آبخیز نیاز است (Yarahmadi, Yousefi, Jahangir & Sadatineghad, 2019). سامانه‌های جمع‌آوری و کنترل آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری هستند و هرگونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع شهری مشکل‌آفرین باشد. لذا به‌منظور پیش‌بینی عملکرد

هیدرولیکی کل سامانه، نیاز به استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته و مدل‌سازی‌های جدید و کارآمدتر وجود دارد. کاهش پیامدهای زیان‌بار ناشی از سیلاب‌های شهری معمولاً با برآورد دقیق رواناب شهری و انتخاب روش مناسب کنترل آن محقق می‌شود. به این منظور، لازم است میزان رواناب شهری به‌درستی برآورد شود که به این منظور محققین در سال‌های اخیر به مدل‌سازی روی آورده‌اند. ازجمله مدل‌های پر کاربرد در مدیریت رواناب مدل SWMM به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای محاسبات زهکشی شهری و مدیریت رواناب می‌باشد (Arman, Shahbazi, Faraji & Dehdari, 2019). SWMM یک مدل توزیعی است، بدین معنی که منطقه موردمطالعه را می‌توان به هر تعداد از زیر حوزه‌های نامنظم تقسیم نمود تا بتوان اثرات تغییرپذیری مکانی در توپوگرافی، مسیر عبور زهکش‌ها، پوشش اراضی و خصوصیات خاک در تولید رواناب را به‌طور کامل دخالت داد (Soleimani, Behzadian & Ardeshir, 2016). جهت جمع‌آوری و مدیریت این رواناب‌ها لازم است شبکه زهکشی و کانال‌های شهری از ظرفیت و کارایی لازم برخوردار باشند. هدف از تحقیق حاضر بررسی کارایی شبکه زهکشی شهری در بخشی از شهر کلات نادری است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

شهرستان کلات از شهرستان‌های استان خراسان رضوی می‌باشد. این شهرستان در شمال شرقی ایران و خراسان قرار گرفته است که در مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ٦٠ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۳٦ درجه و ۲٤ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. حوزه آبخیز شهری کلات مساحتی در حدود ۱۵۸٦۹.۲۳ هکتار را دارا می‌باشد. این حوزه به‌صورت یک حوزه آبخیز هیدرولوژیک بوده و تمامی رواناب آن از طریق رودخانه کلات عبور نموده و از کشور خارج می‌گردد. (شکل ۱)



شکل ۱- مشخصات جغرافیایی منطقه موردمطالعه

Fig.1. Geographical characteristics of the study area

۲-۲- محاسبه پارامترهای موردنیاز مدل SWMM

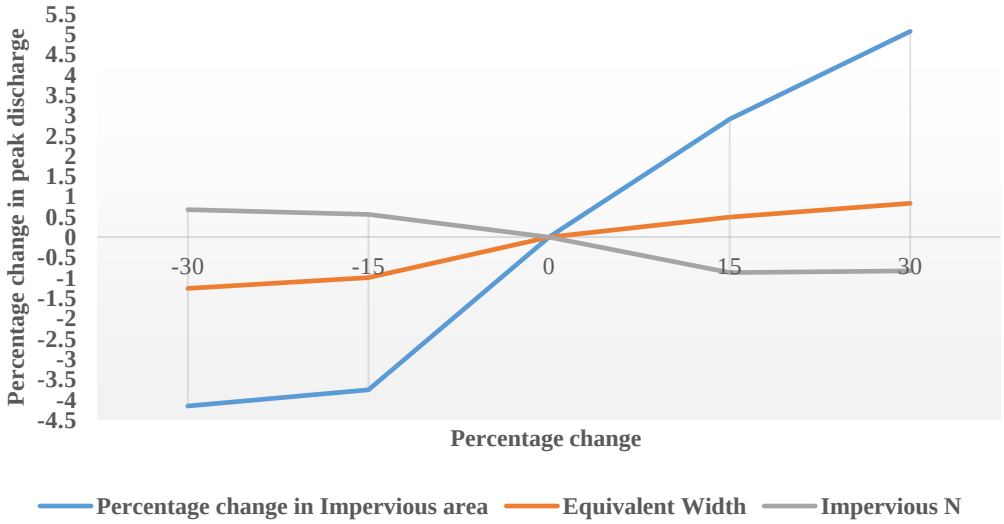
به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب از مدل SWMM استفاده شد. تعیین مرز حوزه‌ها و زیر حوزه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰، نقشه‌های بلوک‌های ساختمانی اداره راه و شهرسازی، بازدیدهای میدانی و نیز با توجه به شیب و نحوه حرکت آب و خروجی مربوط به هر زیر حوزه انجام گردید. برای محاسبه عرض معادل از روش عرض مستطیل معادل استفاده شده است. برای تعیین ضریب زبری جریان روی سطوح نفوذپذیر، نفوذناپذیر و آبگذرها و همچنین تعیین ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر از راهنمای مدل و جداول کمکی استفاده شده است. به‌منظور تعیین میزان نفوذ روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) به کار برده شده است. اطلاعات مربوط به آبگذرها (شکل مقطع، بیشینه عمق و طول آبگذر)، اطلاعات اتصالات (رقوم کف آبگذر در محل اتصال، بیشینه عمق اتصال) و درنهایت اطلاعات مربوط به

رقوم کف گره خروجی از طریق بازدیدهای میدانی انجام شده است. همچنین اطلاعات مربوط به مساحت، محیط، شیب و طبقات ارتفاعی منطقه موردمطالعه که در بخش‌های مختلفی از مدل استفاده شده به‌وسیله‌ی نرم‌افزار GIS استخراج گردیده است.

۲-۳- واسنجی مدل SWMM

در این مطالعه برای بررسی حساسیت مدل بارش-رواناب، از روش آنالیز حساسیت مطلق استفاده شد. به‌این‌ترتیب که مقدار اولیه هشت پارامتر مؤثر ارائه شده در جدول (۱)، ۳۰ درصد کاهش و افزایش یافته و مدل برای آن‌ها اجرا شد. این کار با استفاده از هیتوگراف‌های تولید شده در روش بلوک‌های تناوبی با دوره بازگشت ۲۵ سال برای کل حوضه انجام گردید و جمعاً ٤٠ بار مدل اجرا شد. به‌عنوان‌مثال اگر عرض معادل زیر حوضه‌ها ۳۰ درصد کاهش یابد و بقیه پارامترها ثابت باقی بماند، مقدار دبی اوج ۱/۲٦ درصد کاهش می‌یابد.

در شکل (۲) درصد تغییرات مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر را که بیشترین تأثیرات را بر دبی اوج داشتند برای مقایسه بهتر آورده شده است.



شکل۲- درصد تغییرات عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، N نفوذناپذیر و تأثیر آن بر دبی اوج بر حسب درصد

Fig.2. Percentage of changes in equivalent width, percentage of Impervious areas, Impervious N and its effect on peak discharge in percentage

پس از اجرای مدل در مرحله آنالیز حساسیت و تعیین تأثیرگذارترین پارامترها از ۵ واقعه اندازه‌گیری شده سه واقعه برای واسنجی انتخاب شد. اندازه‌گیری عمق رواناب حاصل از هر واقعه بارندگی در گام زمانی ده‌دقیقه‌ای انجام گردید. برای واسنجی مدل هشت پارامتر مهم انتخاب شد. در بین این عوامل شیب، عرض معادل و درصد مناطق نفوذناپذیر با استفاده از GIS محاسبه می‌شود و خطای در محاسبه آن‌ها عمدتاً به روش محاسبه آن‌ها مربوط می‌شود. مقادیر این سه پارامتر در زیر حوضه‌های متفاوت با هم فرق دارد اما خطای در محاسبه آن‌ها با هم مشابه است (Rostami Khalaj, 2012). ازآنجایی‌که واسنجی مدل با توجه به پارامترهای متعدد کاری سخت و زمان‌بر است برای یک واسنجی دقیق و مناسب باید پارامترها را به حداقل رساند (Jinkang, Shunping, Youpeng, Xu & Singh, 2007). در این مطالعه پارامترهای مهم انتخاب و در واسنجی از آن‌ها استفاده شد و با توجه به همگن بودن منطقه موردمطالعه برای به حداقل رساندن زمان واسنجی و بالا بردن دقت مقادیر سایر پارامترها برای تمام زیر حوضه‌ها به مقدار یکسان در نظر گرفته شد و به مقدار اولیه به میزان ثابت افزوده یا کاسته گردید. این روش به‌طور گسترده‌ای برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Temprano, Arango, Cagiao, Suarez & Tejero, 2006).

جدول ۱- مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM

Table- 1 Initial values and key parameters for calibrating the SWMM model

مقادیر اپتیمم **Optimum Values**	منبع **Source**	مقیاس تغییرات **Scale of Changes**	مقادیر اولیه **Initial Values**	عوامل **Parameter**
-	Temprano et al., 2006	30±	-	درصد مناطق نفوذناپذیر Percentage of Impervious areas
-	Temprano et al., 2006	30±	-	شیب (٪) Slope%
-	Temprano et al., 2006	30±	-	عرض معادل (متر) Equivalent width
0.018	Huber & Dickinson, (1992)	0.011-0.033	0.013	N-نفوذناپذیر Impervious N
0.2	Temprano et al., 2006	0.02-0.8	0.05	N-نفوذپذیر Pervious N

ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر (mm) Elevation of Impervious area storage(mm)	1.778	0.3-2.5	Huber & Dickinson, (1992)	2
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm) Elevation of Pervious area storage(mm)	3.81	2.5-5.1	Tsihrintzis & Hamid, (1998)	4.1
درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی Percentage of Pervious areas	16	5-20	Huber & Dickinson, (1992)	18

میزان صحت فرایند واسنجی با استفاده از معیار کارائی ضریب ناش ساتکلیف[1] و مجذور میانگین مربعات خطا[2]، BIAS و معیار ارزیابی کلینگ – گوپتا[3] محاسبه شد. – محاسبه این معیارها از طریق معادلات۱ تا ٤ انجام می‌گیرد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-Q_{av})^2} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-Q_{obs})^2} \quad (۲)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-Q_{obs})^2}{\sum_{i}^{n} Qobs} \quad (۳)$$

که در این معادلات؛ Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده و Q_{obs} دبی مشاهداتی و زمان iام، برابر میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. درصورتی‌که مقدار NS مثبت بشد نشان‌دهنده این است که روند داده‌های شبیه‌سازی شده بهتر از میانگین داده‌های مشاهداتی است و درصورتی‌که منفی باشد نشان می‌دهد که خروجی مدل با ماهیت سیستم متناظر نیست (Sourisseau, Bassères, Périé & Caquet, 2008; Arabi, Govindaraju

[1] Nash-Sutcliff
[2] RMSE
[3] Kling-Gupta Efficiency

& Hantush, 2002). زمانی که مقدار NS نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده‌ی بالا بودن دقت شبیه‌سازی است (Santhi et al., 2001). همچنین هر چه مقدار مجذور میانگین مربعات خطا کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر بوده و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود، خطای کل در حجم جریان بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده بیش‌تر یا کمتر بودن حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است.

۲-٤- معیار ارزیابی کلینگ_گوپتا kling-Gupta Efficiency

این معیار (KGE) معیار ارزیابی برای مقایسه هیدروگرافهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد. گوپتا و همکاران (۲۰۰۹) با معرفی این شاخه به مقایسه و بررسی مزیت‌های آن با معیار معروف ناش – ساتکلیف پرداخته‌اند. این معیار در سال ۲۰۱۲ توسط کلینگ و همکاران به‌صورت بازبینی شده (KGE) بکار گرفته شد

$$KGE = \sqrt{(r-1)^2 + (a-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (٤)$$

در فرمول مذکور r ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری می‌باشد. آلفا نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی به انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری است. بتا نسبت میانگین مقادیر شبیه‌سازی به میانگین مقادیر اندازه‌گیری (مشاهداتی) است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ–گوپتا عدد یک می‌باشد که نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف ها می‌باشد. در معیار بازبینی شده کلینگ–کویتا بجای آلفا از گاما استفاده می‌شود که نسبت ضریب تغییرات مقادیر شبیه‌سازی به ضریب تغییرات مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

۲-۵- ارزیابی مدل SWMM

پس از واسنجی مدل بر اساس بارش رواناب‌های مشاهداتی بایستی بدانیم که نتایجی که مدل ارائه می‌کند چه میزان قابل‌اطمینان است. به این فرایند صحت سنجی یا ارزیابی مدل گفته می‌شود. برای این منظور از ۲ واقعه برای صحت سنجی مدل استفاده خواهد شد. برای بررسی اینکه بین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل چه مقدار انطباق وجود دارد از یکسری توابع احتمالی استفاده می‌شود. صحت فرآیند

ارزیابی با استفاده از معیار کارایی Nash-Sutcliffe مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، BIAS و کلینگ_گوپتا محاسبه می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج واسنجی مدل SWMM

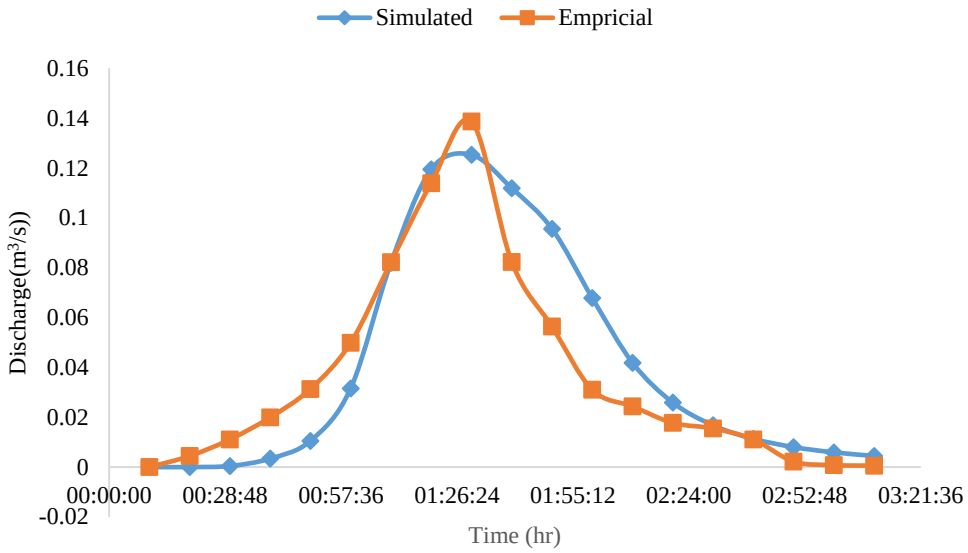
همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد سه واقعه بارش-رواناب مربوط به تاریخ‌های ۱۴۰۱/۰۲/۰۲(واقعه دوم)، ۱۴۰۱/۰۲/۱۱(واقعه سوم) و ۱۴۰۱/۰۲/۱۸ (واقعه چهارم) برای واسنجی مدل استفاده شد و جهت تجزیه‌وتحلیل نتایج از معیارهای Nash ،RMSE ،BIAS% و KGE استفاده شد. اگر در فرایند واسنجی مقدار معیار Nash بیشتر از ۰/۵ باشد نشان‌دهنده این است که فرآیند واسنجی از دقت کافی برخوردار است و نتایج در حد معنی‌داری قابل‌قبول است (Lhomme, Bouvier & Perrin, 2004).

نتایج آماری حاصل از فرایند واسنجی در جدول (۲) آورده شده است و هیدروگراف خروجی دبی جریان وقایع در شکل‌های (۳) تا (۵) قابل‌مشاهده است.

جدول ۲- نتایج واسنجی مدل SWMM در خروجی حوزه آبخیز موردمطالعه

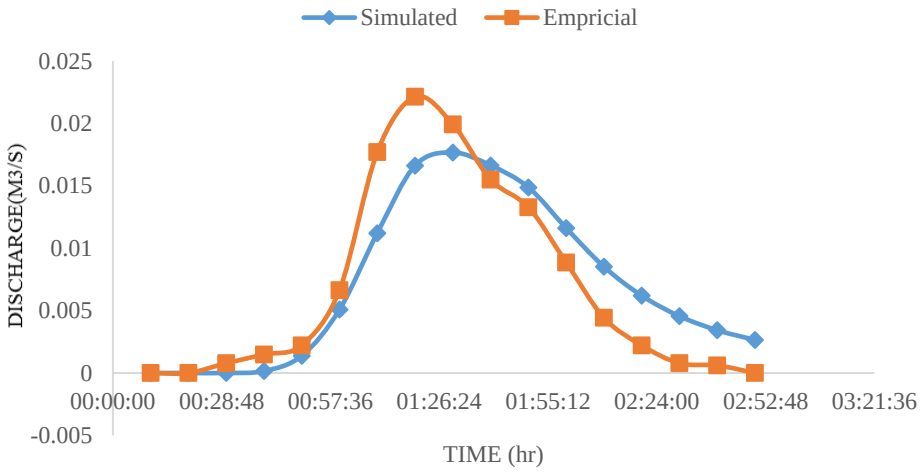
Table 2- The results of calibration of the SWMM model at the outlet of the study watershed

KGE	BIAS%	RMSE	NS	Date
0.88	0.79	0.01	0.77	2022.04.22
0.74	0.12	0.003	0.8	2022.05.01
0.54	0.59	0.01	0.77	2022.05.08



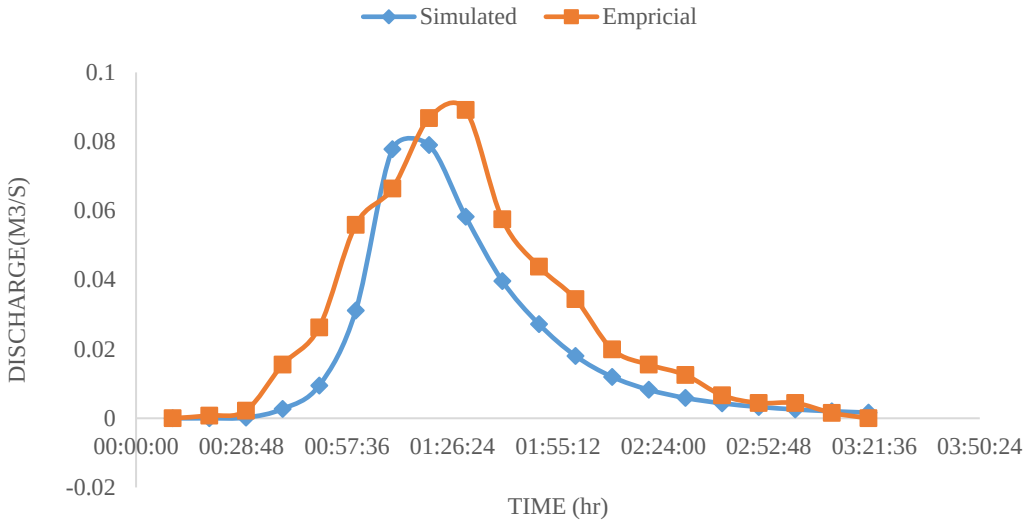
شکل۳- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه دوم در مرحله واسنجی مدل

Fig.3. Empricial and simulated discharge hydrographs for the second event in the model calibration stage



شکل٤- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه سوم در مرحله واسنجی مدل

Fig.4. Empricial and simulated discharge hydrographs for the third event in the model calibration stage



شکل ۵- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه چهارم در مرحله واسنجی مدل

Fig.5. Empricial **and simulated discharge hydrographs for the fourth event in the model calibration stage**

۲-۳- نتایج ارزیابی مدل SWMM

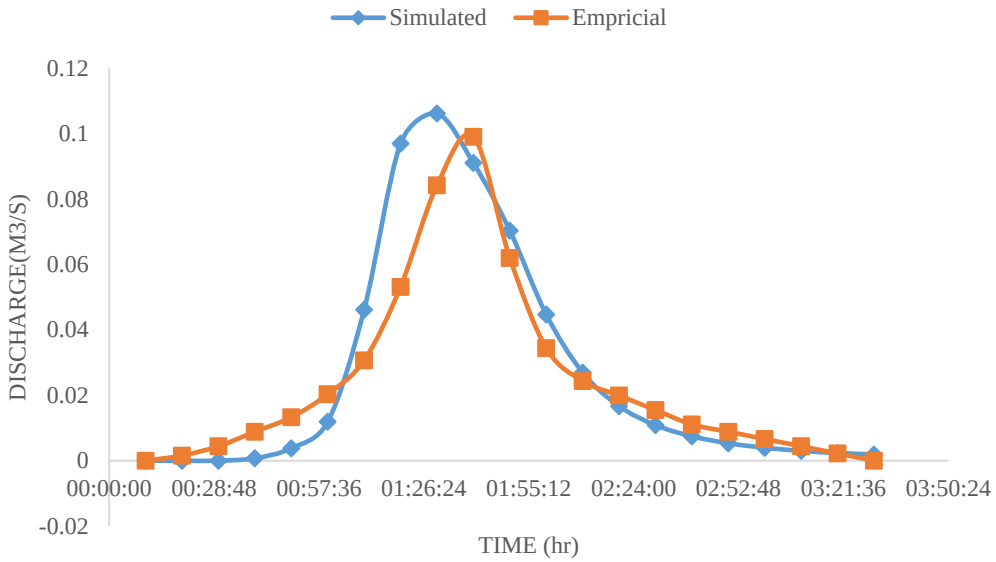
وقایع اول و پنجم برای ارزیابی مدل استفاده شد و جهت تجزیه‌وتحلیل نتایج از عوامل معیار Nash، مجذور میانگین خطا (RMSE)، BIAS% و KGE استفاده شد.

نتایج حاصل از فرایند ارزیابی در جدول (۳) ارائه شده است و هیدروگراف خروجی دبی وقایع اول و پنجم در شکل‌های (٦) و (٧) ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل SWMM در خروجی حوزه آبخیز موردمطالعه برای وقایع اول و پنجم

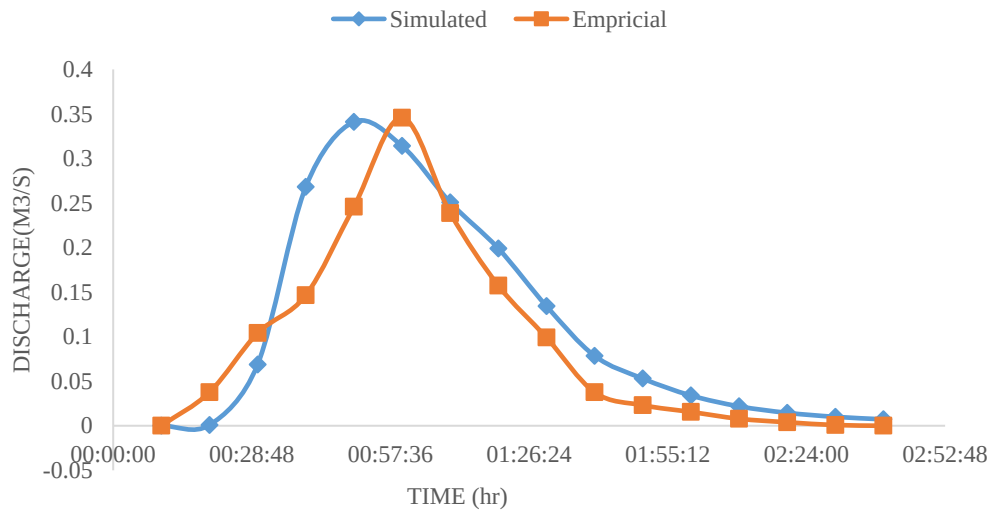
Table 3- Evaluation results of the SWMM model at the outlet of the studied watershed for the first and fifth events

KGE	BIAS%	RMSE	NS	Date
0.83	6.71	0.04	0.73	2022.04.18
0.78	2.31	0.04	0.73	2022.05.09



شکل ٦- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه اول در مرحله ارزیابی مدل

Fig.6. Empricial and simulated discharge hydrographs for the first event in the model evaluation phase



شکل۷- هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه پنجم در مرحله ارزیابی مدل

Fig.7. Empricial and simulated discharge hydrographs for the fifth event in the model evaluation stage

٤- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که در سه واقعه بررسی شده مقادیر برآورد شده با مقادیر مشاهده‌ای انطباق خوبی دارد و مقدار NS (ناش‌ساتیکلیف) برای واقعه دوم و سوم و چهارم به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۸ و ۰/۷۷ است و بیشتر از ۰/۵ می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت انطباق قابل‌ملاحظه‌ای بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد و این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این باشد که مدل SWMM دقت موردنیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری در منطقه موردمطالعه استفاده نمود که با یافته‌های فیلیپس و همکاران (Phillips, Yu, Thompson & De Silva, 2005)، زپو (Zoppou, 2001)، عینلو (Ainlou, 2014)، شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2014) و رستمی (Rostami Khalaj, 2012) مطابقت دارد. علاوه بر این می‌توان از نتایج بدست آمده در فرآیند واسنجی برای برآورد مقدار بهینه پارامترها استفاده نمود و در مناطق دیگر که از لحاظ همگنی مشابه منطقه مورد نظر هستند، استفاده نمود. این نتایج با نتایج چویی و بل (Choi & Ball, 2002)، مطابقت دارد. با توجه به قابلیت‌های مدل SWMM در برآورد رواناب و فراهم کردن خروجی در هر بخش که نیاز است می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل‌قبولی برای ترکیب با مدل‌های دیگر را دارد (Dongquan et al., 2009) و از هیدروگراف جریان در هر بخش به‌عنوان ورودی برای مدل‌های دیگر استفاده نمود (Lin, Hsieh, Kuo, Liao & Chen, 2006).

نتایج ارزیابی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را تأیید کرد و در مورد دو واقعه‌ای که برای ارزیابی استفاده شد مقدار NS بالاتر از ۰/۵ اندازه‌گیری شد. مقدار ضریب ناش ساتکلیف برای هر دو واقعه اول و پنجم ۰/۷۳ بدست آمد و کارایی مدل SWMM را برای شبیه‌سازی بارش رواناب در مناطق شهری تأیید می‌کند. همچنین مقادیر RMSE برای هر دو واقعه اول و پنجم در فرآیند ارزیابی ۰/۰٤ مترمکعب بر ثانیه بدست آمده است که نشان‌دهنده نتایج قابل‌قبول مدل است. مقادیر %BIAS نشان‌دهنده درصد تغییرات بین میانگین هیدرروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در n فاصله زمانی است که مقادیر بدست آمده صحت فرآیند واسنجی را تأیید می‌کنند. لذا با توجه به قابلیت و توانایی مدل SWMM و مدل ASSA در

شبیه‌سازی رواناب شهری و تعیین ابعاد بهینه شبکه زهکشی و با توجه به مشکلات آبگرفتگی منطقه مورد نظر، در این تحقیق استفاده از مدل مذکور در جهت اهداف تحقیق موردنظر مناسب تشخیص داده شد. ارزیابی عملکرد شبکه زهکشی منطقه موردمطالعه در دوره بازگشت‌های مختلف نشان داد که آبراهه‌ها و کانال‌های این منطقه برای عبور سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف مشکلی نداشته و می‌توانند سیلاب‌های مورد نظر را از خود عبور دهند.

References

Afshari Azad, M. R., & Pourkey, H. (2012). The Urban Morphology and Passages Flooding of Rasht City. *Environmental Based Territorial Planing(Amayesh)*, *5*(17), 25-40. [In Persian]

Ahmadzadeh, H., Saeedabadi, R., & Nouri, E. (2015). A Study and Zoning of the Areas Prone to Flooding with an Emphasis on Urban Floods (Case Study: City of Maku). *Hydrogeomorphology*, *2*(2), 1-24. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.2.1.0

Ainlou, F. (2014*). The effect of land use change and urban development on runoff production (case study: Zanjan city)*. Master's thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. [In Persian]

Alizadeh, A. (2015). Principles of Applied Hydrology (40th ed.). Mashhad: Imam Reza University Press. [In Persian]

Arabi, M., Govindaraju, R. S., & Hantush, M. M. (2002). A probabilistic approach for analysis of uncertainty in the evaluation of watershed management practice. *Journal of Hydrology*, *333*, 459–471. [In Persian] https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.012

Arman, N., Shahbazi, A., Faraji, M., & Dehdari, S. (2019). Effect of urban development on runoff generation by SWMM, case study: Khuzestan Province, Izeh, *Watershed Engineering and Management, 11*(3), 750-758. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.115272.1353

Chen, J., Hill, A. A., & Urbano, L. D. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, *373*(1-2), 184-192. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.021

Choi, K. S., & Ball, J. E. (2002). Parameter estimation for urban runoff modelling. *Urban Water*, *4*,31–41. http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00072-3

Dongquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., Shangbing, C., & Zheng, S. (2009). GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macau. *Environmental Earth Sciences*, *59*, 465-472. https://doi.org/10.1007/s12665-009-0045-1

Fallah Zawareh, F., Kamali, B., & Mirzaei, M. (2013). Investigating the influence of rainfall time pattern in SWMM and HEC-HMS models. In *Proceedings of the 6th National Congress On Civil Engineering, Semnan University, Semnan*. [In Persian] https://civilica.com/doc/120602/

Ghanavati, E., Karam, A., & Aghaalikhani, M. (2013). Flood risk zonation in the farahzad basin (Tehran) using Fuzzy model. *Geography and Environmental Planning*, *23*(4), 121-138. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1391.23.4.8.2

Hejazizadeh, Z., Khosravi, F., & Naserzadeh, M. H. (2011). Crisis management in the new city of Baharestan by using geographic information system, relying on flood and determining suitable urban drainage routes for disposal of surface water. *Applied Researches in Geographical Sciences, 11*(20), 31-50. [In Persian] http://jgs.khu.ac.ir/article-1-594-fa.html

Huber, W. C., & Dickinson, R. E. (1992). *Storm water management model user's manual*. Georgia: Environmental Protection Agency.

Istomina, M. N., Kocharyan, A. G., & Lebedeva, I. P. (2005). Floods: genesis. socioeconomic and environmental impacts. *Water Resources*, *32*(4), 349–358. https://doi.org/10.1007/s11268-005-0045-9

Jinkang, D., Shunping, X., Youpeng, X., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2007). Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins. *Journal of Hydrology*, *336*(3-4), 334–346. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.015

Khorsandi Kouhanestani, Z., & Zolfaghary, M. (2016). An Investigation of the Effect of Pervious Surfaces Distribution on Flood Hydrograph Peak in Urban Regions. *International Bulletin of Water Resources and Development*, *4*(1), 237-245. [In Persian] https://www.magiran.com/p1549663

Lhomme, J., Bouvier, C., & Perrin, J. L. (2004). Applying a GIS-based geomorphological routing model in urban catchments. *Journal of Hydrology*, *299*(3–4) ,203–216. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.006

Lin, S. S., Hsieh, S. H., Kuo, J. T., Liao, Y. P., & Chen, Y. C. (2006). Integrating legacy components into a software system for storm sewer simulation. *Environmental Modelling & Software*, *21*(8), 1129-1140. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.05.012

Ogden, F. L., Pradhan, N. R., Downer, C. W., & Zahner, J. A. (2011). Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. *Water Resource Research*, *47*(12). https://doi.org/10.1029/2011WR010550

Paron, P., Di Baldassarre, G., & Shrodor, J. F. (2023). *Hydro-Meteorological Hazards, Risks and Disaster*. Elsivier. https://shop.elsevier.com/books/hydro-meteorological-hazards-risks-and-disasters/paron/978-0-12-819101-9

Phillips, B. C., Yu, S., Thompson, G. R., & De Silva, N. (2005). 1D and 2D modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW. In *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark, 21-26.

Rostami Khalaj, M. (2012). Sensitivity analysis of variables affecting on urban flooding using SWMM model. *Journal of Watershed Management Research*, *3*(5), 81-91. [In Persian] http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-56-fa.html

Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., & Hauck, L. M. (2001). Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources.

JAWRA Journal of the American Water Resources Association, *37*(5), 1169-1188. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x

Shahbazi, A., Khaliqi Sygarodi, S., Malekian, A., & Salajegheh, A. (2014). Selection of the best empirical formula to estimate time of concentration in urban watersheds (Case study: Mahdasht town). *Journal of Range and Watershed Managment*, *67*(3), 419-435. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrwm.2014.52835

Sheng, J., & Wilson, J. P. (2009). Watershed urbanization and changing flood behavior across the Los Angeles metropolitan region. *Natural Hazards*, *48*, 41–57. https://doi.org/10.1007/s11069-008-9241-7

Soleimani, M., Behzadian, K., & Ardeshir, A. (2016). Evaluatiopn of Strategies for Modifying Urban Storm Water Drainage System Using Risk-based Criteria. *Journal of Water and Wastewater*, *26*(6), 16-29. [In Persian] https://www.wwjournal.ir/article_11135.html

Sourisseau, S., Bassères, A., Périé, F., & Caquet, T. (2008). Calibration, validation and sensitivity analysis of an ecosystem model applied to artificial streams. *Water research*, *42*(4-5), 1167-1181. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.039

Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J., & Tejero, I. (2006). Storm water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. *Water SA*, *32*(1), 55–63. https://doi.org/10.4314/wsa.v32i1.5240

Tsihrintzis, V., & Hamid, R. (1998). Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. *Hydrol Process*, *12*(2), 311–329. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199802)12:2%3C311::AID-HYP579%3E3.0.CO;2-R

Yarahmadi, Y., Yousefi, H., Jahangir, M. H., & Sadatineghad, S. J. (2019). Evaluation of the network performance of surface water collection and guidance using the SWMM Hydrological Model (Case Study: District 6 of Tehran Municipality). *Iranian journal of Ecohydrology*, *6*(2), 415-429. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2019.277930.1071

Zoppou, C. (2001). Review of urban storm water models. *Environmental Modelling & Software*, *16*(3), 195–231. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00084-0

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.75-100 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83238.1390 Open access

Estimation of Dinevar River flood risk using Australian standard method

Roya panahi[a*], Mohammad Mahdi Hosseinzadeh[b]

[a] *Ph.D in Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran.*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

Received: 26 July 2023 ***Revised: 11 September 2023*** ***Accepted: 28 September 2023***

Abstract

Floods are among the greatest threats to social security and the sustainable development of society. They can cause widespread devastation, resulting in loss of life and significant damage to personal property and critical public infrastructure. The purpose of this research is to zone and estimate the flood risk of the Dinevar River using the Australian Standard Method.

Flood simulation was conducted using the HEC-RAS (version 6.1) one-dimensional hydrodynamic model. Geometric data were processed in GIS using the HEC-GeoRAS extension. The peak discharge for different return periods was calculated using HyfranPlus software and the Gamma distribution. After modeling and extracting flow parameters (velocity and depth), flood risk zoning was performed based on the Australian Standard Method, which uses the product of two parameters: depth and flow velocity (D*V).

According to the river's morphology, it was divided into three sections. The results of the model indicate that in the first section, the flood zone did not expand significantly. However, in the second and third sections, the flood covered extensive rural areas and agricultural lands during the return periods of 25, 50, and 100 years. The majority of the region falls within the H3 and H4 risk zones, highlighting the urgent need to prioritize flood management and risk reduction strategies in future planning efforts.

Keywords: flood Risk Zoning, HEC-RAS Model, Australian Standard Method, Hydrodynamic Simulation, Peak Discharge, Risk Management Strategies.

[*] .Corresponding author: Roya panahi Email: r_panahi@sbu.ac.ir Tel:+989187373702

How to cite this Article: Panahi, R., & Hosseinzadeh, M.M. (2024). Estimation of Dinevar River flood risk using Australian standard method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 75-100.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۰۰-۷۵ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83238.1390 دسترسی آزاد

پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا

رؤیا پناهی[1]- دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

محمدمهدی حسین زاده- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۵/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۲۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۷/۶

چکیده

سیل یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای امنیت اجتماعی و توسعه پایدار جامعه است. سیل‌ها می‌توانند ویرانی‌های گسترده‌ای ایجاد کنند که منجر به تلفات جانی و خسارات به اموال شخصی و زیرساخت‌های حیاتی و بهداشت عمومی شود. هدف این پژوهش پهنه‌بندی و برآورد خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا است. در مطالعه حاضر از مدل هیدرودینامیکی یک‌بعدی HEC-RAS نسخه (۶.۱) استفاده شده است و از طریق الحاقی HEC–GEORAS در محیط GIS پردازش داده‌های ژئومتری انجام شد. جهت برآورد دبی پیک لحظه‌ای با استفاده از نرم‌افزارHyfran دبی پیک لحظه‌ای محاسبه و پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شده است. سپس در این مرحله پس از مدل‌سازی و استخراج پارامترهای جریان (سرعت و عمق)، با استفاده از روش استاندارد استرالیا که حاصل‌ضرب دو پارامتر عمق و سرعت جریان (D*V) ناحیه بندی خطر سیلاب انجام گرفت. با توجه به مورفولوژی رودخانه دینور، به سه بازه تقسیم‌بندی شد نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که در بازه اول پهنه سیلاب گسترش چندانی نداشته است؛ اما در بازه‌های دوم و سوم سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ سال بسیاری از مراکز روستایی ازجمله روستاهای (قوزیوند، حیدرآباد، شهرک بیستون، کاشانتو، نادرآباد) و زمین‌های زراعی را در برگرفته است و غالب منطقه در پهنه خطر H3 و H4 قرار دارد که ضرورت دارد مدیریت سیل و استراتژی کاهش خطر در اولویت برنامه‌ریزی‌ها قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی خطر سیلاب ، مدل HEC-RAS ، روش استاندارد استرالیا ، شبیه‌سازی هیدرودینامیکی، دبی اوج، راهکارهای مدیریت خطر.

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۷۳۷۳۷۰۲

Email: r_panahi@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

سیل، گسترده‌ترین و پرتکرارترین بلای طبیعی در سراسر جهان است. این پدیده جهانی موجب خسارات مالی و جانی برای انسان‌ها شده است که به‌وسیله عوامل مختلفی، اعم از طبیعی و ساخته دست بشر، ایجاد می‌شوند این مخاطره ناشی از پیوند چندین عامل طبیعی و انسانی است (Avand, Kuriqi, Khazaei & Ghorbanzadeh, 2022). برخی از علل طبیعی سیل عبارتند از باران‌های شدید، مکرر و در مدت‌زمان کوتاه و ذوب شدن برف و یخ (Gudiyangada Nachappa et al., 2020)، و علل انسانی در حوضه رودخانه مانند رشد جمعیت و افزایش سکونتگاه‌های انسانی در حاشیه رودخانه‌ها و فعالیت‌های اقتصادی در دشت‌های کم ارتفاع و در نزدیکی رودخانه‌ها، جنگل‌زدایی خطر سیل و تلفات ناشی از سیل را چند برابر کرده است (Sharifi, Samadi & Wilson, 2012). علاوه بر آن تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات سریع چشم‌انداز باعث تشدید وقوع سیل و شدت آن به‌ویژه در مناطق شهری شده است (Horritt & Bates, 2002). از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، سیل بیش از ٤٤٪ از کل بلایای طبیعی را تشکیل داده است و حدود ۱/٦٥ میلیارد نفر را تحت تأثیر قرار داد و باعث مرگ بیش از یک هزار نفر در سراسر جهان شده است (Jibhakate, Timbadiya & Patel, 2023). در آسیا، بیش از ۹۰ درصد از تلفات انسانی ناشی از بلایای طبیعی ناشی از حادثه سیل است (Parizi, Khojeh, Hosseini & Moghadam, 2022). در میان کشورهای آسیایی، در ایران به دلیل گستردگی وسیع و بارش شدید در اکثر حوضه‌ها روند مخاطره سیل روبه افزایش است علاوه بر آن ایران با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژی و زمین‌شناسی، دارای ظرفیت بالایی در احتمال وقوع سیلاب و همچنین انتقال گل‌ولای و رسوب را دارد، به همین دلیل سیل‌ها غالباً خسارات گسترده‌ای را در ایران ایجاد می‌کنند (Modarres, Sarhadi & Burn, 2016). در ۱۹ مارس ۲۰۱۹ بارندگی شدید در ایران آغاز شد و تا آوریل ۲۰۱۹ ادامه داشت که منجر به جاری شدن سیل در ۳۱ استان ایران شد (www.ifrc.org, Shokri, Sabzevari & Hashemi, 2020). دفتر هماهنگی امور بشردوستانه سازمان ملل متحد گزارش داد که در اثر این بارش‌ها در حدود ۱٤۰ رودخانه ایران طغیان کرده است و استان‌های گلستان، ایلام، لرستان و خوزستان به‌شدت آسیب دیده‌اند. مناطق کشاورزی به‌شدت آسیب دید و در حدود ۱ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی زیر آب رفت،

محصولات زراعی پیش از برداشت و دام‌های زیادی از بین رفتند (Shokri et al., 2020). طغیان و رانش زمین همچنین به ۸۷۰۰ مایل (یک‌سوم) جاده‌های ایران آسیب رساند و بیش از ۷۰۰ پل را به‌طور کامل تخریب کرد (Bozorgmehr, 2019). طی دهه گذشته، خسارات ناشی از سیل در ایران حدود ۲۵۰ درصد افزایش یافته است (Parizi et al., 2022). ارزیابی و مدیریت ریسک سیل یک اقدام مهم برای شناسایی احتمال خطر، مناطق مستعد سیل و کاهش حوادث احتمالی سیل است، بنابراین، مدل‌سازی احتمال خطر سیلاب جهت مدیریت دشت سیلابی و کاهش خطرات احتمالی ضرورت دارد. برای دهه‌ها تلاش مستمری برای درک، ارزیابی و پیش‌بینی رویدادهای سیل توسط محققان زیادی در سراسر جهان صورت گرفته است. محققان با وارد شدن GIS و تلفیق آن با مدل‌های عددی به مطالعه سیلاب پرداخته‌اند. اولین بار مجیا ناوارو و همکاران (Mejia-Navarro, Wohl & Oaks, 1994) GIS را در ارزیابی خطر سیل به کار گرفتند (Lyu, Shen, Zhou & Yang, 2019). همچنین شومان و همکاران (Schumann, Funke & Schultz, 2000) از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مفهومی کردن مدل‌سازی بارش رواناب استفاده کرده‌اند و بیان کرده‌اند که چگونه می‌توان توصیفات آماری از ویژگی‌های حوضه‌ها برای بررسی ناهمگونی فضایی در مدل‌های مفهومی مورداستفاده قرار گیرد. پس‌ازآن مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی برای ارزیابی احتمال خطر سیلاب و تلفیق آن با GIS گسترش یافت. در میان مدل‌های عددی HEC-RAS[1] گسترده‌ترین مدل یک‌بعدی شبیه‌سازی احتمال خطر سیلاب می‌باشد که به‌وسیله بانر (Brunner, 2002) گسترش پیدا کرد و جریان‌های هیدرولیک را به‌صورت جریان‌های ماندگار و غیرماندگار، محاسبات انتقال رسوب و مدل‌های درجه حرارت را محاسبه کرده است. مطالعات متعددی با استفاده از نرم‌افزارHEC-RAS انجام شده است که شامل: شبیه‌سازی سیلاب (Echogdali et al., 2022; Salman et al., 2021; Jibhakate, et al., 2023; Haji Hosseinlou, Aghdam & Valizadeghan, 2024; Fang, Huang, Cai & Nitivattananon, 2022)

مدل‌سازی انتقال رسوب و حمل بار معلق (Mondal, Bandyopadhyay & Paul, 2016) بوده است. امروزه در بسیاری از مطالعات علاوه بر شبیه‌سازی سیل به بررسی خطرپذیری سیل نیز پرداخته‌اند بسیاری از محققان با در نظر گرفتن تنها عمق سیل، با یک رویکرد تک متغیره به بررسی خطر سیل پرداخته‌اند (Baky, Islam &

1 Hydrologic Engineering Centre's River Analysis System

(Paul, 2020; Thapa, Shrestha, Lamichhane, Adhikari & Gautam, 2020 به‌کارگیری فاکتورهای سرعت جریان، مدت‌زمان و عمق سیل کامل‌ترین شاخص محاسبه خطر سیل است که به‌عنوان مبنایی برای تخمین سطح پایه ایمن برای ساخت‌وساز عمل می‌کند (Mani, Chatterjee & Kumar, 2014). همچنین محققانی با در نظر گرفتن دو پارامتر، حاصل‌ضرب عمق و سرعت (d × v) نقشه مخاطره سیلاب را تهیه‌کرده‌اند (Mohanty et al., 2020). هدف اصلی این مطالعه پیش‌بینی سیلاب رودخانه دینور با مدل HEC-RAS و برآورد خطر سیلاب است به همین دلیل جهت مدیریت سیلاب رودخانه دینور و کاهش میزان خسارت مالی و جانی و استفاده درست از منابع آبی مطالعه سیلاب رودخانه دینور ضرورت دارد. (شکل ۱)

شکل ۱- سیلاب فروردین ۲۰۱۹ در محل خروجی حوضه دینور

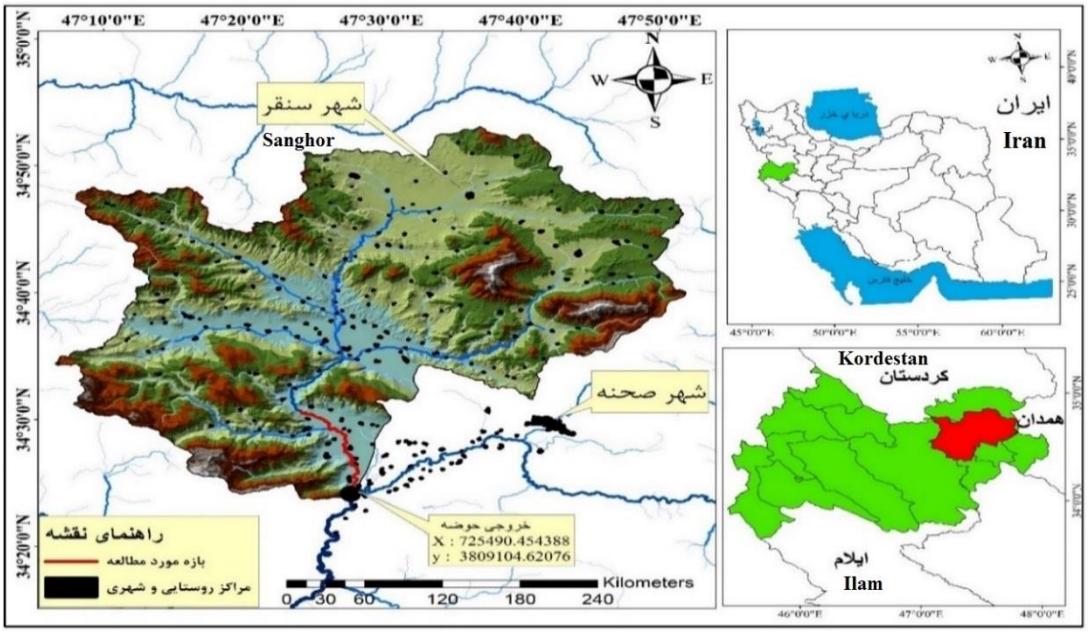
Fig.1. The flood of April 2019 at the outlet of the Dinevar watershed

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

حوضه رودخانه دینور دارای وسعت ۲۱٤٥ کیلومترمربع است. حوضه دینور بخشی از حوضه رودخانه گاماسیاب است که آب‌های سطحی شمال شرقی استان کرمانشاه را زهکشی می‌کند. حوضه موردمطالعه بین ′۵ °۴۷ تا ′۵۱ °۴۷ طول شرقی و ′۲۳ °۳۴ تا ′۵۳ °۳۴ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع حوضه ۱۲۹٦ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳٤۳۱ متر می‌باشد بنابراین ارتفاع حوضه دینور نسبتاً زیاد است. شیب متوسط منطقه در حدود ۱۵ درصد بوده است. این حوضه در زون ساختاری سنندج- سیرجان واقع شده‌اند که از سنگ‌آهک کرتاسه با ویژگی‌های کارست توده‌ای در امتداد شاخه‌های گسل زاگرس، مانند گسل دینور و صحنه تشکیل داده است (Nayyeri, Kahrizi & Sanikhani, 2022). متوسط بارش این حوضه در حدود ٤۵۰ میلی‌متر است و بیشتر بارندگی (حدود ٦۵ درصد) در ماه آذر تا اسفند (زمستان) است و در ماه تیر تا شهریور

(تابستان) تقریباً بدون بارش است (Bazrafshan, Shekari, Zamani, Dehghanpir & Singh, 2021). متوسط درجه حرارت منطقه به ١٤ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. حوضه دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های خنک و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است (Masih, Uhlenbrook, Maskey & Smakhtin, 2011). حداکثر متوسط آبدهی ماهانه بر اساس ایستگاه هیدرومتری حیدرآباد در خروجی حوضه مربوط به ماه فروردین با ٣٦/٣٥ مترمکعب بر ثانیه است (شکل ٢).



شکل ٢- نقشه موقعیت حوضه و رودخانه دینور در استان کرمانشاه و ایران

Fig.2. A map of the location of the Dinevar watershed and River in Kermanshah Province

٢-٢- روش مطالعه

به‌منظور انجام مطالعات تعیین حدود بستر و تهیه مدل رقومی ارتفاع منطقه، از نقشه ١:١٠٠٠ (منابع آب استان) که محدوده رودخانه و بخشی از دشت سیلابی را پوشش می‌دهد استفاده شده است و با نقشه ١:٢٥٠٠٠ سازمان نقشه‌برداری ایران[1] تلفیق شده و مدل رقومی ارتفاع منطقه تهیه شده است (شکل ٣). ترسیم نقشه‌ها و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS (ورژن ٦.١) ایجاد شده است. نرم‌افزار HEC-RAS در مدیریت دشت سیلابی و برآورد خسارت سیلاب به‌طور گسترده

[1] National Cartographic Center, Iran

مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ این نرم‌افزار به‌صورت یک‌بعدی و دوبعدی و ترکیب شده[1] در طول کانال‌های باز دشت سیلابی و مخروطه افکنه‌ها سیلاب را شبیه‌سازی می‌کند. در محیط GIS با استفاده از ابزار HEC-Geo RAS برای تهیه داده‌های هندسی و محاسبات مسیر رودخانه، رسم مقاطع و انتقال آن‌ها به HEC-RAS استفاده گردید. در اولین مرحله در HEC-Geo RAS لایه خط مرکزی جریان تهیه گردید. از این لایه به‌منظور تعیین محدوده قرارگیری مقاطع، نمایش موقعیت رودخانه در مدل HEC-RAS و تعریف جهت جریان در رودخانه استفاده گردید. در ادامه جهت جداسازی مجرای اصلی رودخانه از سواحل آن، لایه سواحل رودخانه[2] ترسیم و در ادامه لایه ابعاد مسیر جریان تهیه گردید. از این لایه به‌منظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی جریان و ساحل چپ و راست آن در ناحیه سیل گیر استفاده شده است. کلید اصلی شبیه‌سازی سیلاب، مقاطع عرضی می‌باشند، مقاطع در جهت جریان، عمود بر مسیر جریان از ساحل سمت چپ به ساحل سمت راست کشیده شد. HEC-Geo RA تمام اطلاعات ژئومتری رودخانه را با کمک لایه RAS (با فعال شدن Editor) تهیه می‌کند. لایه‌های RAS ویژگی‌های ژئومتری زمینی را با رقومی کردن لایه‌های مختلف و سپس بازیابی دوباره داده‌ها جمع‌بندی می‌کند (Yerramilli, 2012). در ادامه اطلاعات به محیط HEC-RAS منتقل شدند. یکی از پارامترها در مدل‌سازی، ضریب مانینگ است که بر روی سرعت جریان و پهنه گسترش سیلاب تأثیرگذار است. مقدار ضریب زبری مانینگ به عواملی از قبیل زبری بستر کانال، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر، وجود موانع در مسیر جریان، دبی جریان بستگی دارد. جهت محاسبه ضریب زبری مانینگ از روش کوان[3] (۱۹۵۶) استفاده شده است (جدول ۱). در مرحله بعد جهت تعیین دوره بازگشت‌ها از دبی پیک لحظه‌ای ایستگاه حیدرآباد با دوره آماری ۳۸ ساله استفاده شده است با استفاده از نرم‌افزار Hyfrantplus بهترین توزیع آماری (گاما)، دبی پیک لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله محاسبه شد (جدول ۲). برای محاسبه پروفیل‌های سطح آب از حالت

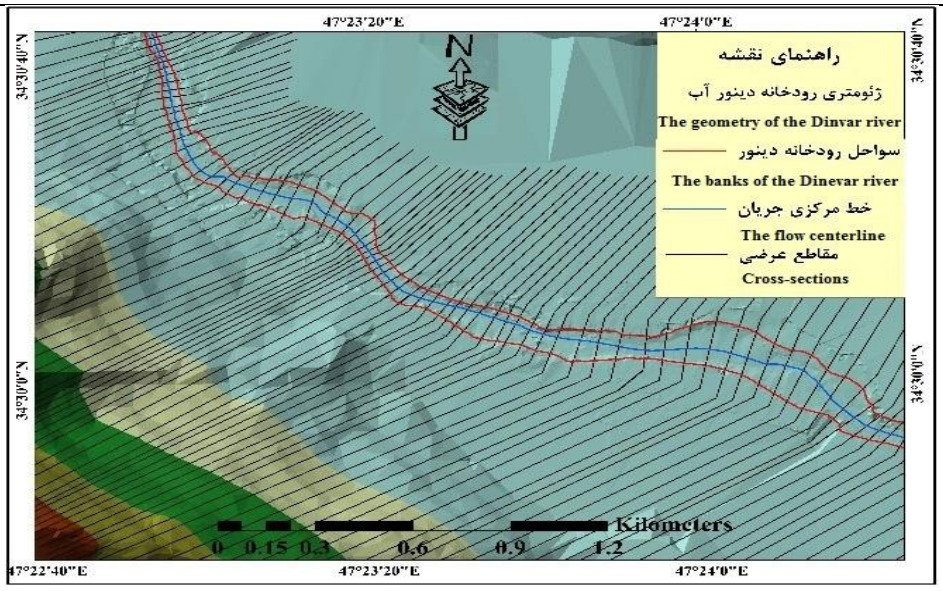
[1] Combined one/twodimensional
[2] Bank Lines
[3] COON

جریان دائمی و رژیم جریان مختلط[1] استفاده گردید و نتایج حاصل HEC-RAS به محیط GIS منتقل شده است و پهنه سیلاب در طول رودخانه دینور مدل‌سازی شد.

جدول ۱- مقدار ضریب زبری مانینگ مقاطع رودخانه دینور

Table1- The Manning's roughness coefficient values for the cross-sections of the Dinavar River

شماره بازه	مقاطع	ساحل چپ	کانال	ساحل راست
Reach number	**Cross-section**	**Left bank**	**Channel**	**Right bank**
1	17962-13900	0.069	0.067	0.069
2	13854-8827	0.065	0.064	0.068
3	8807-5684	0.069	0.067	0.069
4	5618-50	0.067	0.066	0.068



شکل ۳- بخشی از مقاطع عرضی رودخانه دینور

Fig.3. A portion of the cross sections of the Dinevar River

جدول ۲- مقادیر سیلاب m^3/s در دوره بازگشت‌های مختلف برای رودخانه دینور جهت استفاده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS

Table2- Flood values (m^3/s) in different return periods for Dinevar River for use in HEC-RAS hydraulic model

100	**50**	**25**	**10**	**5**	**3**	**2**	**دوره بازگشت (سال)** Return Period(yr)
421	371	321	251	195	152	112	**ایستگاه هیدرومتری حیدرآباد** Hydrometric station

[1] Mixed

۳-۲ - برآورد خطر سیل

در این مرحله پس از مدل‌سازی و تهیه پهنه‌های سیلاب، استخراج پارامترهای جریان از قبیل تغییرات سرعت و عمق جریان سیل برآورد خطر سیل بر اساس روش استاندارد استرالیا تهیه می‌شود.

الف- نقشه تغییرات عمق سیلاب: نقشه‌های عمق سیلاب (سطح تراز آب) یکی از ابزارهای پرکاربرد در تعیین میزان خطرات سیلاب و بیانگر میزان عمق جریان سیلاب در هر موقعیت از منطقه تحت تأثیر سیلاب است.

ب- نقشه سرعت جریان: بیانگر مقدار سرعت جریان در هر نقطه از یک منطقه و در محدوده پخش سیلاب می‌باشند. ترسیم این نقشه‌ها زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که اطلاعات سرعت جریان در هر نقطه در اختیار باشد. این مسئله باید با انجام مدل‌سازی‌های یک‌بعدی دوبعدی جریان سیلاب به دست آید. سطوح خطر بر اساس حاصل‌ضرب دو پارامتر سرعت و عمق جریان به شش دسته مختلف تقسیم شده است (Ministry of Energy, 2020). (جداول ۳ و ٤)

جدول ۳- تعریف سطوح مختلف خطر سیل بر اساس روش استاندارد استرالیا

منبع: راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب وزارت نیرو

Table 3- Definition of different levels of flood risk based on the Australian standard method
Source: A guide for preparing flood risk maps

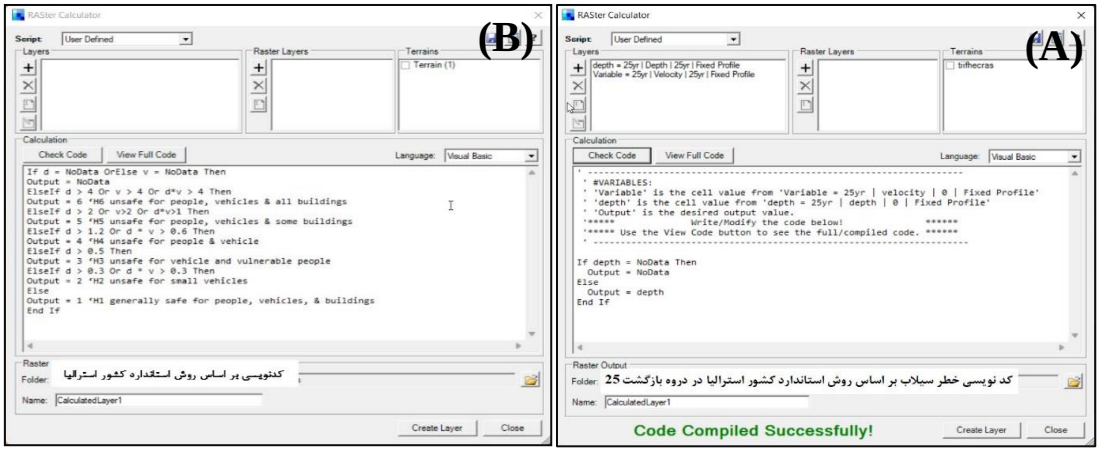
سطوح خطر سیل **Flood hazard levels**	توضیحات **Explanations**
H1	عموماً امن برای وسایل نقلیه، مردم و ساختمان‌ها Generally safe for vehicles, people and buildings
H2	ناامن برای وسایل نقلیه کوچک Unsafe for small vehicles
H3	نا امن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان Unsafe for vehicles, children and the elderly
H4	ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم Unsafe for vehicles and all people
H5	نا امن برای وسایل نقلیه و همه مردم و امکان ایجاد خسارت سازه‌ای برای همه انواع ساختمان‌ها Unsafe for vehicles and all people and the possibility of causing structural damage to all types of buildings
H6	نا امن برای وسایل نقلیه و مردم. خطرناک برای همه نوع ساختمان Unsafe for vehicles and people. Dangerous for all types of buildings

جدول ٤- مقادیر حدی خطر سیل براساس روش استاندارد استرالیا

Table4- Flood risk limit values based on the Australian Standard Method

حد سرعت جریان **Flow velocity limit(m/s)**	حد عمق جریان **Flow depth limit(m)**	پارامتر **Parameter (D*V)**	سطوح خطر سیل **Flood hazard levels**
2	0.3	D*V≤0.3	**H1**
2	0.5	D*V≤0.6	**H2**
2	1.2	D*V≤0.6	**H3**
2	2	D*V≤1	**H4**
4	4	D*V≤4	**H5**
-	-	D*V>4	**H6**

ضوابط تعریف شده در روش استاندارد کشور استرالیا در محیط Rasmapper از طرق گزینه map layers و با ایجاد یک calculated layer ساخته می‌شود. ابتدا دو متغیر عمق جریان و سرعت جریان در دوره بازگشت ۲۵ ساله ایجاد شده و سپس از طریق کد نویسی شرایط ناحیه بندی خطر سیل بر اساس روش استاندارد کشور استرالیا در محیط Rasmapper محاسبه گردید (شکل ٤).



شکل ٤- (A) کد وارد شده در محیط Calculated layer Hec-Ras. (B) ایجاد دو متغیر عمق جریان و سرعت جریان در دوره بازگشت ۲۵ ساله

Fig.4. A, the code entered in the Hec-Ras calculated layer environment. B, creating two variables of flow depth and flow speed in the 25-year return period

۳- نتایج و بحث

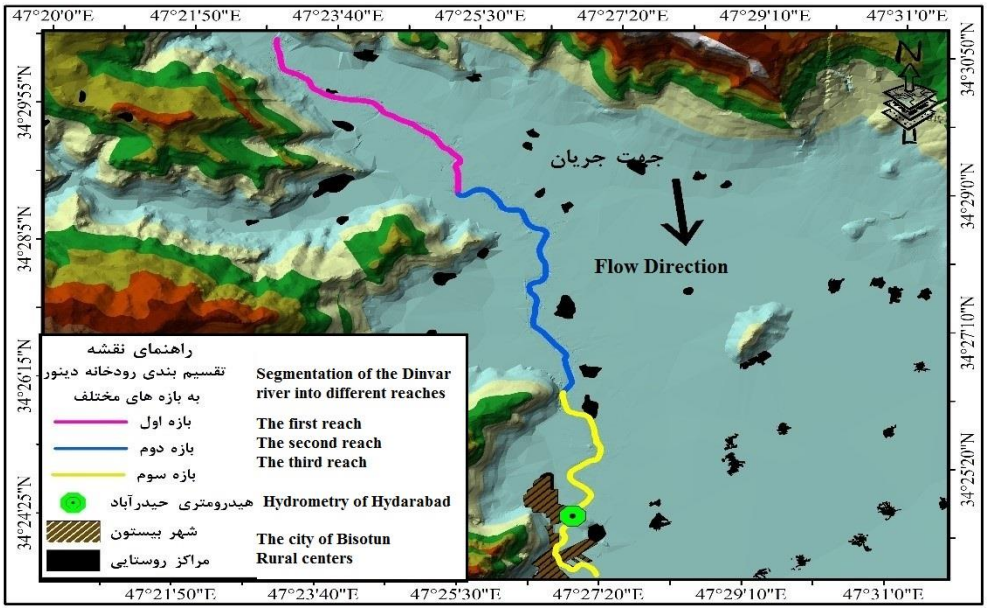
رودخانه دینورآب (محدوده موردمطالعه) به طول ۱۸ کیلومتر بوده است که در این پژوهش براساس مورفولوژی رودخانه، محدوده موردمطالعه به 3 بخش تقسیم‌بندی شده است. شبیه‌سازی جریان‌های پایدار با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در طول رودخانه دینور از حدود سد انحرافی نازلیان تا محدود شهر بیستون در استان کرمانشاه شبیه‌سازی شده است.

بازه اول به طول ۵.۲ کیلومتر، دارای ضریب پیچانرودی ۱ بوده است که بر طبق تقسیم‌بندی بریلی و فریس[1] (۲۰۰۵) در رده رودخانه‌های مستقیم قرار می‌گیرد (Hosseinzadeh & Esmaeli, 2015) و شیب بستر در بازه اول 0.21 درصد محاسبه شده است.

بازه دوم به طول ۵ کیلومتر و ضریب خمیدگی ۱.٤٤ محاسبه شده است در رده رودخانه‌های پیچان رودی قرار دارد. شیب متوسط بستر در بازه دوم ۰.۱۷ درصد بوده است.

[1] Brierley & Fryirs

بازه سوم به طول ۵.۸ کیلومتر، دارا ضریب خمیدگی ۰.۷۵ درصد محاسبه شده است که در رده رودخانه‌های مستقیم قرار دارد شیب متوسط بستر در بازه سوم ۰.۰۷ درصد محاسبه شده است (شکل ۵).

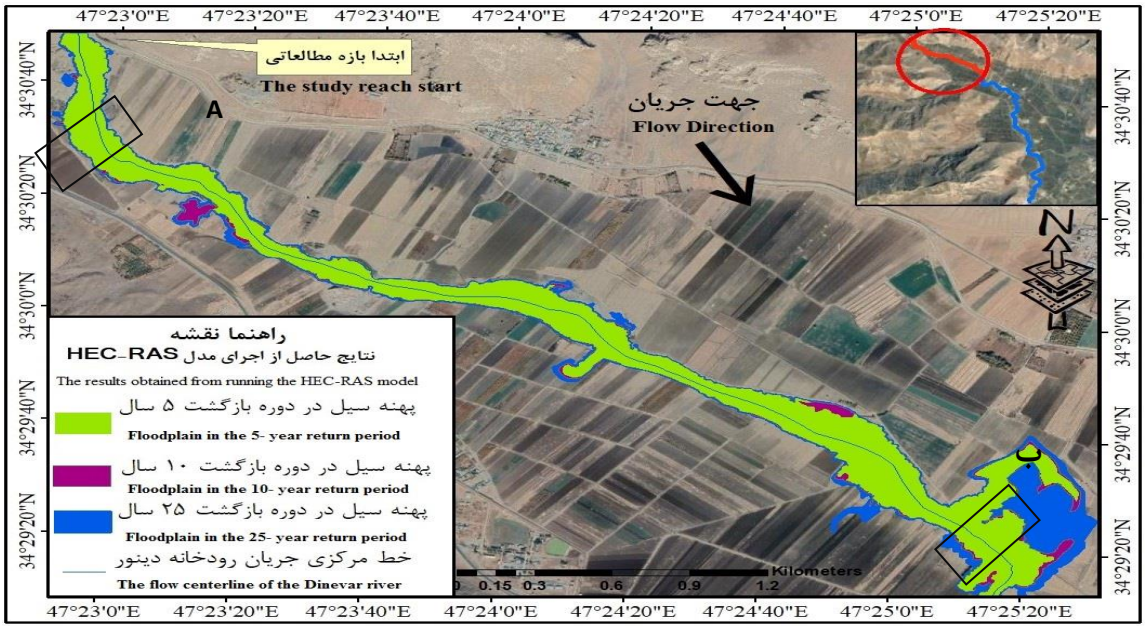


شکل ۵- ساخت مد TIN منطقه و بازه‌های رودخانه دینور

Fig.5. Creation of TIN for the study region and sections of Dinevar river

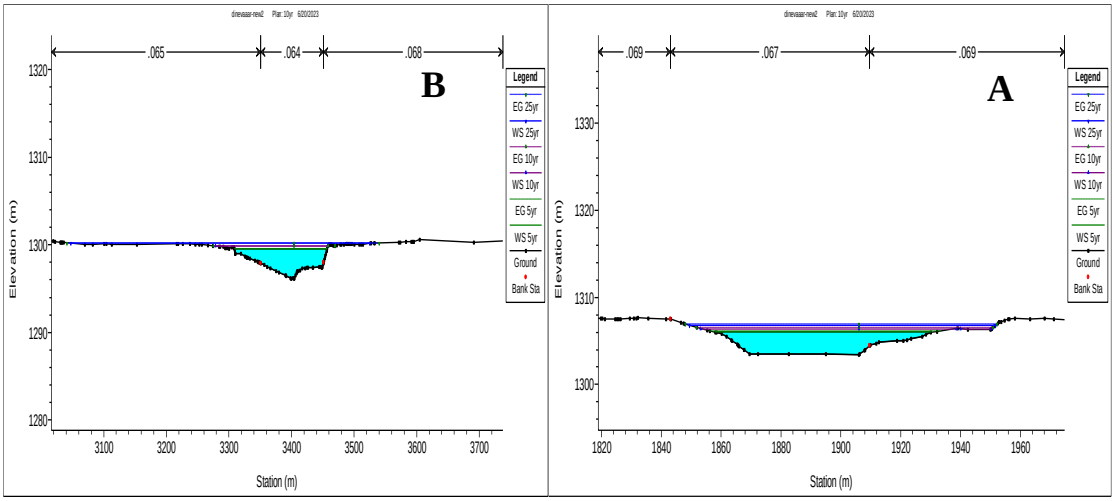
بازه اول

شکل ۵ پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ و ۲۵ ساله را نشان می‌دهد. در ابتدای بازه رودخانه دینور در داخل دره قرار گرفته است. در این محدوده فرم کانال و دشت سیلابی به‌طور کامل تحت تأثیر نیمرخ عرضی دره قرار گرفته است. پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ و ۲۵ ساله با توجه به توپوگرافی، گسترش عرضی زیادی نداشته است (شکل ٦ و ۷) و ارتفاع عمق آب متفاوت است و در انتهای بازه اول ساحل سمت چپ پهنه سیلاب ۲۵ ساله گسترش پیدا کرده است و تعیین حد بستر رودخانه در دوره بازگشت ۲۵ ساله در ابتدای بازه متناسب با قوانین وزارت نیرو امکان‌پذیر است اما در انتهای این بخش در ساحل سمت چپ بخش وسیعی از زمین‌های زراعی تحت تأثیر سیلاب در دوره بازگشت ۲۵ سال قرارگرفته است. در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سال، پهنه سیلاب در ابتدای بازه گسترش منظمی داشته است اما در انتهای باز ساحل سمت راست و چپ گسترش زیادی پیدا کرده است و پهنه سیلاب نسبت به دوره بازگشت‌های قبلی گسترش سریعی داشته است. زمین‌های زراعی و مراکز روستایی در پهنه خطر سیلاب قرار گرفته‌اند (شکل ۸ و ۹). با توجه به توپوگرافی بازه، در این قسمت حفر بستر رخ داده است و رودخانه فاقد دشت سیلابی وسیع است.



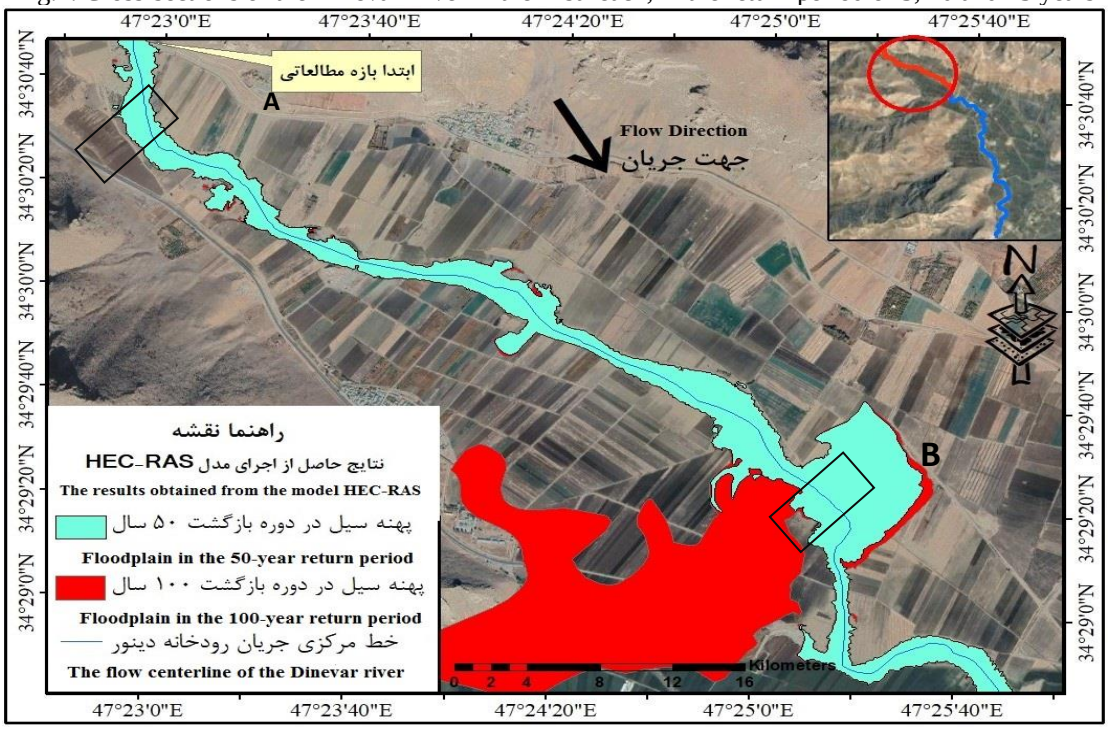
شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ و ۲

Fig.6. Flood zoning map of Dinevar River in return period 5, 10 and 2



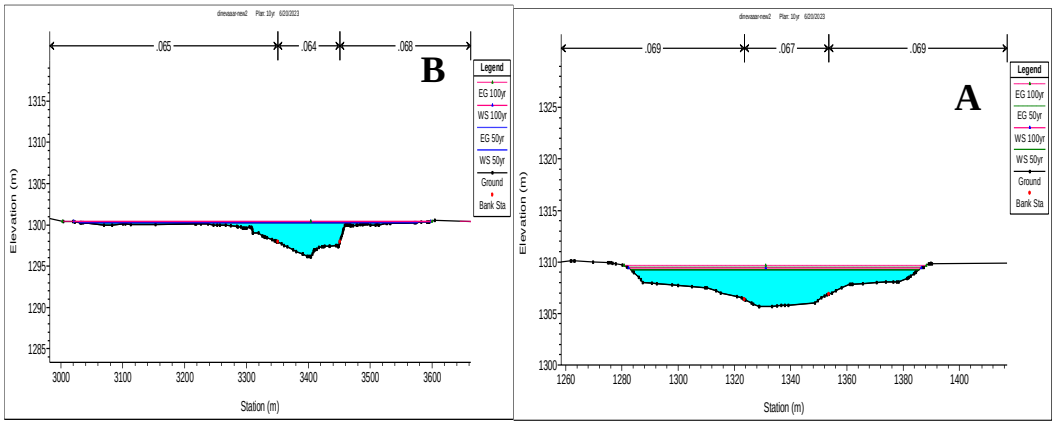
شکل ۷- مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه اولA، در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ و ۲۵ سال

Fig.7. Cross-sections of the Dinevar River in the first reach, in the return period of 5, 10 and 25 years



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال

Fig.8. Flood zoning map of Dinevar River in 50 and 100 years return period



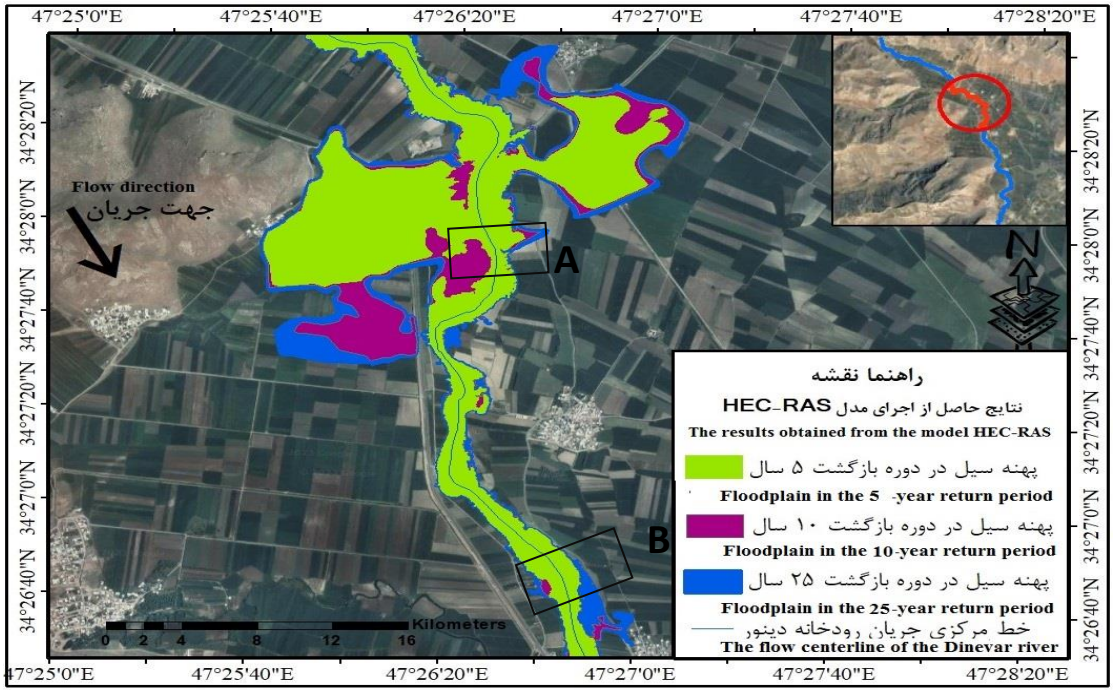
شکل ۹- مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه اول، در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال

Fig.9. Cross-sections of the Dinevar River in the first reach, in the return period of 50 and 100 years

بازه دوم

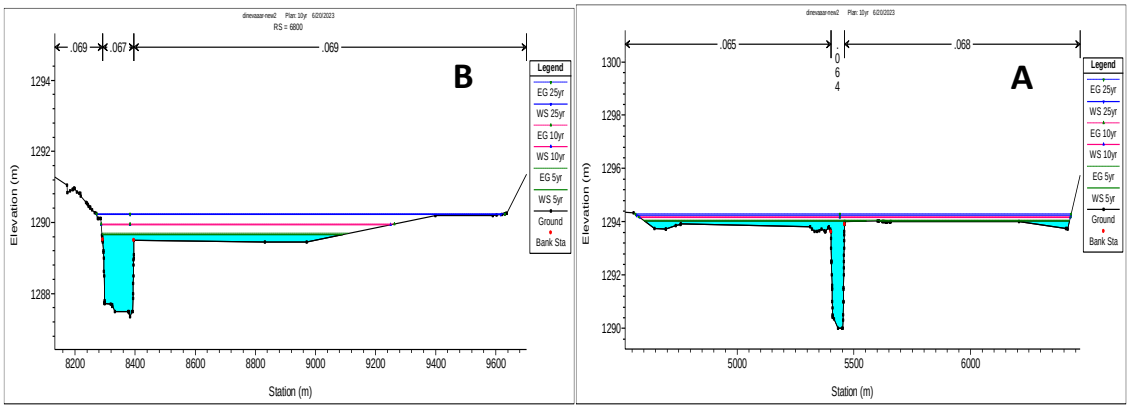
در این بخش، با توجه به بازدیدهای میدانی نوع رسوبات بستر در این بازه گراولی همراه با رسوبات ریزدانه بوده است و نوع کاربری در دو طرف در اغلب قسمت‌ها کشاورزی است. رودخانه دینور در این بازه تغییر الگو داده است و با ضریب خمیدگی ۱.٤٤ رودخانه به سمت پیچان‌رودی سوق پیدا کرده است.

در این بخش از رودخانه چون شیب کاهش پیدا کرده است سواحل سمت چپ و راست رودخانه دینور در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ و ۲۵ پخش سیلاب صورت گرفته است (شکل ۱۰ و ۱۱) و گسترش سیلاب نسبت به بخش قبل گسترش بیشتری را نشان می‌دهد و در دوره بازگشت ۲۵ سال، اکثر روستاهای سواحل سمت چپ و راست رودخانه در معرض مخاطره سیل قرار گرفته‌اند. پهنه سیلاب به حداکثر گسترش خود به بیش از ۱ کیلومتر رسیده است. شکل (۱۲و ۱۳) پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال را نشان می‌دهد.



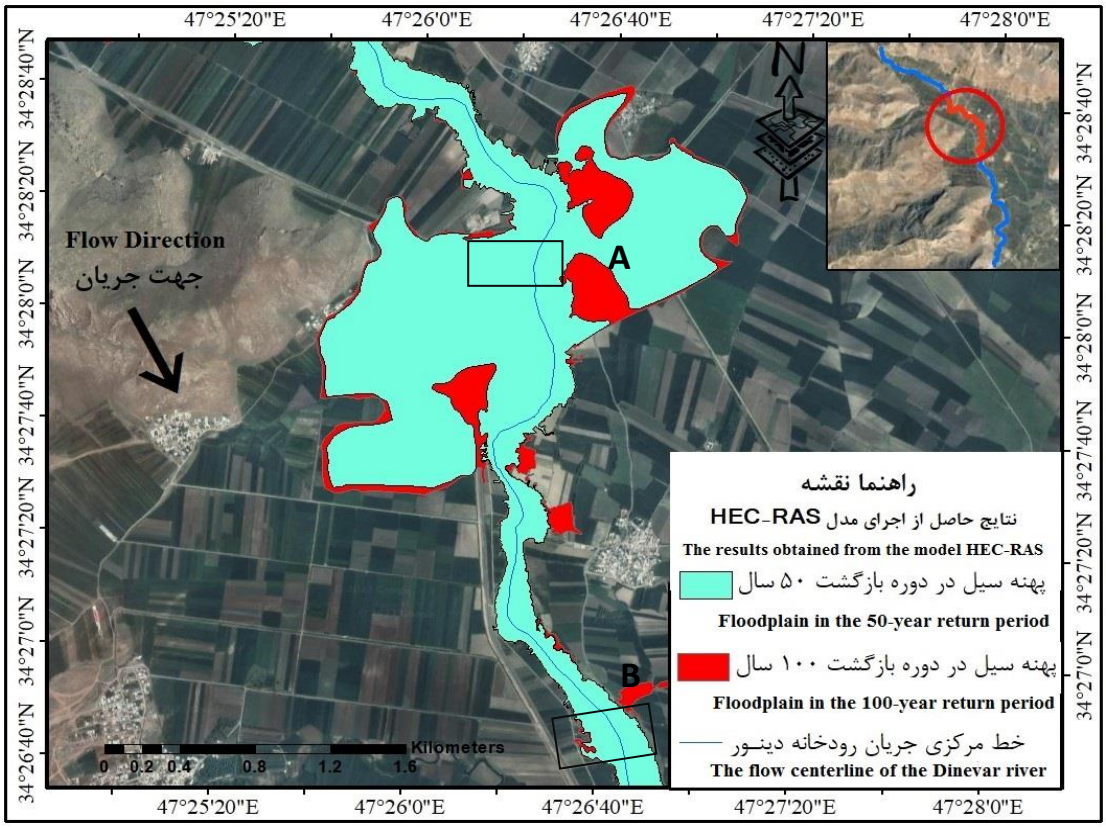
شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ در بازه دوم

Fig.10. Flood zoning map of Dinevar River in return period 5, 10, 25 in the second reach



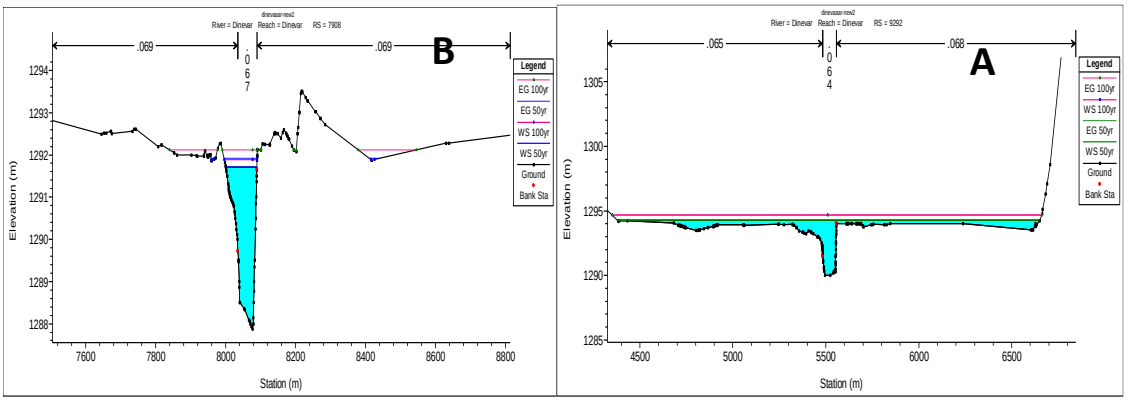
شکل ۱۱- مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه دوم، در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ و ۲۵ سال

Fig.11. Cross-sections of Dinevar River in the second reach, in the return period of 5, 10 and 25 years



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله در بازه دوم

Fig.12. Flood zoning map of Dinevar River in the return period of 50 and 100 years in the second reach

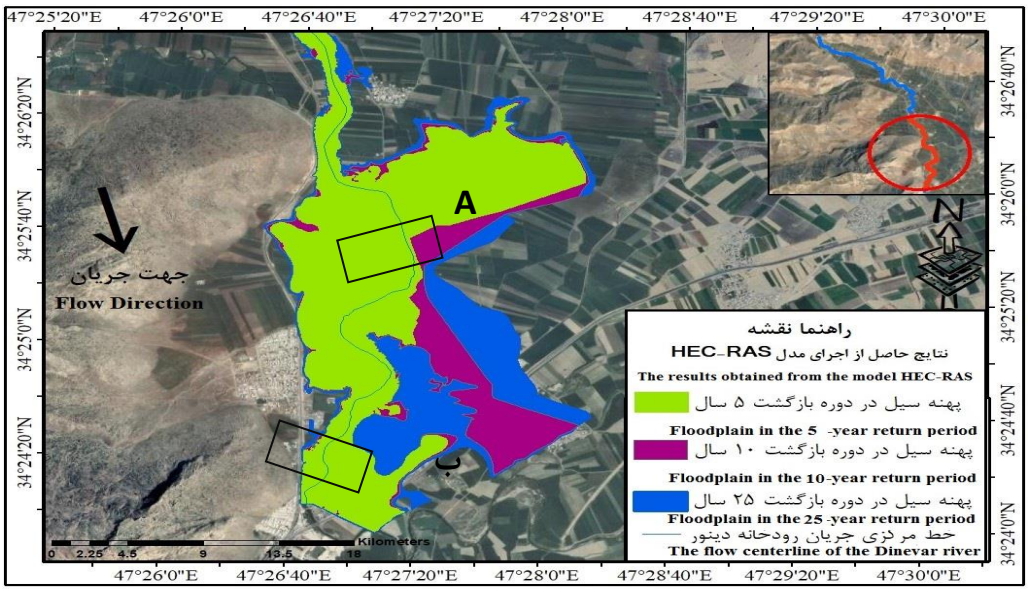


شکل ۱۳- مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه دوم، در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال

Fig.13. Cross-sections of Dinevar River in the second reach, in the return period of 50 and 100 years

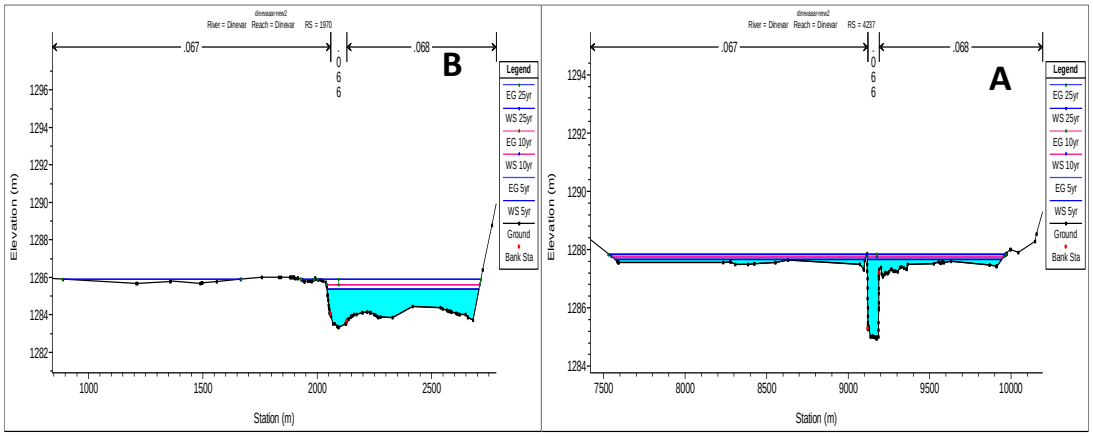
بازه سوم

رودخانه دینور در بازه سوم کمترین شیب بستر دارا بوده است. در این بخش حجم سیلاب از حد دبی لبالبی فراتر رفته و وارد دشت سیلابی شده است. در این قسمت پهنه آب‌گرفتگی در دوره بازگشت ۲۵ سال بیش از ۱.۵ کیلومتر از حد سواحل رودخانه فراتر رفته است. در این بخش با کاهش شیب، حد گسترش سیلاب در دوره بازگشت ۵، ۱۰ و ۲۵ سال غالب مراکز روستایی و کشاورزی را در بر گرفته است (شکل ۱٤). شکل ۱٦ پهنه گسترش سیلاب در دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۱۰۰ ساله را نشان می‌دهد. حد گسترش سیلاب در این بخش به بیش از ۲ کیلومتر رسیده است. (اشکال ۱٦و ۱۷)



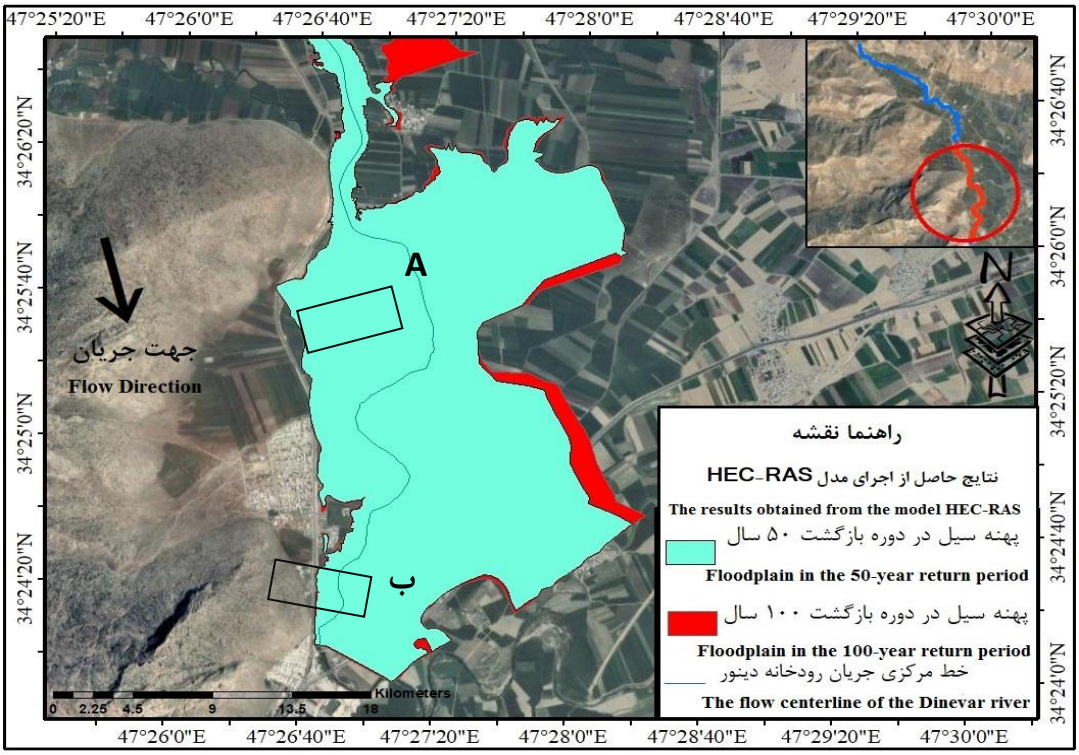
شکل ١٤– نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ و ۲۵ در بازه سوم

Fig.14. Flood zoning map of Dinevar River in return period 5, 10, 25 in the third reach



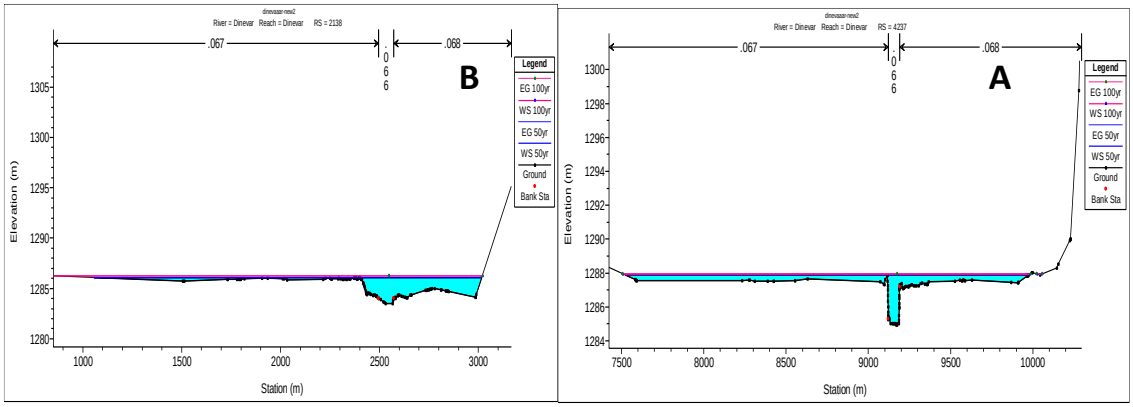
شکل ۱۵– مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه سوم، در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ و ۲۵ سال

Fig.14. Cross-sections of Dinevar River in the third reach, in the return period of 5, 10 and 25 years



شکل ۱۶- نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه دینور در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰سال در بازه سوم

Fig.16. Flood zoning map of Dinevar River in the return period of 50 and 100 years in the third reach



شکل ۱۷- مقاطع عرضی رودخانه دینور در بازه سوم منطقه موردمطالعه، در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال

Fig.17. Cross-sections of Dinevar River in the third reach, in the return period of 50 and 100 years

صحت سنجی

ازآنجایی‌که نتایج حاصل از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و طراحی منابع آب‌وخاک و همچنین مسائل مربوط به سیلاب و امثال آن کاربرد فراوان دارد، همواره درجه اعتبار آن‌ها مورد سؤال است. البته از هیچ مدل کامپیوتری نمی‌توان پیش‌بینی‌های کامل و دقیقی را انتظار داشت و همیشه به‌صورت نسبی مطرح است. در

این مطالعه جهت اعتبار سنجی نتایج حاصل از مدل اقدام به پایش سیلاب با استفاده از تصاویر لندست ۵ و از روش شاخص آب تفاضلی نرمال شده[1] (Bait Elahpour, Shaibani & Alizadeh, 2017) استفاده شده است این شاخص معمول‌ترین و رایج‌ترین شاخص برای بارزسازی آب و تشخیص میزان رطوبت می‌باشد و با توجه به تاریخ سیلاب‌های واقعی رخ داده تصاویر تاریخ سیلاب یا تصاویر نزدیک به رخداد سیل استخراج گردید و پهنه سیلاب مشخص شد. حداکثر سیلاب رخ داده با دبی ٤٢١ مترمکعب در تاریخ ۱۹۹۸.٤.۱ بوده است که با دوره بازگشت ۱۰۰ سال مطابقت دارد و نتایج روش شاخص آب تفاضلی نرمال شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در مدل مقایسه شده است پهنه آبی تشکیل یافته در قسمت ابتدای بازه کاملاً منطبق با پهنه ۱۰۰ سال مدل هیدرولیکی HEC-EAS بوده است اما در قسمت انتهای بازه بین این دو پهنه تا حدودی اختلاف است و این به دلیل تفاوت در ساختار مدل رقومی ارتفاعی منطقه می‌باشد. (شکل ۱۸) و جداول (۵ و ٦).

جدول ۵- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده

Table5- Specifications of satellite images used

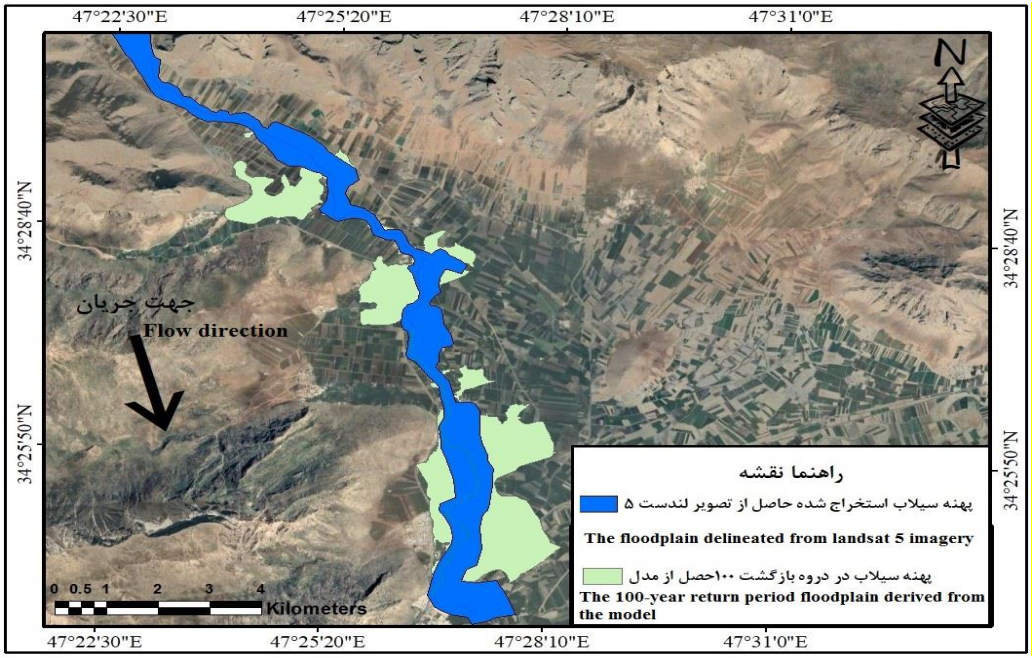
ردیف Num.	تاریخ میلادی Gregorian date	تاریخ شمسی Solar Hiji date	نوع ماهواره Satellite type	سنجنده Sensor	اندازه پیکسل (متر) Pixel siza(m)
1	1998.04.05	1376.12.27	Landsat 5	LT05_L2SP	30

جدول ٦- مساحت پهنه سیلاب رخ داده و نتیجه حاصل از مدل HEC-RAS

Table6- The area of the flood zone and the result of the HEC-RAS model

مساحت سیلاب Flood Area	مساحت سیلاب Flood Area
10.2	پهنه سیلاب استخراج شده حاصل از تصویر لندست ۵ The floodplain delineated from landsat 5 imagery
13.41	پهنه سیلاب مدل HEC-EAS Model Floodplain

[1] Normalized Difference Water Index(NDWI)

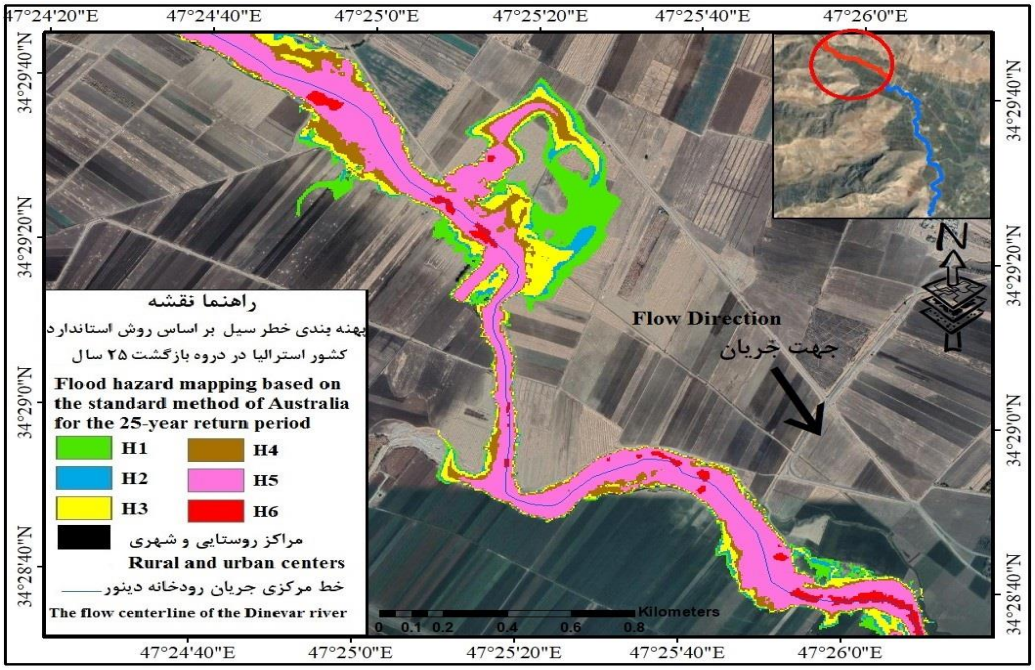


شکل ۱۸- پهنه سیلاب استخراج شده حاصل از تصویر لندست ۵ با استفاده از روش (NDWI)

Fig.18. Flood zone extracted from Landsat 5 image using (NDWI) method

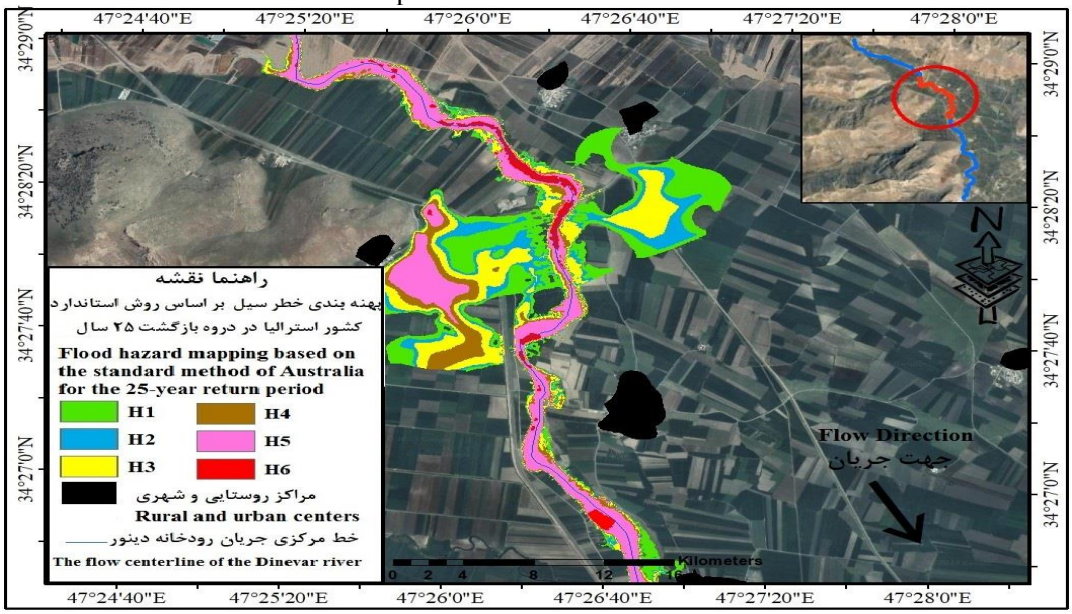
۳-۱- برآورد پهنه خطر سیلاب

سیل یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای امنیت اجتماعی و توسعه پایدار جامعه است؛ توجه به این نکته مهم است که خطرات سیل ویژگی‌های ذاتی سیستم طبیعی نیستند، بلکه نگرانی‌های انسانی یا اجتماعی هستند. ازاین‌رو هدف مدیریت ریسک سیل کاهش خسارات جانی و اقتصادی است (Jibhakate et al., 2023). تهیه نقشه‌های خطر سیل ترکیبی از پارامترهای سرعت و عمق جریان است. حاصل‌ضرب دو پارامتر عمق و سرعت جریان (D*V)معیار ناحیه‌بندی خطر سیلاب قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مبنای تعیین حد بستر و برآورد خطر سیل در ایران دوره بازگشت ۲۵ ساله است لذا پهنه‌بندی خطرپذیری سیلاب براساس روش استاندارد استرالیا برای رودخانه دینور در دوره بازگشت ۲۵ ساله تهیه گردید. ملاحظه می‌گردد که در بازه اول پهنه سیلاب ۲۵ ساله گسترش چندانی نداشته و بخشی از ساحل چپ رودخانه در طبقه H5 (ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم و امکان ایجاد خسارت سازه‌ای برای همه انواع ساختمان‌ها) قرار گرفته است (شکل ۱۷). در بازه دوم و سوم (شکل ۱۸و ۱۹) بخشی از منطقه در سطح H2 (ناامن برای وسایل نقلیه کوچک) و H3 (ناامن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان) و H4 (ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم) قرار گرفته است که می‌تواند از طریق ساخت سازه‌های سیلگیر سبب حفظ روستاها و زمین‌های کشاورزی از خطر سیلاب گردید و باعث جابجایی طبقات خطرپذیری از حالت‌های H3 و H4 به حالت H1 (عموماً امن برای وسایل نقلیه، مردم و ساختمان‌ها) خواهد شد.



شکل ۱۹- نقشه پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس روش استاندارد کشور استرالیا، در دوره بازگشت ۲۵ سال در بازه اول

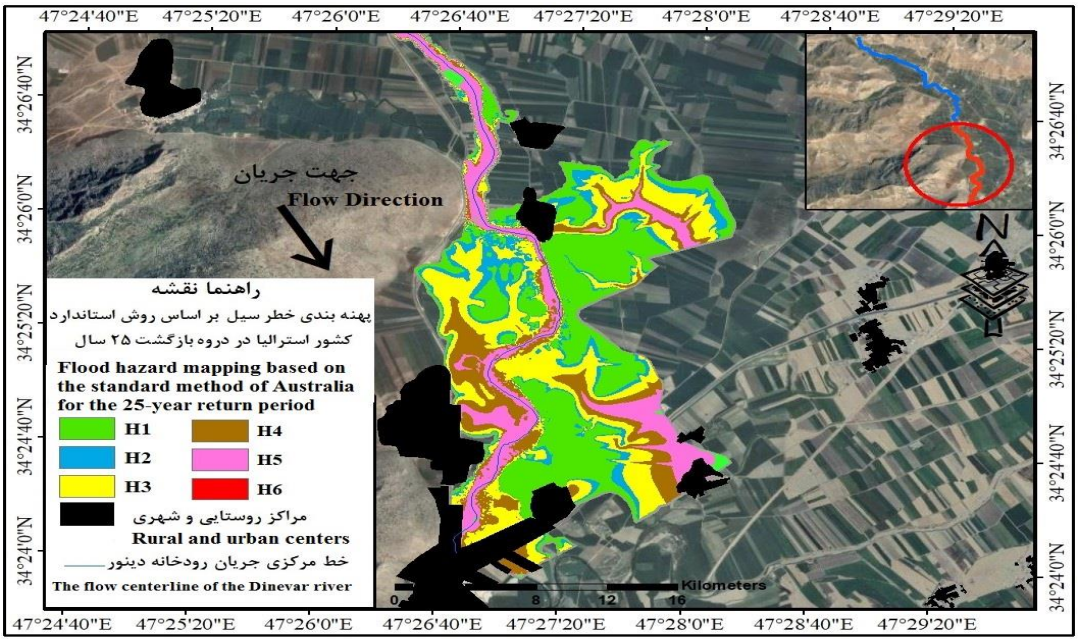
Fig.19. Flood risk zoning map based on the standard method of Australia, in the 25-year return period in the first reach.



شکل ۲۰- نقشه پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس روش استاندارد کشور استرالیا، در دروه بازگشت ۲۵ سال در بازه دوم

Fig.20. Flood risk zoning map based on the standard method of Australia, in the 25-year return period in the second reach

.



شکل ۲۱- نقشه پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس روش استاندارد کشور استرالیا، در دروه بازگشت ۲۵ سال در بازه سوم

Fig.21. Flood risk zoning map based on the standard method of Australia, in the 25-year return period in the Third reach.

٤- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی احتمال خطر سیل گامی ضروری در جهت مدیریت مؤثر سیل در مناطق سیل‌خیز است. شبیه‌سازی یک اقدام غیرساختاری برای شناسایی نقاط سیل‌خیز است و به‌عنوان یک ابزار ضروری برای شهروندان، سازمان مدیریت منابع آب و دولت‌ها در مدیریت بلایا عمل می‌کند. در این پژوهش محاسبه سیلاب‌های رودخانه دینورآب با استفاده از مدل ریاضی HEC- RAS استفاده شده و پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵ تا ۱۰۰ سال شبیه‌سازی شده است. بازه موردمطالعه براساس ژئومورفولوژی رودخانه به سه بازه تقسیم شده است. در ابتدای بازه رودخانه تحت تأثیر فرم توپوگرافی منطقه، در داخل دره جریان پیدا کرده است و سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف از حد کانال فراتر نرفته است به‌طورکلی در بازه اول اجرای معیار تعیین حد بستر با آیین‌نامه‌های ایرانی امکان‌پذیر می‌باشد؛ اما در بازه‌های دوم و سوم رودخانه دینور به دلیل کاهش شیب، رودخانه در یک سرزمین هموار مانند دشت چمچمال جریان پیدا کرده است. سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال بسیاری از مناطق روستایی و زمین‌های کشاورزی را دربر گرفته است. با توجه به نتایج مدل در بازه دوم و سوم پهنه سیلاب به حداکثر گسترش خود به بیش از ۱ کیلومتر رسیده است همچنین عمق سیلاب در جایی که کانال عمیق و دامنه‌ها شیب‌دار باشد و ضریب مانینگ کم است، زیاد است.

ازنظر بررسی سطوح مختلف خطر سیل در دوره بازگشت ۲۵ ساله، در حدود ۲۵ درصد منطقه در سطح خطر H3 (نا امن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان) ۱۶ درصد در سطح خطر H4 (ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم) و ۲۳ درصد در سطح خطر H5 (نا امن برای وسایل نقلیه و همه مردم و امکان ایجاد خسارت سازه‌ای برای همه انواع ساختمان‌ها) قرار گرفته است. درنهایت با شناسایی بخش‌های آسیب‌پذیر و درک پهنه‌های خطر، برنامه‌ریزان می‌توانند منابع را به‌طور مؤثر تخصیص دهند و اقدامات هدفمندی از قبیل ایجاد سدهای مخزنی و سیل‌بندها، اصلاح و بهسازی مسیر رودخانه و حفاظت از سواحل رودخانه‌ها و بستر را برای کاهش اثرات بالقوه سیل در مناطق شهری و روستایی ساحلی رودخانه‌ها اجرا کنند که خطرات احتمالی جانی و مالی را کاهش دهند.

References

Avand, M., Kuriqi, A., Khazaei, M., & Ghorbanzadeh, O. (2022). DEM resolution effects on machine learning performance for flood probability mapping. *Journal of Hydro-Environment Research*, *40*, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.jher.2021.10.002

Bait Elahpour, I., Shaibani, H., & Alizadeh, H. (2017). Feasibility of using satellite images in determining river bed limit, case study: Gabrik River. *In the eleventh International River Engineering Conference*. [In Persian] https://civilica.com/doc/898311/

Baky, M. A. A., Islam, M., & Paul, S. (2020). Flood hazard, vulnerability and risk assessment for different land use classes using a flow model. *Earth Systems and Environment*, *4*, 225-244. https://doi.org/10.1007/s41748-019-00141-w

Bazrafshan, O., Shekari, M., Zamani, H., Dehghanpir, S., & Singh, V. P. (2021). Assessing hydrologic drought risk using multi-dimensional copulas: case study in Karkheh River basin. *Environmental Earth Sciences*, *80*, 538. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09870-6

Bozorgmehr, S. (2019). Iran says recent floods caused up to $2.5 billion in damage. https://www.reuters.com/article/us-iran-floods-idUSKCN1RQ093

Brunner, G. W. (2002). *HEC-RAS river analysis system: User's manual*. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources. Hydrologic Engineering Center. https://www.worldcat.org/title/hec-ras-river-analysis-system-users-manual/oclc/646863632&referer=brief_results

Burge, L. (2007). Geomorphology and river management: applications of the river styles framework. *The Canadian Geographer*, *51*(1), 109-111. https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2007.00168_1.x

Coon, W. F. (1995). *Estimates of roughness coefficients for selected natural stream channels with vegetated banks in New York* (No. 93-161). US Geological Survey; Earth Science Information Center, Open-File Reports Section.

Echogdali, F. Z., Boutaleb, S., Kpan, R. B., Ouchchen, M., Id-Belqas, M., Dadi, B., ... & Abioui, M. (2022). Flood hazard and susceptibility assessment in a semi-arid environment: A case study of Seyad basin, south of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, *196*, 104709. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104709

Fang, L., Huang, J., Cai, J., & Nitivattananon, V. (2022). Hybrid approach for flood susceptibility assessment in a flood-prone mountainous catchment in China. *Journal of Hydrology*, *612*, 128091. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128091

Gudiyangada Nachappa, T., Piralilou, S. T., Gholamnia, K., Ghorbanzadeh, O., Rahmati, O., & Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. *Journal of Hydrology*, *590*, 125275. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125275

Haji Hosseinlou, H., Aghdam, V., & Valizadeghan, E. (2024). Study of the impact of bridge structures on the river floodplain using Hec-Ras and Arc-GIS software (Case study: Sarnagh Bridge on the Zola River). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1),47-62. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75257.1175

Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, *268*(1-4), 87-99. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X

Hosseinzadeh, M. M. & Esmaeli, R. (2015). *Fluvial geomorphology concepts, froms and processes*. Tehran: Shahid Beheshti University. [In Persian] https://press.sbu.ac.ir/book_241.html

Jibhakate, S. M., Timbadiya, P. V., & Patel, P. L. (2023). Multiparameter flood hazard, socioeconomic vulnerability and flood risk assessment for densely populated coastal city. *Journal of Environmental Management*, *344*, 118405. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118405

Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A., & Yang, J. (2019). Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *84*, 31-44. https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.10.019

Mani, P., Chatterjee, C., & Kumar, R. (2014). Flood hazard assessment with multiparameter approach derived from coupled 1D and 2D hydrodynamic flow model. *Natural Hazards*, *70*, 1553-1574. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0891-8

Masih, I., Uhlenbrook, S., Maskey, S., & Smakhtin, V. (2011). Streamflow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, Iran. *Climatic Change*, *104*(2), 317-338. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9793-x

Mehta, D. J., Eslamian, S., & Prajapati, K. (2022). Flood modelling for a data-scare semi-arid region using 1-D hydrodynamic model: a case study of Navsari Region. *Modeling Earth Systems and Environment*, *8*, 2675-2685. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01259-5

Mejia-Navarro, M., Wohl, E. E., & Oaks, S. D. (1994). Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado, In M. Morisawa (ed.), *Geomorphology and Natural Hazards*, 331–354. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82012-9.50025-6

Ministry of Energy. (2020). Manual for providing flood risk map. No.821. Islamic Republic of Iran: Plan and Budget Organization. [In Persian] https://waterstandard.wrm.ir/cs/WRMResearch/278/396

Modarres, R., Sarhadi, A., & Burn, D. H. (2016). Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change*, *144*, 67-81. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.008

Mohanty, M. P., Nithya, S., Nair, A. S., Indu, J., Ghosh, S., Bhatt, C. M., ... & Karmakar, S. (2020). Sensitivity of various topographic data in flood management: Implications on inundation mapping over large data-scarce regions. *Journal of Hydrology*, *590*, 125523. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125523

Mondal, I., Bandyopadhyay, J., & Paul, A. K. (2016). Estimation of hydrodynamic pattern change of Ichamati River using HEC RAS model, West Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0138-2

Nayyeri, H., Kahrizi, S., & Sanikhani, H. (2022). Analysis of the relationship between fractals and the dynamics governing watersheds,(case study Dinvar river basin in Kermanshah province, Iran). *Environmental Earth Sciences*, *81*(21), 515. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10641-0

Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S. M., & Moghadam, Y. J. (2022). Application of Unmanned Aerial Vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, Iran. *Journal of Environmental Management*, *317*, 115492. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115492

Pathan, A. I., & Agnihotri, P. G. (2021). Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic flood modeling with special reference through geospatial techniques: a case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, *7*, 1133-1144. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00961-0

Salman, A., Hassan, S. S., Khan, G. D., Goheer, M. A., Khan, A. A., & Sheraz, K. (2021). HEC-RAS and GIS-based flood plain mapping: A case study of Narai Drain Peshawar. *Acta Geophysica*, *69*, 1383-1393. https://doi.org/10.1007/s11600-021-00615-4

Schumann, A. H., Funke, R., & Schultz, G. A. (2000). Application of a geographic information system for conceptual rainfall–runoff modeling. *Journal of Hydrology*, *240*(1-2), 45-61. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00312-7

Sharifi, F., Samadi, S. Z., & Wilson, C. A. (2012). Causes and consequences of recent floods in the Golestan catchments and Caspian Sea regions of Iran. *Natural Hazards*, *61*, 533-550. https://doi.org/10.1007/s11069-011-9934-1

Shokri, A., Sabzevari, S., & Hashemi, S. A. (2020). Impacts of flood on health of Iranian population: Infectious diseases with an emphasis on parasitic infections. *Parasite Epidemiology and Control*, *9*, e00144. https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00144

Thapa, S., Shrestha, A., Lamichhane, S., Adhikari, R., & Gautam, D. (2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *30*, 100704. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100704

Yari, A., Ardalan, A., Ostadtaghizadeh, A., Zarezadeh, Y., Boubakran, M. S., Bidarpoor, F., & Rahimiforoushani, A. (2019). Underlying factors affecting death due to flood in Iran: A

qualitative content analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *40*, 101258. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101258

Yerramilli, S. (2012). A hybrid approach of integrating HEC-RAS and GIS towards the identification and assessment of flood risk vulnerability in the city of Jackson, MS. *American Journal of Geographic Information System*, *1*(1), 7-16. https://doi:10.5923/j.ajgis.20120101.02

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.101-128 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78374.1272 Open access

Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan)

Mousa Abedeni[a*], Payam Fateh Elahi[b] , Behrouz Nezafat taklhe[b]

[a]*Professor of in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.*
[b]*Ph.D. student in Geomorphology, Department of physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.*

Received: 22 August 2022 ***Revised: 4 October 2022*** ***Accepted: 15 October 2022***

Abstract

Riverbank erosion is a hydraulic process in which the tensile force of flowing water causes the separation of soil particles from the bank. River channel changes, bank erosion, and bank sedimentation are natural processes in alluvial rivers that can lead to the destruction of surrounding agricultural lands and damage to human infrastructure near the river.

In this research, the Rasgen model (Levels 1, 2, and 3) was used to evaluate the condition of the Darehroud River and measure the extent of bank erosion. Level 1 was utilized to determine the channel type after calculating the river slope in the study area. Based on the slopes obtained from different sections, field observations of the river's cross-sections, and its planform during field studies, and considering the river classification system based on slope in Level 1 of Rasgen, the examined sections were categorized into Groups B and A.

For this study, six sections from Gavlan village to Laqan village, spanning a length of 5 kilometers, were selected. After determining the river classification in Levels 1 and 2, the conditions of the Darehroud River were evaluated using Level 3 of the Rasgen system. The results indicate that sections 2, 5, and 6 (Group 4B) with total scores of 91, 85, and 111, respectively, and section 4A with a score of 87 are in a weak and unstable condition. In contrast, sections 1 and 3 (Type 4A) with scores of 91 and 87, respectively, are in a good and stable condition.

Overall, the classification of the Darehroud River based on the Rasgen model (Levels 1, 2, and 3) provides a logical assessment that delivers more detailed and accurate information for river management applications.

Keywords: Riverbank Erosion, Alluvial Rivers, Rasgen Model, ,River Stability Assessment, Hydraulic Processes, Northwest of Iran.

* . Corresponding author: Mousa Abedeni Email: abedeni@uma.ac.ir Tel:+989143535226

How to cite this Article: Abedini, M., Fateh Elahi, P., & Nezafat takle, B. (2024). Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 101-128.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۲۸-۱۰۱ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2022.78374.1272 دسترسی آزاد

بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه‌بندی آن با استفاده از مدل راسگن (مطالعه موردی: شهرستان هوراند -آذربایجان‌شرقی)

موسی عابدینی[۱]- استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پیام فتح الهی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

بهروز نظافت تکله- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ **دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۱ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۷/۱۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۷/۲۳**

چکیده

فرسایش کناره‌ای رودخانه به یک روند هیدرولیکی مرتبط می‌شود که در تحت آن نیروی کششی حاصل از جریان موجب جدا شدن ذرات خاک کناره می‌گردد. تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش کناره‌ای و رسوب‌گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود. در این پژوهش از مدل راسگن (سطح ۱ و سطح ۲ و سطح ۳) جهت ارزیابی وضعیت رودخانه دره‌رود به‌منظور اندازه‌گیری میزان فرسایش‌کناره‌ای و از سطح یک برای مشخص نمودن نوع مجرا پس از به دست آوردن شیب رودخانه دره‌رود در محدوده موردمطالعه استفاده شده است. با توجه به شیب‌های به‌دست‌آمده از مقاطع مختلف و مشاهدات میدانی از سطح مقطع و پلان رودخانه در مطالعات میدانی و باملاحظه طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس شیب‌های مختلف در طبقه‌بندی اولیه و سطح ۱ راسگن، مقاطع موردنظر در گروه B و A قرار گرفتند. در این پژوهش ۶ مقطع از روستای گاولان تا روستای لقان به طول ۵ کیلومتر انتخاب شده است. پس از مشخص نمودن طبقه‌بندی رودخانه در سطح یک و دو راسگن، شرایط رودخانه دره‌رود و بازه‌های آن، از مجموع امتیازهای به‌دست‌آمده در سطح سوم راسگن از مجموع امتیازهای به‌دست‌آمده در سطح سوم راسگن، در

[۱] -نویسنده مسئول : ۰۹۱۴۳۵۵۵۲۲۶ Email: abedini@uma.ac.ir

منطقه موردمطالعه، بازه۲ و ۵ و ۶ هر سه از گروه تیپ B۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و۸۵ و ۱۱۱ و گروه تیپ A۴ با امتیاز ۸۷ در وضعیت ضعیف ناپایدار قرار می‌گیرند. بازه۱ و۳ از گروه تیپ A۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۷ در وضعیت خوب و پایدار قرارگرفته دارند. درواقع طبقه‌بندی رودخانه دره‌رود در محدوده موردمطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی سطح یک، دو و سه راسگن، یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها:فرسایش کناره رودخانه، رودخانه‌های آبرفتی،مدل راسگن،ارزیابی پایداری رودخانه،فرآیندهای هیدرولیکی ، شمالغرب ایران.

۱-مقدمه

حوضه‌های رودخانه‌ای که به حوضه‌های هیدروگرافی نیز مرسوم است، عوامل فرسایشی به‌صورت سیستماتیک مرتبط به هستند. ارزش و اهمیت مطالعات حوضه‌های رودخانه‌ای به لحاظ افزایش روزافزون جمعیت و بستر بر آورد کننده نیازهای کشاورزی، دامداری و گسترش مناطق مسکونی و شبکه ارتباطی و سایر کاربری‌ها روز به روز بیش‌تر معلوم می‌شود (Abedini, 2018) ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین است (Abedini & Tulabi, 2017) مهم‌ترین پدیده در فرایندهای پوسته زمین جریان آب‌ها است و رودخانه‌ها نه‌تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره‌ی زمین را نیز تعیین می‌نماید (Rezaei Moghaddam, Sarvati & Asghari Sareskanrood, 2012). رودخانه به‌عنوان دستگاهی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (Rezaei Moghaddam, Sarvati & Asghari Sareskanrood, 2018). در بسیاری از دستگاه‌های رودخانه‌ای، در طول صدسال گذشته، عوامل متعددی مانند استفاده از زمین، شهرنشینی، زهکشی، ساخت سدها، انحراف مسیر رودخانه، احداث معادن شن و ماسه و دینامیک رودخانه تغییرات قابل‌توجهی در اثر دخالت انسانی داشته است. آب‌وخاک، پایه و اساس حیات بشر به شمار می‌آیند. امروزه فرسایش خاک این منابع با ارزش و درنتیجه حیات بشر را تهدید می‌کند؛ بنابراین ارزیابی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری است (Abedini & Tulabi, 2017).

پیامدهای فرسایش کناره‌ای باعث بروز تغییرات و ناپایداری‌ها در رودخانه و نهایتاً تغییر الگوی رفتاری رودخانه می‌گردد. لذا جهت مقابله با این پدیده و کاهش اثرات مخرب آن نیاز به شناخت پدیده فرسایش کناری و مکانیزم وقوع آن است (Kang, 2007). محدوده مطالعاتی که قسمتی از رودخانه دره‌رود در آن قرارگرفته است با وسعت ۶۶۶۲ هکتار معادل ۶۶/۶ کیلومترمربع در قسمت شمال شرقی استان آذربایجان شرقی و در شهرستان هوراند واقع شده است. ورود جبهۀ سرد به منطقه و نزول درجه حرارت در صورت مساعد بودن وضعیت جوی سبب ریزش برف با چگالی کم می‌گردد. بنابراین سیستم فشار زیاد سیبری بنا به موقعیت و نوع جریان تا اندازه‌ای بر روی منطقه اثر می‌گذارد. بارندگی سالانه در منطقه موردمطالعه ۳۵۶ میلی‌متر است و حجم این بارش در حدود ۱۰۳ میلیون مترمکعب است. در طول مسیر این رودخانه می‌توان آثار فرسایش کناره‌ای را به‌کرات مشاهده کرد که این تغییر کانال مشکلاتی را برای مردم به دنبال داشته است. به‌طورکلی به خاطر این‌که رودخانه دره‌رود، از باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی و نیز سازه‌های انسانی عبور می‌کند، ضرورت دارد تا بامطالعه فرسایش و برآورد آن از خسارت‌های احتمالی جلوگیری به عمل آید.

مطالعات مختلفی توسط محققان داخلی و خارجی درزمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در مورد پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه رودخانه بالخلوچای عابدینی و یعقوب نژاد (Abedini & Yaqub Nejad Asl, 2016) پژوهشی انجام داده‌اند و نتایج آن نشان داده که حدود ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه در محدوده با خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ در محدوده با خطر فرسایش‌کم و بسیارکم قرار گرفته‌اند. در ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه‌بندی راسگن (حد فاصل ایستگاه لیقوان و هروی) داده‌های مقاطع عرضی رودخانه و پارامترهای مورفولوژیکی را برای هر بازه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده و نتایج نشان داد که رودخانه از نوع سینوسی بوده و بر اساس طبقه‌بندی راسگن بازه‌های مختلف در الگوهای مختلف قرارگرفته است و درنهایت این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از رودخانه می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورداستفاده قرار گیرد (Roostaei, Khurshid Dost & Khaleghi, 2012). اسماعیلی و

حسین زاده (Esmeili & Hosseinzadeh, 2015) جهت مقایسه روش‌های روزگن و استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی، مطالعه موردی البرز شمالی حوضه آبریز لاویج، پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند بر اساس روش استیل رود، هشت استیل در حوضه آبریز لاویج شناسایی شد و در سیستم طبقه‌بندی روزگن فقط گروه A این روش درست شناسایی شده و بقیه بازه‌ها در هیچ گروه مشخصی قرار نگرفتند. خالقی و همکاران (Khaleghi, Roustaei, Khorshiddoost, Rezaei Moghadam & Ghorbani, 2016) در پژوهشی برآورد فرسایش کرانه رودخانه لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش‌برشی نزدیک کرانه راسگن پرداخته‌اند که نتایج نشان داد در روش (R_B/W_{bkf})، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع به‌جز مقطع ۱۰، کم تا خیلی کم بوده و در روش(d_{nb}/d_{bkf}) در اکثر مقاطع فرسایش‌پذیری کرانه‌ها در حد کم تا متوسط را نشان داد. ضریب ناپایداری رودخانه طالقان و راهکار مهندسی برای پایدارسازی کناره آن با استفاده از مدل لین را موردمطالعه قرار داده‌اند. عابدینی (Abedini, 2021) در مورد فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرسایندگی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای شهرستان مرند تحقیق به عمل آورده و نتایج نشان داده که مجموع کل فرسایش سالانه خاک در حوضه ۴۱۱۲۱۵۲۵ تن و برای هر هکتار ۲۹۱ تن می‌باشد که این بیانگر بالا بودن نرخ فرسایش خاک در این حوضه است.

حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh, Shayan & Najafzadeh, 2022)، به بررسی پتانسیل فرسایش کناره پایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین‌زهرا- قزوین با استفاده از مدل راسگن پرداختند ایشان به این نتیجه دست یافتند که عامل فرسایش کناره و پوشش گیاهی ریپارین مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌ای رودخانه حاجی‌عرب تبیین شدند (Batalla et al., 2018). به تحلیل و بررسی تکامل ژئومورفولوژیکی کانال رودخانه طبیعی در حوضه مدیترانه شیلی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای رابطه اقلیم و مورفولوژی رودخانه موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که تغییرات مورفولوژی از قبیل باریک شدن مجرای رودخانه و از بین رفتن پوشش گیاهی توسط انسان باعث فراوانی و بزرگی رویدادهای سیل در این حوضه شده است. هم‌چنین نوسانات ده‌ساله اقیانوس

آرام و فعالیت‌های اقلیمی و کاهش دبی نیز منجر به پایداری رودخانه و ساده‌سازی الگوی زهکشی کانال رودخانه شده است. ویجسکارا و همکاران (Wijesekara, Gupta, Valeo, Hasbani & Marceau, 2010) در تحقیقی، تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن‌ها بر روند هیدرولوژیکی را در حوضه رودخانه آرنج در جنوب کانادا بر اساس مدل‌های توزیع هیدرولوژیکی با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی و پیش‌روی زمین‌های کشاورزی و اراضی مسکونی باعث کاهش عملکرد سالانه آب و رواناب سطح حوضه آبخیز شده است.

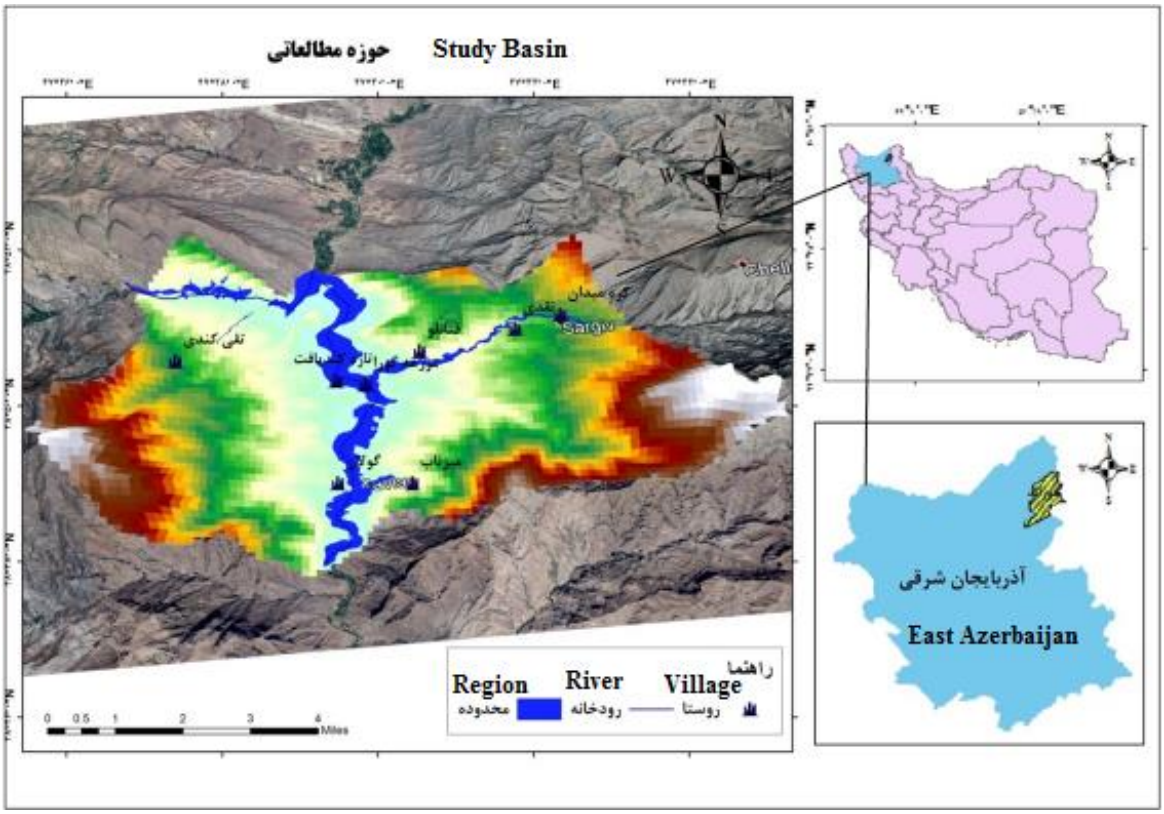
همچنین مطالعاتی همچون ساس و کین (Sass & Keane, 2012) و اطمینان و همکاران (Etminan, Rostami & Nosrati, 2020) انجام شده است. هدف از این پژوهش بررسی فرسایش کناری رودخانه دره‌رود و طبقه‌بندی آن با استفاده از مدل راسگن (مطالعه موردی: شهرستان هوراند –آذربایجان‌شرقی) می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه موردمطالعه

حوضه موردمطالعه ازنظر هیدرولوژیکی جزئی از حوضه آبریز ارس بوده و ازنظر سیاسی جزو استان آذربایجان شرقی و شهرستان هوراند می‌باشد و مساحتی بالغ بر ۲۹۰ کیلومترمربع را شامل می‌گردد. محدوده موردمطالعه ازنظر مختصات جغرافیایی متریک (UTM) در زون ۳۸ و بین طول‌های ۶۹۲۵۰۵ تا ۷۱۶۷۰۶ متر شرقی و عرض‌های ۴۲۸۵۱۵۷ تا ۴۳۰۸۲۹۳ متر شمالی واقع شده است. این محدوده در حوضه آبخیز هوراند واقع شده است. وسعت حوضه آبخیز هوراند برابر ۲۹۰۵۰ هکتار معادل ۲۹۰/۵ کیلومترمربع و محیط حوضه نیز ۸۵/۷۸ کیلومتر می‌باشد. محدوده مطالعاتی که قسمتی از رودخانه دره‌رود در آن قرارگرفته است با وسعت ۶۶۶۲ هکتار معادل ۶۶/۶ کیلومترمربع در قسمت شمال شرقی استان آذربایجان شرقی و در شهرستان هوراند واقع شده است. ورود جبهۀ سرد به منطقه و نزول درجه حرارت در صورت مساعد بودن وضعیت جوی سبب ریزش برف با چگالی کم می‌گردد. بنابراین سیستم فشار زیاد سیبری بنا به موقعیت و

نوع جریان تا اندازه‌ای بر روی منطقه اثر می‌گذارد. بارندگی سالانه در منطقه موردمطالعه ۳۵۶ میلی‌متر می‌باشد و حجم این بارش در حدود ۱۰۳ میلیون مترمکعب می‌باشد و متوسط تبخیر در منطقه موردمطالعه ۱۲۴۲/۹ میلی‌متر می‌باشد. منطقه موردمطالعه ازنظر رخدادهای زمین ساختی در طور دوران پالئوزوئیک همانند ایران مرکزی و البرز دارای شرایط پلاتفرمی بوده است و طی آن رسوبات دریایی کم‌ژرفای قاره‌ای در آن انباشته شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲- مطالعات میدانی و روش‌های استفاده شده

تحقیق موردنظر، به‌صورت مطالعات میدانی، مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی استفاده شده است. استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان

نقشه‌برداری کشور و استفاده از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور. بررسی‌های میدانی مستقیم جهت انجام ملاحظات ژئومورفولوژی محلی، اندازه‌گیری‌های مورفومتری کانال رود، عکس‌برداری و ارزیابی ضریب مانینگ صورت گرفته است. داده‌های حاصل از بررسی میدانی، شامل اندازه‌گیری عمق رودخانه در مقطع‌های مختلف، عرض مقطع پر، شیب بستر، شیب کناره رودخانه و شیب دیواره در مقاطع مختلف، بررسی جنس زمین و نوع پوشش گیاهی و سرعت آب در مقاطع مختلف هستند. برداشت‌های زمینی و محاسبه پارامترهای ژئومورفیک و هیدرولیک (عمق، مساحت مقطع عرضی، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیک، شیب کانال، عرض کانال و عرض کانال در دبی لبالبی، عمق دبی لبالبی، عرض دره، مساحت حوضه، ضریب مانینگ) و کارهای آزمایشگاهی و درنهایت واردکردن اطلاعات به‌دست‌آمده در مدل راسگن و بررسی جابجایی عرضی و تغییرات بستر رودخانه از طریق مطالعه مقاطع عرضی رودخانه انجام‌گرفته است.

با توجه به آثار کناره رودخانه ازجمله: زیربری رودخانه، تغییرات جنس در کرانه رودخانه، با توجه به آثار خزه‌ها و گلسنگ‌ها، تغییرات رنگ سنگ‌ها و در محل‌هایی که دشت سیلابی داریم لبه دشت سیلابی دبی لبالبی یا عرض مقطع پر مشخص می‌شود، که می‌توان با استفاده از متر پارچه‌ای آن را اندازه‌گیری کرد (شکل۲ و ۳).

شکل۲- نمایی از اندازه‌گیری دبی لبالبی

Fig.2. A view of overflow discharge measurement

شعاع انحناء را برای هر مقطع در محیط اتوکد و با استفاده از تصاویر گوگل ارث به دست می‌آوریم که در این روش ابتدا تصویر برداشته‌شده از گوگل ارث را از مقطع موردنظر در اتوکد هم مقیاس کرده و سپس دایره مماس بر قوس‌های موردنظر را رسم کرده و شعاع انحناء را به دست می‌آید.

۲-۳- ضریب خمیدگی

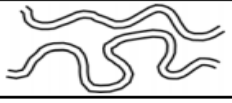
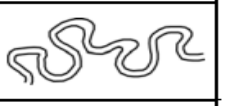
میزان ضریب خمیدگی برای هر بازه از گوگل ارث به دست آمد. درجایی که طول مجرا به‌صورت طول تالوگ فرض شود، از تقسیم طول مجرا (CL)، به طول دره (VL) ضریب خمیدگی (SR) به دست می‌آید (Kang, 2007)(جدول ۱).

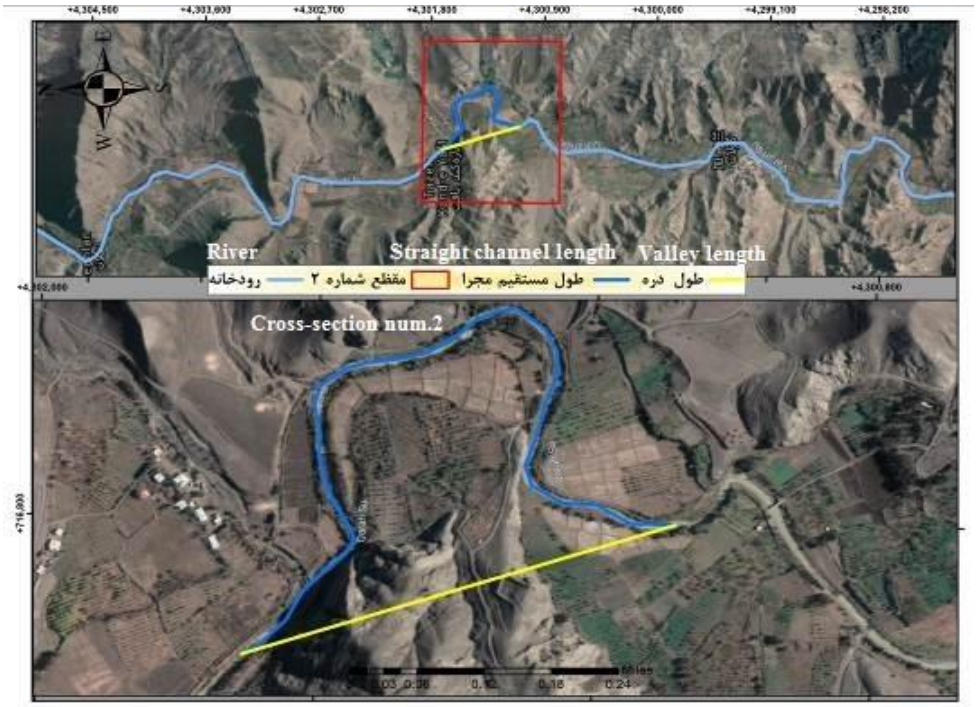
شکل۳- وضعیت مقطع شماره دو در رودخانه دره رود

Fig.3. Condition of cross-section number two in the Dareh Roud river

جدول ۱- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب ضریب خمیدگی

Table 1- Rivers classification based on curvature coefficient

ضریب پیچشی	۱ – ۱/۰۵	۱/۰۶ – ۱/۲۵	۱/۲۵ – ۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید



شکل۴- اندازه‌گیری ضریب خمیدگی و نوع بازه در مقطع شماره دو

Fig.4 .Measurement of curvature coefficient and channel reach type in cross-section 2

$$(\mathrm{SR}) = \frac{1331.73}{657.63} = 2/02$$

در مقطع شماره۲ شکل۴، الگوی رودخانه از نوع مئاندری نسبتاً شدید می‌باشد و توسعه مئاندرها منجر به میانبر گلوگاهی و ایجاد اشکال ژئومورفیکی نعل اسبی شده است.

دانه‌بندی ازجمله مشخصه‌های مهم مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه‌ها را ازلحاظ دانه‌بندی به دو گروه رسوبات چسبنده (ریزدانه‌ها) و رسوبات غیر چسبنده (درشت‌دانه‌ها) متمایز کرد. ترکیب دانه‌بندی رسوبات چسبنده شامل سیلت و رسی بوده و اندازه دانه‌ها کمتر از ۰/۰۶۲ میلی‌متر است، شن بخش عمده‌ای از بستر رودخانه‌های پیچان‌رودی در مناطق جلگه‌ای کم شیب و مصب‌ها دارای ساختار سیلت و رس بوده و ریخت‌شناسی رودخانه با آن مرتبط. رسوبات غیر چسبنده از طیف وسیع‌تری برخوردار و از چهار رتبه مشخص شامل

ماسه، شن، قلوه‌سنگ و قطعه‌سنگ تشکیل‌شده است (Kang, 2007)، بسترهای ماسه‌ای در بازه‌های مستقیم و پیچان‌رودها عمومیت دارد. برای معرفی دامنه تغییرات دانه‌بندی استفاده از نمودار میله‌ای و تجمعی متداول می‌باشد. مواد رسوبی موجود در رودخانه‌ها معمولاً دارای لایه‌بندی‌های متفاوتی است. ازاین‌رو علاوه بر دانه‌بندی، وجود لایه‌های رسوبی مختلف در بستر رودخانه‌ها رفتار ریخت‌شناسی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس لایه‌ای از جنس ماسه ممکن است بر روی یک‌لایه شنی و یا رسی قرار گیرد. بدیهی است اندازه دانه‌ها بر نرخ انتقال رسوب و میزان فرسایش و رسوب‌گذاری و پیامدهای ریخت‌شناسی حاصله تأثیر مستقیم دارد. با افزایش قطر دانه‌ها نرخ انتقال رسوب رو به کاهش می‌گذارد. ازاین‌رو تغییرات لایه‌بندی می‌تواند روند فرسایش و یا رسوب‌گذاری را دستخوش تغییر نماید. وجود یک‌لایه ماسه‌ای در زیر لایه شنی پتانسیل تشدید فرسایش را افزایش می‌دهد. از دیدگاه ریخت‌شناسی و انتقال رسوب دولایه مشخص همواره باید مدنظر قرار گیرد. لایه سطحی یا لایه جوشنی و لایه زیرین. وجود لایه جوشنی مانع ادامه فرسایش و کف کنی بستر شده و از این طریق مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه را تثبیت می‌نماید. در سیلاب‌های بزرگ با شکسته شدن لایه جوشنی لایه زیرین فرسایش یافته و رودخانه فرسایش عمومی را تجربه می‌کند، در مطالعات رودخانه‌ای، به رودخانه‌های آبرفتی که اندازه رسوبات بستر آن‌ها از دو میلی‌متر بزرگ‌تر باشد به‌طورکلی بستر گراولی گفته می‌شود. اگر هدف مطالعه رسوبات سطحی بستر گراولی رودخانه باشد روش‌های متعددی شامل نقشه‌برداری رخساره‌ها، تخمین بصری، شمارش سنگ و عکاسی وجود دارد. بدیهی است که اندازه‌گیری تمامی رسوبات رودخانه و یا حتی یک بازه امکان‌پذیر نیست. ازاین‌رو لازم است که محقق از رسوبات بستر رود یا اشکال ژئومورفیک رودخانه‌ای نمونه‌گیری نماید و نتایج را به جوامعِ آماری که در اینجا بازه رود یا کل رودخانه است، تعمیم دهد. تکنیک‌های مختلفی برای نمونه‌گیری در مطالعات رودخانه‌ای پیشنهادشده است که در تحقیق موردنظر از اندازه‌گیری با گراولمتر انجام‌گرفته است. گراول‌متر یک الگو یا قالب است که اندازه ذرات حدی بر روی آن به‌صورت یک مربع بریده‌شده‌اند. گراول‌متر را می‌توان بر روی یک‌یک صفحه عکس رادیولوژی برش داد که به‌راحتی بر روی زمین قابل‌استفاده است.

برای به دست آوردن دبی ابتدا باید سرعت آب اندازه‌گیری شود که از سرعت جسم شناور در آب استفاده می‌شود. سرعت رود تحت تأثیر شیب، ناهمواری بستر و شکل مقطع عرضی کانال رود است. یکی از فن‌های رایج برای تخمین غیرمستقیم دبی روش شیب_سطح مقطع مانینگ است. علت اینکه در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ای اغلب ازاین‌روش برای محاسبه سرعت جریان و حجم دبی استفاده می‌شود، اول این است که همه مکان‌ها یا مقاطع دارای ایستگاه آب‌سنجی نیستند و دوم اینکه اندازه‌گیری مستقیم دبی اوج رود در اغلب جریان‌های سیلابی امکان‌پذیر نبوده و محاسبه دبی جریان سیلاب‌های گذشته با استفاده ازاین‌روش امکان‌پذیر است.

معادله مانینگ برای محاسبه دبی به‌صورت زیر است:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$Q = \frac{A R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

V: سرعت جریان به متر در ثانیه(m/s)

Q: دبی به مترمکعب در ثانیه($m3/s$)

A: مساحت مقطع عرضی به مترمربع (m^2)

S: شیب‌بر حسب متر بر متر (m/m) شیب درواقع شیب‌خط انرژی است، باوجوداین، در عمل شیب انرژی موازی با شیب سطح آب و شیب بستر فرض می‌شود و شیب بستر رود اندازه‌گیری می‌شود،

R: شعاع هیدرولیک به متر (m) و n: ضریب زبری مانینگ که با استفاده از جداولی که در کتاب‌های هیدرولوژی موجود است، می‌توان مقدار آن را مشخص نمود.

۲-۴- طبقه‌بندی رودخانه بر اساس روش راسگن

دیوید راسگن در راستای شناخت رفتار رودخانه‌ها، با بررسی تعداد بی‌شماری از آبراهه‌های مختلف، شناخت مناسبی از انواع رودخانه‌ها به دست آورده و مراحل تعیین خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه را ارائه و تشریح نموده است. بر اساس روش راسگن، خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها در چهار سطح مختلف موردبررسی قرار می‌گیرد و به ترتیب از سطح یک که شناخت مشخصات کلی و بر مبنای بررسی سطحی است تا سطح چهار که ارزیابی بسیار دقیق و با جزییات کامل از ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه ارائه می‌دهد انجام می‌شود. درروش راسگن با تعیین نوع رودخانه بر اساس طبقه‌بندی انواع آن در هر سطح از ارزیابی، خصوصیات ریخت‌شناسی آن پیش‌بینی می‌گردد.

در سال ۱۹۹۶، رزگن با انتشار مقاله طبقه‌بندی رودخانه‌های طبیعی یک طبقه‌بندی سلسله مراتبی جدیدی را ارائه کرد. این طبقه‌بندی با توجه به این که مباحث مربوط به احیای رودخانه را در بر می‌گرفت، به سرعت در بین هیدرولوژیست‌ها، ژئومورفولوژگ‌ها و بیوژیست‌ها موردتوجه واقع شد. این مدل به‌صورت وسیع بر روی رودخانه‌های ایالات‌متحده آمریکا مورداستفاده قرار گرفته است.

طبقه‌بندی رزگن بر اساس چهار سطح صورت می‌گیرد:

سطح اول: ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی شامل توپوگرافی، لندفرم‌ها، مورفولوژی دره، الگو و پروفیل‌های رودخانه

سطح دوم: توصیف مورفولوژیکی بر اساس مطالعات میدانی تعیین‌کننده منابع اطلاعاتی بازه‌ها

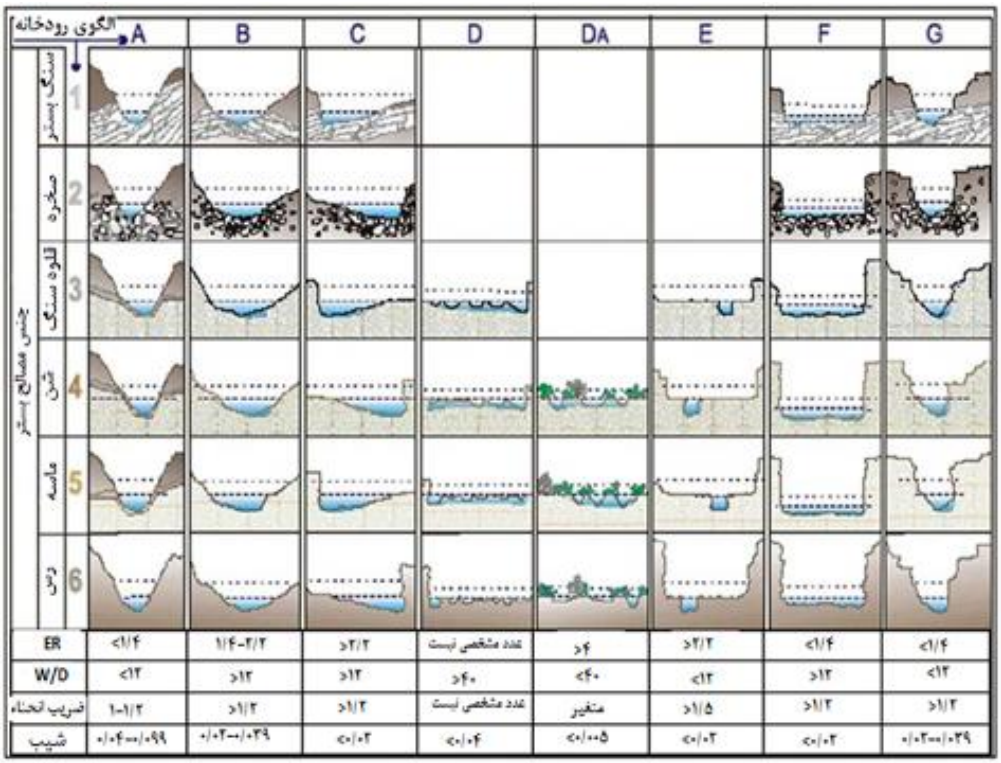
سطح سوم: حالت و وضع رودخانه در شرایط پایداری، واکنش و پتانسیل پاسخ

سطح چهارم: اعتبار سنجی اندازه‌گیری‌ها بررسی روابط بین فرآیندها (Shea et al., 2005).

در این پژوهش با توجه به هدف و داده‌های موجود، سطح ۱ و سطح۲ و سطح ۳ سیستم رزگن بررسی گردید. طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۱ راسگن: در سطح ۱ راسگن با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از

نیمرخ رودخانه، عوارض دره، شکل سطح مقطع و الگوی پلان طبقه‌بندی رودخانه‌ها انجام می‌گیرد. در این طبقه‌بندی الگوی پلان به بازه مستقیم، پیچان‌رودی با ضریب خمیدگی متفاوت، شریانی پایدار و ناپایدار طبقه‌بندی می‌شود. در این سطح نوع رودخانه از نوع A تا نوع G که همراه با خصوصیات کلی، شکل سطح مقطع و الگوی شکل سطح جریان است مشخص می‌گردد (شکل ۵).

طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۲ راسگن: دومین سطح از تحلیل ریخت‌شناسی رودخانه و خصوصیات رفتاری آن درروش راسگن، توصیف جزئی‌تر و دقیق‌تری از طبقه‌بندی رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در این سطح از تقسیم‌بندی راسگن، پارامترهای بیشتری شامل شیب رودخانه، انواع مصالح بستر رودخانه (از قطعات سنگی تا سیلت)، شاخص گود افتادگی (ER)، نسبت عرض به عمق در حالت دبی لبالبی و ضریب خمیدگی استفاده می‌شود (شکل۵).



شکل ۵- طبقه‌بندی ژئومورفیکی مجرای رودخانه بر اساس طبقه‌بندی سطح ۲ راسگن

Fig.5. Geomorphical classification of river channel based on Rasgen level 2 classification

طبقه‌بندی رودخانه‌ها در سطح ۳ راسگن: در طبقه‌بندی سطح ۳، مفهوم پایداری و پتانسیل رودخانه موردتوجه قرارداد. پایداری یک آبراهه ازنظر مورفولوژی، توانایی آبراهه در حفظ شرایط موجود و باقی ماندن در آن وضعیت در طی زمان ازجمله حفظ ابعاد، الگو و مقاطع آن است، به‌نحوی‌که رودخانه نه رسوب‌گذار و نه در حالت کف کنی باشد. پس از طبقه‌بندی در سطح یک از A تا G بسته به نوع مواد رسوبی بستر، بار دیگر به بخش‌های ریزتری شامل بسترهای رسی–سیلتی، بسترهای ماسه‌ای، بسترهای شنی، بسترهای قلوه‌سنگی، بسترهای سنگی و بسترهای قطعه‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به جدول ۲، سه بخش رودخانه شامل بخش بالایی، بخش پایینی کرانه رودخانه و کف و بستر رودخانه بر اساس ۴۲ پارامتر و شاخص‌های آن همراه با پیمایش‌های میدانی در بازه‌های موردمطالعه ارزیابی‌شده و درنهایت شرایط جریان در چهار حالت عالی، خوب، متوسط و ضعیف مشخص می‌گردد.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی شرایط پایداری رودخانه در سطح سوم رزگن (Rosgen, 1996)

Table 2- Criteria for evaluating the stability conditions of the river in the third level of Rosgen (Rosgen, 1996)

		رده Class	عالی Fine	امتیاز Score	خوب Good	امتیاز Score	
بخش بالایی کرانه رودخانه Upper reach of the river bank	1	شیب لند فرم Landform Slope	گرادیان شیب کمتر از ۳۰ درصد Slope Gradient less than30%	2	گرادیان شیب ۴۰-۳۰ درصد Slope gradient of 30 to 40%	4	
	2	حرکات توده‌ای Mass movements	بدون شواهد Without evidence	3	نادر Rare	6	
	3	پتانسیل ریزش سنگ Rockfall potential	اساساً وجود ندارد Essentially dosent not exist	4	ریزش کم با اندازه‌های کوچک Low rockfall	4	
	4	پوشش گیاهی سواحل Coastal vegetation cover	تراکم بوته ۹۰ درصد و شدید 90% shrub density and Severe	5	تراکم بوته ۹۰-۷۰ درصد و نسبتاً شدید 70-90% shrub density and relatively Severe	6	
بخش پایینی کرانه رودخانه Lowe reach of the river bank	5	ظرفیت کانال Channel capacity	زیاد، جریان پیک، نسبت W/D کمتر از ۷ High, peak flow, W/D ratio less than7	1	مناسب، سرریز نادر، نسبت W/D ۱۵-۸ Suitable, Rare overflow, W/D ratio 8-15	2	
	6	اندازه سنگ ساحل Beach rock size	تخته‌سنگ‌های بزرگ زاویه‌ای ۶۵ درصد و بیشتر Large boulders with an angle of 65% or higher	2	تخته‌سنگ کوچک ۶۵-۴۰ درصد، اندازه ۱۲-۶ اینچ small boulders 40-60% size: 6-12 inch	4	
	7	موانع جریان	سنگ‌ها	2	در حدی که باعث جریان سایشی	4	

	شود To the extent that it causes abrasive flow		Rocks	Flow obstacles		
6	در حد خمیدگی، ۱۲ اینچ At the level of curvature, 12 inches	4	عدم برش یا خیلی کم، کمتر از ۶ اینچ No or minimal erosion, less than 6 inches	برش Cut	8	
8	کم، همراه باکمی شن درشت Low, with some coarse sand	4	کم یا بدون پوینت بار Low or no point bars	رسوب‌گذاری Sedimentation	9	
2	گوشه‌های گرد و لبه‌دار Rounded corners and edged	1	لبه تیز و گوشه‌دار Sharp edges and angular corners	زاویه سنگ Rock angle	10	
2	سطوح کدر بیشتر، سطوح روشن در حدود ۳۵ درصد Dull surfaces predominant, bright surfaces around 35%	1	سطوح کدر، تاریک Dull, dark surfaces	روشنایی Brightness	11	
4	متوسط باکمی تداخل Moderate with minimal interference	2	کم، اندازه‌های گوناگون Low, various sizes	انسجام ذرات Partical cohesion	12	بستر رودخانه River bed
8	تغییر اندازه متوسط، ۸۰–۵۰ درصد بستر پایدار Moderate size change, 50-80% bed stability	4	بدون تغییر اندازه مشهود، ۱۰۰–۸۰ درصد بستر پایدار No noticeable size change, 80-100% bed stability	ابعاد اندازه بستر Bed material dimensions	13	
12	۳۰–۵ درصد کف تحت تأثیر فرسایش 5-30% of the bed affected by erosion	6	کمتر از ۵۰ درصد کف تحت تأثیر سایش Less than 50% of the bed affected by abrasion	فرسایش و رسوب Erosion & Sefimentation	14	
2	معمول، اشکال جلبک Common, algae formations	1	فراوان، خزه Abundant, moss	پوشش گیاهی آبی Aquatic vegetation cover	15	
امتیاز Score	**ضعیف** **Weak**	**امتیاز** **Score**	**متوسط** **Moderate**	**رده** **Class**		
8	گرادیان شیب بیشتر از ۶۵ درصد Slope gradient greater than 65%	6	گرادیان شیب ۶۰–۴۰ درصد Slope gradient 40-60%	شیب لند فرم Landform Slope	1	
12	مکرر، باعث رسوب و خطر به‌طور منظم Frequent, causing sedimentation and risk regularly	9	مکرر یا بزرگ، باعث رسوب به‌طور منظم Frequent or large, regularly causing sediment deposition	حرکات توده‌ای Mass movements	2	بخش بالایی کرانه رودخانه Upper reach of the river bank
8	متوسط تا سنگین، عمدتاً اندازه بزرگ‌تر Moderate to heavy, mainly larger sizes	6	متوسط تا سنگین، عمدتاً در اندازه‌های بزرگ Moderate to heavy, mainly in large sizes	پتانسیل ریزش سنگ Rockfall potential	3	
12	تراکم بوته کمتر از ۵۰ درصد و توان رشد ضعیف Shrub density less than 50%, poor growth potential	9	تراکم بوته ۷۰–۵۰ درصد با توان رشد کم Shrub density 50-70%, low growth potential	پوشش گیاهی سواحل Coastal vegetation cover	4	

	5	ظرفیت کانال Channel capacity	جریان پیک نادر، نسبت W/D۱۵–۲۵ اینچ Rare peak flow, W/D ratio 15-25 inches	3	نامناسب، سرریز معمول، نسبت W/D بیشتر از ۲۵ درصد Inappropriate, common overflow, W/D ratio greater than 25%	4
بخش پایینی کرانه رودخانه Lowe reach of the river bank	6	اندازه سنگ ساحل Beach rock size	قلوه‌سنگ ۴۰–۲۰ درصد، اندازه ۶–۳ اینچ Cobble 20-40%, size 3-6 inches	6	شن و سنگ بیشتر از ۲۰ درصد، اندازه ۳–۱ اینچ Sand and gravel more than 20%, size 1-3 inches	8
	7	موانع جریان Flow obstacles	متوسط حرکت با جریان بالا Moderate movement with high flow	6	کم، پر شدن رسوب گیرها Low, sediment trap infilling	8
	8	برش Cut	قابل‌توجه، برش ساحل اولیه ۲۴–۱۲ اینچ Significant, initial beach erosion 12-24 inches	12	تقریباً مداوم، بزرگ‌تر از ۲۴ اینچ Almost continuous, larger than 24 inches	16
	9	رسوب‌گذاری Sedimentation	متوسط، شن‌های جدید و ماسه دربار رسوب Medium, new sands and sandbars sedimentation	12	گسترده، دانه‌ریز Extensive, fine-grained	16
	10	زاویه سنگ Rock angle	لبه‌ها و گوشه‌ها به‌خوبی گرد شده Edges and corners well-rounded	3	در همه ابعاد به‌خوبی گرد شد Well-rounded in all sizes	4
	11	روشنایی Brightness	ترکیب کدر و روشن‌بین ۶۵–۳۵ درصد Dull and bright composition 35-65	3	عمدتاً روشن بیشتر از ۶۵ درصد Mainly bright, more than 65%	4
	12	انسجام ذرات Partical cohesion	جور شدگی کم، بدون تداخل Low sorting, no interference	6	بدون جور شدگی مشهود، حرکت آسان No noticeable sorting, easy movement	8
بستر رودخانه River bed	13	ابعاد اندازه بستر Bed material dimensions	تغییر متوسط در اندازه، پایداری بستر ۲۰–۵۰ درصد Moderate size variation, bed stability 20-50%	12	تغییر زیاد، پایداری بستر کمتر از ۲۰ درصد Significant size variation, bed stability less than 20%	16
	14	فرسایش و رسوب Erosion & Sefimentation	۳۰–۵۰ درصد کف تحت تأثیر سایش، پرشدگی حوضچه‌ها 30-50% of the bed affected by abrasion, pool infilling	18	بیشتر از ۵۰ درصد کف به‌طور منظم تحت تأثیر سایش قرار دارد More than 50% of the bed regularly affected by abrasion	24
	15	پوشش گیاهی آبی Aquatic vegetation cover	نقطه‌ای، در مرداب‌ها، جلبک فصلی Point bars, in swamps, seasonal algae	3	کمیاب یا وجود ندارد Rare or nonexistent	4

۳- نتایج و بحث

پس از بازه بندی مسیر رودخانه با تکیه‌بر بازدیدهای میدانی و سپس آنالیز داده‌های خام و محاسبات کلی،۶ مقطع عرضی از روستای گاولان تا روستای لقان به طول ۵ کیلومتر انتخاب شد. در تمام بازه‌های مسیر موردمطالعه استخراج و کلیه پارامترهای موردنیاز جهت طبقه‌بندی و شناسایی ژئومتریک مجرا در آن بازه‌ها محاسبه گردید. ابتدا کلیه پارامترهای نسبت عرض به عمق، مساحت مقطع عرض در دبی لبالبی، عرض دبی لبالبی، حداکثر عمق، عرض دشت سیلابی و شیب سطح آب، ضریب خمیدگی برای همه بازه‌ها و مقاطع عرضی محاسبه گردیدند و سپس پارامترهای گود افتادگی بستر، نسبت عرض به عمق، شیب سطح آب، اندازه متوسط مواد مجرا برای طبقه‌بندی سطح دو راسگن مورداستفاده قرار گرفتند (جدول۳).

جدول۳- پارامترهای مؤثر در مدل راسگن در سطح ۱ و ۲ رودخانه دره رود

Table 3- Effective Parameters in the Rosgen Model at Levels 1 and 2 for the Darreh-Roud River

جنس مصالح بستر **Bed Material Composition**	شیب **Slope (%)**	ضریب خمیدگی **Curvature Coefficient**	عرض مقطع پر بر عمق **Cross-Sectional Width to Depth Ratio (m)**	عرض دشت سیلابی بر عرض دبی لبالبی **Floodplain Width to Bankfull Discharge Width Ratio (m)**	میانگین عمق **Average Depth (m)**	عرض دشت سیلابی **Floodplain Width (m)**	عرض دبی لبالبی **Bankfull Discharge Width (m)**	مقطع **Cross-Section**
شنی Sandy	0.022	1.02	8	16.58	0.987	131	7.90	1
شنی Sandy	0.021	2.02	19.32	13.62	0.414	109	8	2
شنی Sandy	0.033	1.01	34.85	15.45	0.245	132	8.54	3
شنی Sandy	0.026	2.85	30.37	15.53	0.428	202	13	4
شنی Sandy	0.025	1.17	11.04	24.42	0.563	152	6.22	5
شنی Sandy	0.025	1.16	18.81	13.44	0.431	109	8.11	6

طبق مطالعات میدانی به‌عمل‌آمده، رودخانه دره رود ازلحاظ طبقه‌بندی بر اساس جنس رسوبات بستر (سنگی و آبرفتی) در گروه آبرفتی قرار دارد. در فصل تابستان به دلیل کاهش سطح آب، رسوبات ریزدانه بر روی رسوبات درشت‌دانه قرار می‌گیرند، درنتیجه ذرات ماسه بین ذرات شنی گیرکرده و موجب تحکیم بستر می‌گردند، این رسوبات از نوع شنی- ماسه‌ای می‌باشند، ولی در زمستان به دلیل پرآبی، ذرات ریز به همراه جریان تند از جا کنده‌شده و ذرات درشت در کف بستر باقی می‌مانند؛ بنابراین نوع رسوبات موجود

در کف رودخانه دره رود از نوع شنی و قلوه‌سنگی می‌باشند. برای به دست آوردن اندازه متوسط مواد کانال، در مسیر رودخانه در فواصل مختلف تعداد ۱۶ نمونه برداشت شد و در آزمایشگاه دانه سنجی گردیدند (جدول۴). طبق داده‌های به‌دست‌آمده بیشترین درصد ذرات در طول مسیر رودخانه را شن متوسط به میزان ۲۶/۶ درصد و قلوه‌سنگ به میزان ۷/ ۱۴ درصد تشکیل می‌دهند که برای طبقه‌بندی راسگن ملاک ارزیابی قرار گرفتند، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جداول مذکور، کل بازه‌های مسیر موردمطالعه در گروه B و A قرار گرفتند. شاخصی گود افتادگی نشان‌دهنده وضعیت شکل مقطع از جهت فرورفتگی عمقی بستر (کف کنی) و یا گسترش در دشت سیلابی هست و این شاخص به‌صورت نسبت عرض پهنه سیلاب در ارتفاعی معادل عمق دو برابر حداکثر عمق دبی لبالبی به عرض سطح آب متناظر دبی لبالبی تعریف می‌شود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). این شاخص در B بین ۱/۴ تا ۲/۲، در B و E بزرگ‌تر از ۲/۲ بوده و در D عدد مشخصی در نظر گرفته نشده است. نسبت عرض به عمق عبارت است از نسبت عرض سطح آب در دبی لبالبی به متوسط عمق آب متناظر در دبی لبالبی، این شاخص معرف شکل رودخانه است. دامنه تغییرات نسبت عرض به عمق در E کمتر از ۱۲، در D بزرگ‌تر از ۴۰ و در نوع B و B بزرگ‌تر از ۱۲ است. اندازه شاخص ضریب انحنا برای رودخانه‌های مستقیم کمتر از ۱/۰۵، برای رودخانه‌های سینوسی بین ۱/۰۵ تا ۱/۵ و برای رودخانه‌های پیچان‌رودی بیشتر از ۱/۵ است.

جدول ۴- نتایج دانه سنجی رسوبات بستر رودخانه دره رود

Table 4- Results of Particle Size Analysis of the Bed Sediments of the Darreh-Roud River

درصد تجمعی **Cumulative Percentage**	درصد ذرات **Particle Percentage**	قطر ذرات (میلی‌متر) **Particle Diameter(mm)**	نام ذرات **Particle Name**
0.5	0.5	0.00304	رس Clay
2.4	1.9	0.0207	سیلت Silt
5.6	3.2	0.128	ماسه خیلی ریز Very Fine Sand
14.2	8.6	0.306	ماسه ریز Fine Sand
27.8	13.6	0.698	ماسه درشت Coarse Sand
49.7	21.9	3.1	گراول بسیار ریز Very Fine Gravel

گراول متوسط Medium Gravel	14	26.6	67.3

برای مشخص نمودن نوع کانال در سطح ۱ راسگن، پس از به دست آوردن شیب رودخانه دره رود در محدوده موردمطالعه، با توجه به شیب‌های به‌دست‌آمده از مقاطع مختلف و مشاهدات میدانی از سطح مقطع و پلان رودخانه، و با ملاحظه طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس شیب‌های مختلف طبقه‌بندی اولیه و سطح ۱ راسگن انجام و مقاطع موردنظر در گروه B تا A این طبقه‌بندی قرارگرفته‌اند که در سه مقطع الگوی رودخانه از نوع B و ۳ مقطع از نوع A می‌باشند (جدول۵ و ۶).

جدول۵- نتایج طبقه‌بندی رودخانه دره رود در سطح ۱ راسگن

Table 5- The results of the classification of Dareh Rood river at level 1 of Rasgen

نوع رودخانه River type	پلان Plan	شیب Slope	عمق (متر) Depth(m)	عرض Width(m)	بازه Reach
A4	سینوسی Sinusoidal	0.022	0.987	8.90	1
B4	پیچان‌رودی Meandering	0.021	0.414	11	2
A4	سینوسی Sinusoidal	0.023	0.245	9.61	3
A4	پیچان‌رودی Meandering	0.026	0.428	8	4
B4	سینوسی Sinusoidal	0.025	0.563	9.22	5
B4	سینوسی Sinusoidal	0.025	0.431	9.11	6

جدول۶- تعیین نوع الگوی رودخانه دره رود در سطح ۲ راسگن

Table 6- Determining the type of pattern of Dareh Roud river in level 2 of Rasgen

مقاطع Cross-section	1	2	3	4	5	6
الگوی جریان Flow pattern	B4	A4	B4	B4	A4	A4

بعد از طبقه‌بندی رودخانه بر طبق روش راسگن، شرایط رودخانه دره رود و بازه‌های آن، طبق جدول پیشنهادی راسگن (جدول ۷)، برحسب حساسیت نسبت به آشفتگی[1]، پتانسیل احیاء و ساماندهی رودخانه، برآورد رسوبی، اثر کنترل پوشش گیاهی و پتانسیل فرسایش‌پذیری کرانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این اطلاعات تفسیری که بر اساس نوع رودخانه استوار است برای مدیریت حوضه آبخیز و حریم رودخانه (که شامل فعالیت‌هایی چون کاربری اراضی حاشیه، برداشت شن و ماسه است) به کار می‌رود و نتایج به‌دست‌آمده از جدول پیشنهادی راسگن برای رودخانه دره رود در جدول ۷ آمده است.

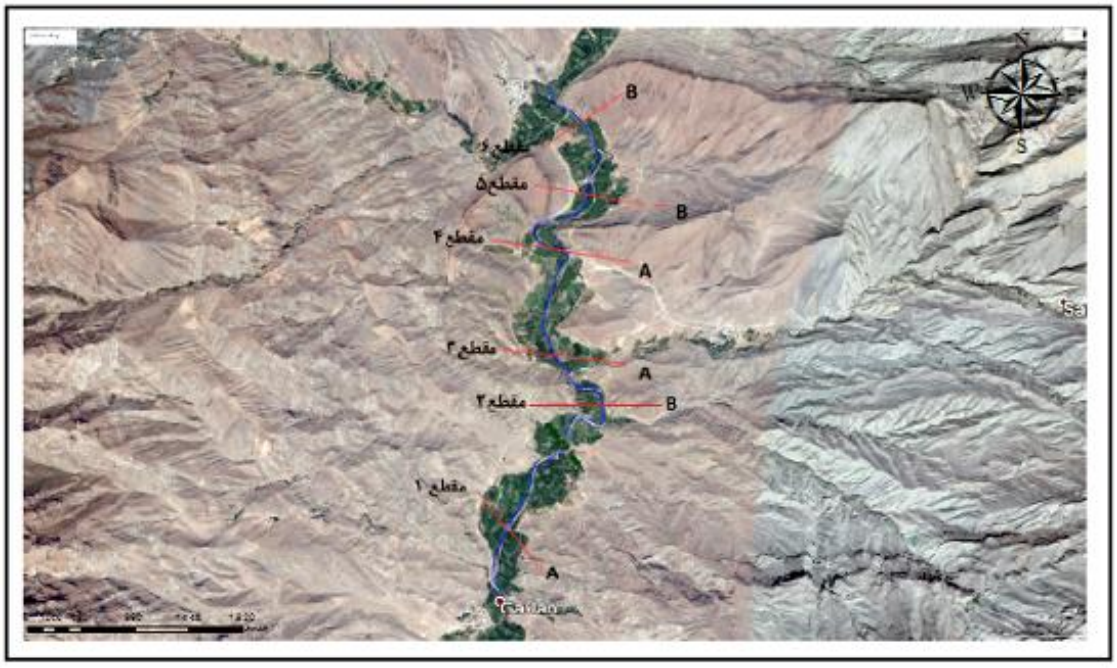
جدول۷- ارزیابی الگوهای رودخانه دره رود و تفاسیر مدیریتی آن

Table 7- Assessment of Darreh-Roud river Channel Patterns and Their Management Interpretations

تأثیر کنترلی پوشش گیاهی **Vegetation Cover Control Impact**	پتانسیل فرسایش کناره‌ها **Erosion Potential Banks**	تغذیه رسوبی **Sediment Nourishment**	پتانسیل احیاء **Restoration Potential**	درجه حساسیت به آشفتگی **Degree of Sensitivity to Disturbance**	الگوی جریان **Flow Pattern**
متوسط Moderate	کم Low	متوسط Moderate	عالی Fine	متوسط Moderate	A4
متوسط Moderate	زیاد High	خیلی زیاد Very high	نسبتاً خوب Relatively good	خیلی زیاد Very high	B4

در ادامه با توجه به ویژگی‌های هندسی مقاطع عرضی و همچنین کار آیی مدل راسگن ضمن تشریح مجاری مشخص‌شده در آن، رودخانه دره رود به‌صورت بازه‌ای در ارتباط با مدل راسگن مورد بررسی، شناسایی و طبقه‌بندی قرارگرفته‌اند. بر پایه طبقه‌بندی راسگن مقاطع رودخانه دره رود از نوع B و A مشخص گردید که در ادامه تشریح شده است (شکل۶).

[1] آشفتگی ناشی از افزایش حجم، زمان جریان و یا افزایش رسوب



شکل۶- طبقه‌بندی مقاطع و بازه‌های محدوده موردمطالعه بر اساس روش راسگن

Fig.6. Classification of Cross-Sections and Reaches of the Study Area Based on the Rosgen Method

تیپ A: شیب زیاد، بستر گود افتاده، آبشارهای کوتاه، حوضچه‌ها و پله‌های متعدد، جریانات واریزهای همراه با خاک‌های رسوبی مجرای پایدار در حالت کف و کف رسوبی یا فرسایش پذیر و صلب، بستر گودافتاده هستند. مقاطع ۱ و۲ و۳ در بالادست مسیر موردمطالعه در این نوع از طبقه‌بندی جای گرفته‌اند. الگوی رودخانه در این بازه از نوع پیچان می‌باشد.

تیپ B: عمدتاً دارای نسبت ER متوسط و شیبی کمتر از تیپ A (۴ درصد) هستند. بستر این مجاری ترکیبی از تند آب‌ها یا حوضچه‌های فرسایش نامنظم است. بستر و کناره‌ها نسبتاً پایدارند و سیستم حمل رسوب محدودی دارند. چهره غالب نواحی دارای این تیپ با ناهمواری متوسط و دره‌های باریک با شیب تدریجی است. مقطع ۲ در بالادست و مقطع ۵ و ۶ در پایین‌دست رودخانه در این گروه قرار دارند.

در سطح ۳ از مدل راسگن، وضعیت موجود یا حالت جریان و آبراهه از جهت پایداری، قابلیت به‌روز رفتار عکس‌العمل رودخانه توصیف می‌گردد. در این سطح عوامل میدانی بیشتری از رودخانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این عوامل بر روی وضعیت جریان مؤثر خواهد بود. به‌عنوان‌مثال پوشش گیاهی، پایداری آبراهه،

فرسایش کناری و وجود تلاطم و آشفتگی جریان موردتوجه قرار می‌گیرد. معیارهای ارائه‌شده در سطح دو ارزیابی مورفولوژی، درواقع قالب فیزیکی آبراهه را معرفی می‌کند که نمود کاملی از وضعیت موجود و روند مورفولوژی آن است. عوامل متعددی در رابطه با مسائل هیدرولوژی، زیستی، اکولوژی و انسانی بر روی وضعیت موجود مورفولوژی رودخانه تأثیرگذار است. سطح سه تأثیر جمعی عوامل فوق را بر قالب مورفولوژی مورد تحلیل قرار می‌دهد.

در بازه اول که از گروه تیپی A۴ است، در کران بالا شیب لند فرم کمتر از ۳۰ درصد، حرکات توده‌ای بدون شواهد و پتانسیل ریزش سنگ اساساً وجود ندارد و فقط کم بودن تراکم پوشش گیاهی عاملی برای ناپایداری محسوب می‌شود. درک ران پایین پارامترهایی که باعث ناپایداری کانال است، نسبت به سایر پارامترها نقش بیشتری دارد. در بستر کانال زاویه سنگ و ابعاد اندازه بستر و پوشش گیاهی بیشترین نقش را ایفا می‌کنند (جدول ۸).

جدول ۸- مجموع امتیازهای اختصاص‌یافته در روش رتبه‌بندی پایداری کانال رودخانه در بازه‌های موردمطالعه

Table 8- The total points assigned in the method of ranking the stability of the river channel in the studied intervals.

بازه **Reach**	A(1)	B(2)	A (3)	A (4)	B (5)	B(6)
جمع کل امتیاز **Total Scorce**	87	91	71	81	85	111

با توجه به جدول شماره (۹)، از مجموع امتیازهای به‌دست‌آمده در سطح سوم راسگن، در منطقه موردمطالعه، بازه۲ و ۵ و ۶ هر سه از گروه تیپ B۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و۸۵ و ۱۱۱ و گروه تیپ A۴ با امتیاز ۸۷ در وضیعت ضعیف ناپایدار قرار می‌گیرند. بازه۱ و۳ از گروه تیپ A۴، به ترتیب با مجموع امتیازهای ۹۱ و ۸۷ در وضعیت خوب و پایدار قرارگرفته دارند.

جدول ۹- رتبه‌بندی پایداری کانال رودخانه دره رود در بازه‌های موردمطالعه

Table 9- Stability ranking of the Dareh Roud river channel in the studied intervals

بازه Reach	نوع رودخانه River type	مجموع امتیاز Total Scorce	وضعیت Condition
1	A4	87	خوب (پایدار) Good(Stable)
2	B4	91	ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)
3	A4	81	خوب (پایدار) Good(Stable)
4	A4	87	ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)
5	B4	85	ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)
6	B4	111	ضعیف (ناپایدار) Weak (Unsatable)

۴- نتیجه‌گیری

بر مبنای شاخص‌های مورفولوژیکی، جنس رسوبات و شرایط جریان در سطح ۱، ۲ و ۳ راسگن دو تیپ مجرا شامل A و B در محدوده موردمطالعه شناخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. مجراهای موردمطالعه دارای مقادیر مختلف از منظر پارامترهای مؤثر در مدل شامل پارامترهای نسبت گود افتادگی بستر، ضریب خمیدگی، نسبت عرض به عمق و اندازه مواد مجرا و غیره است. بررسی مورفولوژیکی مجراهای نوع A در ارتباط با ارزیابی میزان مطابقت و کار آیی مدل راسگن نشان داد مورفولوژی غالب آن‌ها متشکل از دره‌های باریک و با پهنای نسبتاً کم و الگوی سینوسی با شیب متوسط و کرانه‌های نسبتاً پایدار است. این فرایند و فرم‌ها در سطح بازه‌های از این نوع نشان داد که مدل راسگن و طبقه‌بندی بر اساس آن باوجود تفاوت‌های جزئی در پارامتر شیب، طبقه‌بندی مناسبی است.

کانال‌های نوع B، الگوی جریانی بینابینی دارند که شواهد مورفولوژیک غالب آن همچون بسترهای پیچان‌رودی با سینوسیتی بالا، دره‌های همراه با دشت سیلابی و نیز سطوح پوینت باری در دامنه شیب کمتر از سایر بازه‌ها، تائید کننده کار آیی مدل راسگن در این بازه‌ها است. ناپایداری زیاد بستر رودخانه در

محدوده بازه‌های ۶،۵،۴،۲، تهدیدی برای زمین‌های زراعی و ساخت‌وسازهای اطراف است. با توجه به این‌که رودخانه‌های شریانی وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر رسوبی و عرض رودخانه‌ها پیوسته در حال تغییر و تحول است، لازم است اقدامات مدیریتی و ساماندهی در این بخش با توجه به متغیرهای مورفولوژیکی و شرایط جریان انجام گیرد. نتایج ارزیابی رودخانه دره رود بر اساس سیستم طبقه‌بندی راسگن در سطح ۱ و ۲ و ۳ نشان داد الگوهای مجرای موجود در رودخانه دره رود و به‌تبع آن پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و تفکیک مجراها با سیستم راسگن مطابقت دارند. با این اوصاف تفاوت‌هایی در مقادیر و نحوه پارامترها وجود دارد که ناشی از شرایط خاصی عوامل تأثیرگذار به‌صورت محلی هستند. با تمامی این موارد سیستم راسگن در ارتباط با شناخت مورفولوژیک رودخانه دره رود و دستگاه‌های مشابه پاسخگو است که از دلایل این امر می‌توان به شرایط اقلیمی پویای منطقه و داخل کردن پارامترهای تأثیرگذار متعدد در مدل راسگن در بررسی رودخانه‌ها اشاره کرد؛ بنابراین این مدل توانایی پیش‌بینی کمی ژئومورفیکی رودخانه دره رود و رودخانه‌های با شرایط مشابه را دارد. این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از مجرای رودخانه، می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی، بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورداستفاده قرار گیرد. درواقع طبقه‌بندی رودخانه دره رود در محدوده موردمطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی سطح یک، دو و سه راسگن، یک ارزیابی منطقی است که اطلاعات ریزتر و دقیق‌تری را برای کاربردهای مدیریتی فراهم می‌کند. در پژوهشی که حسین زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2022) به بررسی پتانسیل فرسایش کناره پایداری مجرا در رودخانه حاجی عرب بویین‌زهرا- قزوین با استفاده از مدل راسگن پرداختند دریافتند که عامل فرسایش کناره و پوشش گیاهی ریپارین مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌ای رودخانه حاجی‌عرب تبیین شدند. روستایی و همکاران (Roostaei et al., 2012)، در ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه‌بندی راسگن (حد فاصل ایستگاه لیقوان و هروی) داده‌های مقاطع عرضی رودخانه و پارامترهای مورفولوژیکی را برای هر بازه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده و نتایج نشان داد رودخانه از نوع سینوسی بوده و بر اساس طبقه‌بندی راسگن بازه‌های مختلف در الگوهای مختلف قرارگرفته است و درنهایت این نوع طبقه‌بندی مورفولوژیکی از رودخانه می‌تواند در توسعه طرح‌های مهندسی و بحث‌های مدیریتی و احیای رودخانه مورداستفاده قرار گیرد. همچنین در مقایسه با

طبقه‌بندی رود در حوضه آبریز لاویج بر اساس راسگن، اسماعیلی و حسین زاده (Esmeili & Hosseinzadeh, 2015) که نشان داده‌اند وضعیت تکتونیکی و اقلیمی منطقه بر طبقه‌بندی تأثیر می‌گذارد؛ به‌طوری‌که نیمی از مقاطع موردمطالعه در هیچ گروهی از طبقه‌بندی انواع رود راسگن قرار نگرفتند. ازاین‌رو روش مذکور در منطقه موردمطالعه کار آیی لازم را ندارد و قادر به تحلیل فرایندهای رودخانه‌ای نخواهد بود.

References

Abedini, M. (2018). Quantitative Analysis of Hydro-Geomorphology Problems of the Likvan Chay Basin with Emphasis to Soil Erosion and Sedimentation (South - East of Ardebil). *Geography and Development. 7(*15), 71-88. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1190

Abedini, M. (2021). Uantitative Research on Gully Erosion and Sedimentation using Rain Erosion Indices, Morphometry and Linear Regression in the Harzand Chai Watershed. *Degradation and Rehabilitation of Natural Lands, 2*(3), 100-111. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.27174425.1400.2.3.12.2

Abedini, M., & Tulabi, S. (2017). Modeling of Soil Erosion and Sediment Production with Three Models of WEPP, EPM and Fournier in GIS Case Study: Sulachai Watershed-Ardabil. *Geographical Research, 32*(2), 93-105. [In Persian] http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.geores.32.2.93

Abedini, M., & Yaqub Nejad Asl, N. (2016). Soil Erosion Risk Assessment and Zoning in Balikhlou River Watershed (Yamci Dam) Using Fuzzy Model. *Quantitative Geomorphology Research, 6*(1), 137-155. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.9.6

Batalla, R. J., Iroumé, A., Hernández, M., Llena, M., Mazzorana, B., & Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin. *Geomorphology*, *303*, 322-337. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.006

Esmeili, R., & Hosseinzadeh, M.M. (2015). Comparison of Rosegen and Steel Road methods in the classification of mountain rivers, a case study of Northern Alborz, Lavij watershed.

Researches in Earth Sciences, 6(21), 64-79. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088299.1394.6.1.5.9

Etminan, Z., Rostami, M., & Nosrati, K. (2020). Evaluation of River Bank Stability against Erosion and Management Practices of Taleghan River Bank Using LIN Method. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *7*(1), 111-119. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2020.291934.1236

Hosseinzadeh, M. M., Shayan, S., & Najafzadeh, F. (2022). Bank Erosion Potential and Channel Instability in Haji Arab River Located in Buin Zahra, Qazvin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(1), 39-56. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.71397.1087

Kang, R. S. (2007). *Effects of urbanization on channel morphology of three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma*. Ph.D thesis, Oklahoma State University.

Khaleghi, S., Roustaei, S., Khorshiddoost, A. M., Rezaei Moghadam, M. H., & Ghorbani, M.A. (2016). Investigating the role of humans in morphological changes in the Lighvan Chay River channel. *Geographical Space*, *16*(55), 135-111. [In Persian] http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-944-fa.html

Kwan, H., & Swanson, S. (2014). Prediction of annual streambank erosion for Sequoia National Forest, California. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *50*(6), 1439-1447. https://doi.org/10.1111/jawr.12200

Rezaei Moghaddam, M. H., Sarvati, M. R., & Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters. *Geography and Environmental Planning*, *23*(2), 1-14. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1391.23.2.1.1

Rezaei Moghaddam, M. H., Sarvati, M. R., & Asghari Sareskanrood, S. (2018). Analysis of the Stability of River Channels Using Methods of Bed Shear Stress and the Relative Strength Index (Ranging Between 30 km Miyaneh City to the Zanjan Political Boundaries). *Quantitative Geomorphological Research*, *1*(1), 33-46. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1391.1.1.3.5

Roostaei, S., Khurshid Dost, A. M., & Khaleghi, S. (2012). Evaluation of the morphology of Liqvan river channel by Rasgen classification method. *Quantitative geomorphological researches*, *4*(4), 1-16. [in Persian]https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1392.1.4.1.3

Rosgen, D.L. (1996). *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology.

Sass, C. K., & Keane, T. D. (2012). Application of Rosgen's BANCS model for NE Kansas and the development of Predictive Streambank Erosion Curves 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *48*(4), 774-787. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2012.00644.x

Shea, C. C., Starr, R. R., McCandless, T. L., Eng, C., Assessment, S. H., & Parks, W. (2005). Upper Watts Branch Stream Restoration, 10 Percent Preliminary Concepts. *Stream Habitat Assessment and Restoration Program, US Fish and Wildlife Service, Chesapeake Bay Field Office, Annapolis, Maryland, USA*.

https://www.nab.usace.army.mil/Portals/63/Appendix%20C2_FBRSA%20Rapid-Assessment-Methodology_1.pdf

Wijesekara, G. N., Gupta, A., Valeo, C., Hasbani, J. G., & Marceau, D. J. (2010). Impact of land-use changes on the hydrological processes in the Elbow river watershed in southern Alberta. In *Processing of the 5th International Congress on Environmental Modelling and Software, Ottawa, Canada*. https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2010/all/516/

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.129-149 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.84546.1415 Open access

Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan township)

Zahra Kharadmehr[a], Sara Farazmand[b*], Saheb Khordehbin[c]

[a] *Master& Degree in Rangeland and Watershed Management, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Khatam Al Anbia Behbehan University of Technology, Behbehan, Iran.*
[b] *Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbehan Khatam Alanbia University of Technology, Behbehan, Iran.*
[c] *PhD in Soil Science, Khatam Al Anbia University of Technology, Behbahan, Iran.*

Received: 20 September 2023 ***Revised: 8 November 2023*** ***Accepted: 11 December 2023***

Abstract

Carbon dioxide is one of the most important gases in the atmosphere contributing to global warming. However, the impact of restoration efforts on carbon emissions and carbon sequestration has received little investigation in many regions of the world. In this context, the present study was conducted in the mountainous area of Zeidon, Behbahan township, to examine the effects of restoration measures on soil carbon emissions.

To achieve this goal, three specific zones were selected: a control area (without rehabilitation), an area with shrub planting, and a contour furrow area. In each of these zones, four 100-meter transects were established. Along each transect, carbon emission measurements were taken from four designated plots using alkaline traps and the closed chamber method. Measurements were conducted in the summer, autumn, and winter seasons to assess seasonal variations in carbon emissions.

The findings revealed that carbon emissions from the untreated pasture were significantly higher than those from the shrub planting and contour furrow treatments. The control treatment exhibited the highest carbon emission rate of 1.15 grams per square meter per day, while the shrub planting treatment showed the lowest rate of 0.42 grams per square meter per day. No significant difference in carbon emissions was observed between the shrub planting and contour furrow treatments.

Seasonal analysis showed that carbon emissions were higher in summer compared to autumn and winter, with an average of 0.9 grams per square meter per day in summer and 0.55 grams per square meter per day in winter. In the control treatment, no significant seasonal variation in carbon emissions was detected. However, in the shrub planting treatment, carbon emissions exhibited a significant difference between summer and autumn compared to winter. Similarly, in the contour furrow treatment, emissions were significantly higher in summer than in autumn and winter.

The study also identified a significant positive relationship between temperature and carbon emissions in the shrub planting and contour furrow treatments, where an increase in temperature led to an increase in carbon emissions. However, no significant relationship was found between humidity and carbon emissions.

Overall, the results suggest that restoration practices such as shrub planting and contour furrowing can effectively reduce soil carbon emissions, thereby supporting efforts to mitigate atmospheric carbon dioxide levels and contributing to environmental management strategies.

Keywords: Soil Carbon Emissions, Restoration Measures, Contour Furrow, Shrub Planting, Seasonal Variation, Behbahan City.

[*]. Corresponding author: Sara Farazmand Email:farazmand@bkatu.ac.ir Tel:+989163736854

How to cite this Article: Kharadmehr, Z., Farazmand, S., & Khordehbin, S. (2024). Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 129-149.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۴۹-۱۲۹

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.84546.1415 دسترسی آزاد

بررسی تغییرات فصلی و تأثیر عملیات اصلاح مرتع بر میزان تصاعد دی‌اکسید کربن (مطالعه موردی: مراتع سردشت کوهستانی بخش زیدون شهرستان بهبهان)

زهرا خرادمهر- کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.

سارا فرازمند[1]- استادیار علوم مرتع،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.

صاحب خورده بین- دکتری خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۶/۲۹ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۲۰**

چکیده

دی‌اکسید کربن شاید مهم‌ترین گاز موجود در اتمسفر باشد که گرمایش جهانی به آن ارتباط داده می‌شود. تأثیر عملیات اصلاحی بر روی تصاعد کربن و ترسیب کربن در بسیاری از مناطق جهان بسیار کم بررسی و مطالعه شده است. در این راستا این مطالعه در بخش کوهستانی زیدون شهرستان بهبهان برای بررسی تأثیر عملیات اصلاحی بر روی تصاعد کربن خاک صورت گرفته است. بدین منظور سه منطقه شامل منطقه بدون عملیات اصلاحی (شاهد)، منطقه تحت عملیات بوته کاری و منطقه تحت عملیات کنتورفارو در منطقه موردمطالعه انتخاب شد. در هر منطقه چهار ترانستکت صد متری مستقر شده و در طول هر ترانسکت چهار پلات مستقر شده و اندازه‌گیری تصاعد کربن انجام شد. نمونه‌برداری به کمک تله‌های قلیایی، با روش اتاقک بسته ساکن صورت گرفت. برای ارزیابی تغییرات فصلی تصاعد کربن، اندازه‌گیری در فصول تابستان، پاییز و زمستان انجام شد. نتایج نشان داد میزان تصاعد کربن مرتع بدون عملیات اصلاحی به شکل معنی‌داری بالاتر از تیمارهای بوته کاری و کنتورفارو است. بالاترین تصاعد کربن به میزان ۱/۱۵ گرم در مترمربع در روز مربوط به تیمار شاهد و کمترین تصاعد با میزان ۰/۴۲ مربوط به تیمار بوته کاری بود. بین تیمار بته کاری و کنتورفارو از نظر تصاعد کربن تفاوت معنی‌داری دیده نشد. نتایج بررسی تغییرات فصلی تصاعد کربن نشان

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۷۳۶۸۵۴ Email: farazmand@bkatu.ac.ir

داد بدن در نظر گرفتن تیمارها و به‌طورکلی میزان تصاعد کربن در فصل تابستان بیشتر از پاییز و زمستان بوده است. به‌طورکلی میزان تصاعد کربن در تابستان ۰/۹ گرم در مترمربع در روز و در زمستان ۰/۵۵ گرم در مترمربع در روز بود. با در نظر گرفتن تیمارهای مختلف نتایج نشان داد از نظر تصاعد کربن بین فصول مختلف تفاوت معنی‌داری در تیمار شاهد دیده نمی‌شود. در تیمار بوته کاری میزان تصاعد کربن در تابستان و پاییز اختلاف معنی‌داری با زمستان داشت. در کنتورفارو میزان تصاعد کربن در فصل تابستان به شکل معنی‌داری بالاتر از میزان تصاعد کربن در پاییز و زمستان بود. نتایج ارتباط بین میزان دما و رطوبت و تصاعد کربن خاک نشان داد بین رطوبت و تصاعد کربن رابطه معنی‌داری وجود ندارد؛ اما بین دما و تصاعد کربن در دو تیمار بوته کاری و کنتورفارو ارتباط معنی‌داری وجود دارد؛ به شکلی که با افزایش دما میزان تصاعد کربن نیز افزایش یافته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد انجام عملیات اصلاح در مرتع می‌تواند به شکل معنی‌داری میزان تصاعد کربن خاک را کاهش دهد که این امر می‌تواند به مدیران در راستای کاهش دی‌اکسید کربن جو کمک شایانی کند.

کلیدواژه‌ها: انتشار کربن خاک، اقدامات احیایی، شیار بندی کانتوری،کاشت درختچه، تغییرات فصلی،شهرستان بهبهان.

۱-مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد اثر گلخانه‌ای در کره زمین و گرم‌تر شدن هوای آن شده است. در میان این گازها دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین گازهای سهیم در این فرایند می‌باشد. اندازه‌گیری جریان دی‌اکسید کربن برای ارزیابی چگونگی بهره‌برداری از خاک و چگونگی گرم شدن جهان و چرخه کربن بسیار مناسب است. فعالیت‌های انسانی از زمان انقلاب صنعتی، به‌ویژه انتشار دی‌اکسیدکربن انباشته از مصرف سوخت‌های فسیلی فشرده، منجر به افزایش قابل‌توجه غلظت اتمسفر گازهای گلخانه‌ای شده است که تغییرات آب‌وهوایی را تشدید می‌کند که در درجه اول با گرم شدن کره زمین مشخص می‌شود (Bilgen, 2014). گرمایش جهانی تأثیرات قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌های طبیعی جهانی دارد و باعث افزایش دما و افزایش سطح دریا و همچنین رویدادهای شدید آب‌وهوایی مکرر می‌شود که همگی چالش بزرگی برای بقا و توسعه نژاد بشر است (Nian, Chou, Su & Bauly, 2014). هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC[1]) گزارش داد که سال ۲۱۰۰ می‌تواند شاهد افزایش دمای جهانی به میزان ۱/۱ الی ٦/٤ درجه سانتی‌گراد و

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change

افزایش سطح دریا ۵–۱۶ تا ۵۳/۸ سانتی‌متر باشد (IPCC, 2014). علاوه بر این، گزارش سالانه IPCC مشخص کرده است که بازه زمانی ۱۹۸۳–۲۰۱۲ احتمالاً گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله در طول ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است و دمای سطح زمین طی سال‌های ۱۸۸۰–۲۰۱۲ به میزان ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که می‌تواند منجر به تغییرات قابل‌توجهی شود (IPCC, 2014)؛ بنابراین انجام کاهش انتشار کربن در سطح جهانی ضروری است. برای نیل به این هدف، شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر انتشار کربن در کشورهای مختلف در سطح جهانی، که ممکن است مستقیماً بر اساس اقدامات، سیاست‌ها و استراتژی‌های کاهش انتشار کربن تأثیر بگذارد، مهم است. مراتع به‌عنوان یکی از مخازن اصلی کربن در جهان می‌توانند نقش بسیار مؤثری در کنترل میزان انتشار کربن داشته باشند. از طریق افزایش میزان ترسیب کربن توسط گونه‌های گیاهی میزان بیشتری از کربن در خاک ذخیره شده و از انتشار آن جلوگیری می‌شود.

ترسیب کربن حرکت ذخایر کربن یا کربن ذخیره شده از ذخایر جوی به دیگر ذخایر کربن ازجمله خاک و پوشش گیاهی است. به‌طورکلی، حرکت کربن بین مخازن که معمولاً به‌صورت سالانه اندازه‌گیری و گزارش می‌شود، به‌عنوان شار کربن توصیف می‌شود و مدیریت می‌تواند بر شار و ذخایر کربن تأثیر بگذارد. امروزه در سطح دنیا بسیاری از برنامه‌های مشوق مدیریتی برای افزایش ذخایر جهانی کربن پیشنهاد و اجرا می‌شود ازجمله مدیریت چرا. در سطح دنیا توجه کمتری به حفظ ذخایر کربن موجود در خاک شده است (Booker, Huntsinger, Bartolome, Sayre & Stewart, 2013). ذخایر کربن خاک پویا هستند و ترسیب را می‌توان تابعی از ورودی‌ها، تلفات و زمان ذخیره‌سازی توصیف کرد. به‌عنوان‌مثال، بقایای گیاهی و اصلاحات آلی بر میزان کربن افزوده، درحالی‌که کربن از طریق تجزیه مواد آلی از بین می‌رود (Subak, 2000). به‌خصوص در سایت‌های اکولوژیکی خشک‌تر، بهره‌وری اولیه خالص در مراتع نسبتاً کم است و ورودی کربن را محدود می‌کند. به دلیل تجزیه سریع گونه‌های گیاهی علفی، بیشتر جریان کربن وارد شده از اتمسفر به پوشش گیاهی از طریق فتوسنتز، به‌سرعت از طریق پوسیدگی از دست می‌رود. بخش کوچکی از کربن موجود در پوشش گیاهی وارد خاک می‌شود و مدت بیشتری به‌عنوان ماده آلی خاک ذخیره می‌شود. افزایش قرار گرفتن خاک در معرض بارندگی و اتمسفر با اختلال یا خاک‌ورزی می‌تواند در برخی شرایط شار به جو را افزایش دهد؛

بنابراین از سوی دیگر اقداماتی که منجر به حذف پوشش گیاهی شود و فرسایش خاک را نیز افزایش دهد در افزایش انتشار نقش مهمی دارد.

ازآنجاکه پوشش گیاهی مرتع واسطه و محدود کننده شار کربن از جو به خاک و گیاهان است، سه اصل اصلی مدیریت کربن را می‌توان شناسایی کرد که در حقیقت پویای اکولوژیکی مرتع در نظر گرفته می‌شود. اول، در اکوسیستم‌های مرتعی، شار کربن به گیاهان و خاک کم است، از نظر مکانی و زمانی بسیار متغیر است، به‌شدت تحت تأثیر رویدادهای تصادفی مانند آب‌وهوا، و تا حد زیادی خارج از کنترل مدیریت است. دوم اینکه در برخی از محیط‌های مرتعی به دلیل رشد محدود و کند گیاه و ذخیره قابل‌توجه کربن به شکل معدنی نزدیک به سطح، مدیریتی که باعث از دست رفتن خاک می‌شود می‌تواند شار کربن به جو را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد. درنهایت، جریان‌های کربن و اندازه مخازن ممکن است کمتر متغیر بوده و از طریق مدیریت قابل‌افزایش باشند. این اصول تا حد زیادی نتیجه استراتژی‌های ترسیب کربن در مراتع را تعیین می‌کنند و باید در ارزیابی توانایی کاهش تغییرات آب‌وهوایی از طریق مدیریت مرتع در نظر گرفته شوند (Booker et al., 2013).

تغییر پوشش اراضی در اثر اقدامات انسانی یا طبیعی یا تغییر کاربری می‌تواند منجر به تغییر ذخایر کربن اکوسیستم شود. به‌عنوان‌مثال در اثر تبدیل مرتع به کاربری‌های دیگر یا مدیریت نامناسب (چرای بیش‌ازحد دام‌ها) میزان ذخایر کربن خاک دچار کاهش خواهد شد (Conant, Cerri, Osborne & Paustian, 2017)؛ بنابراین نیاز است تا تأثیر تغییر پوشش گیاهی و مدیریت کاربری بر روی ذخیره کربن مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا می‌توان از برآورد میزان کربن ذخیره شده در بخش‌های مختلف شامل بخش هوایی، زیرزمینی، لاشبرگ و خاک استفاده کرد. استفاده از ابزاری مثل مدلسازی که قابلیت بررسی گزینه‌های محتمل مختلف را فراهم کند، می‌تواند به درک میزان و حجم تغییرات ذخیره کربن کمک شایانی کند.

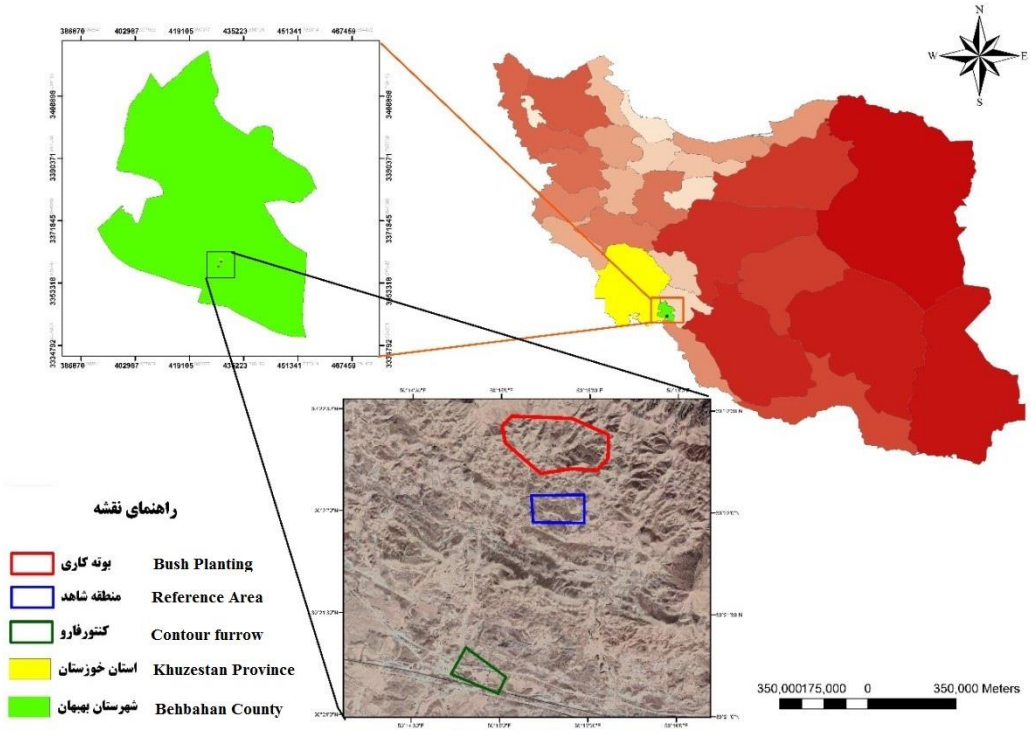
ازآنجایی‌که وضعیت بحرانی در ارتباط با گرمایش جهانی دامن‌گیر بسیاری از کشورهای دنیا ازجمله کشور ما شده است، توجه فوری به کاهش انتشار گازهای گلخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مراتع سهم بسیار زیادی از خشکی‌های سطح کره زمین را به خود اختصاص داده‌اند که در کشور ما نیز بخش اعظم خشکی‌ها

به این اکوسیستم تعلق دارد. از طریق جذب کربن اتمسفر و ذخیره نمودن آن در خاک می‌توان تا حد قابل‌توجهی میزان غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر را کاهش داد. گیاهان یکی از بهترین ابزارها برای این عمل هستند. انجام عملیات اصلاحی در سطح مراتع و ارتقای پوشش گیاهی می‌تواند به کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند که این امر اخیراً موردتوجه سازمان‌های بین‌المللی نیز قرار گرفته است که با صرف بودجه‌های فراوان در کشورهای دچار خشکی به دنبال ارتقای پوشش و ترسیب کربن هستند. در ایران نیز علاوه بر پروژه‌های ملی، پروژه‌های بین‌المللی با سرمایه گزاری سازمان ملل و دیگر نهادهای وابسته در جهت افزایش ترسیب کربن در حال انجام است. در این راستا انجام عملیات مختلف اصلاحی ممکن است در مرتع صورت گیرد و شناسایی مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و افزایش ترسیب کربن در خاک حائز اهمیت است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

برای رسیدن به اهداف تحقیق، مراتع سردشت کوهستانی بخش زیدون شهرستان بهبهان در نظر گرفته شده است. منطقه موردمطالعه واقع در ٤٢ کیلومتری شهرستان بهبهان به مساحت ۳۸ هکتار و با مختصات جغرافیایی با طول ´۱۲ °۵۰ تا ´۱٦ °۵۰ و با عرض ´۱۹ °۳۰ تا ´۲۳ °۳۰ می‌باشد. عملیات اصلاحی انجام شده در منطقه، شامل بوته‌کاری با گونه آتریپیلکس با سن ۸ سال و همچنین عملیات کنتورفارو با سن ۸ سال می‌باشد. طبق داده‌های اداره هواشناسی شهرستان بهبهان متوسط بارش سالیانه ۳۲۷ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۳٦/۲۷ درجه است. اقلیم منطقه موردمطالعه بر اساس روش دومارتن خشک طبقه‌بندی شده است. موقعیت منطقه موردمطالعه در کشور، استان و شهرستان در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان و کشور در محدوده موردمطالعه

Fig.1. The location of the study area in the province and country within the study area

۲-۲- روش‌شناسی

احداث کنتورفارو با سن ۸ سال و منطقه بوته‌کاری شده با گونه آتریپلکس با سن ۸ سال به‌منظور بررسی تأثیر عملیات اصلاح و احیاء مراتع بر تغییرات میزان تصاعد کربن انتخاب شدند. تمامی ویژگی‌های توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و خصوصیات اقلیمی در همه تیمارها یکسان است. نمونه‌برداری‌ها از تیرماه شروع شده و تا پایان اسفند ادامه یافت. در هر مرحله از نمونه‌برداری از ترانسکت‌هایی به طول ۱۰۰ متر در هر سایت ٤ نقطه برای تعیین میزان تصاعد کربن از خاک در هر منطقه انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت ماهانه و در نیمه هرماه به کمک تله‌های قلیایی، با روش اتاقک بسته ساکن[1] (CSC) با استفاده از NaOH نرمال و با چهار تکرار انجام شد. به‌این‌ترتیب که در هر تیمار ٤ نمونه اندازه‌گیری به مدت ٢٤

[1]Closed Static chamber

ساعت در منطقه قرارداده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه سریعاً با HCl نرمال مورد آزمایش قرار گرفتند. رطوبت خاک به‌وسیله روش وزنی تعیین گردید. همچنین دمای خاک منطقه در زمان نمونه‌برداری، توسط دماسنج اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های خاک حاوی سدیم هیدرواکسید (سود ۱/ ۰ نرمال) بعد از ۲۴ ساعت ماندگاری در منطقه موردمطالعه به آزمایشگاه منتقل شد ۵ قطره از فنل فتالین به‌عنوان معرف به هریک از نمونه‌ها اضافه گردید و سپس با هیدروکلریداسید (Hcl ۰/۵ نرمال) تیتر شد. عمل تیتراسیون تا زمانی که محلول به رنگ سفید درآید ادامه پیدا کرد و حجم اسید مصرفی قرائت شد. مقدار کربن و کربن‌دی‌اکسید که با تله قلیایی در مدت‌زمان ۲۴ ساعت به دام افتاده بود با رابطه ۱ به دست آمد.

رابطه ۱

$$C \text{ or } CO2 = (B-V)\times N\times E$$

که در آن؛

C or CO2 برابر است با مقدار تصاعد کربن و کربن دی‌اکسید؛ B: حجم اسید استفاده شده برای سود کنترلی، V: حجم اسید استفاده شده برای قطعه تیمار تله قلیایی شده، N: عاملی است که برای نرمال بودن اسید استفاده می‌شود و E: معادل وزن که برای محاسبه‌ی کربن ٦ و برای دی اکید کربن برابر با ۲۲ است.

برای بررسی تأثیر عملیات اصلاحی بر روی میزان تصاعد کربن خاک ابتدا نرمال بودن داده‌ها موردبررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه اثر عملیات اصلاحی موردبررسی قرار گرفت. برای گروه‌بندی تیمارها از مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. برای بررسی اثر مستقل تیمارها، اثر مستقل تغییر فصل و اثر متقابل فصل و عملیات اصلاحی از آنالیز فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. برای بررسی همبستگی بین متغیر دما و رطوبت با میزان تصاعد از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. تمامی آنالیزها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- اثر عملیات اصلاحی بر میزان تصاعد کربن

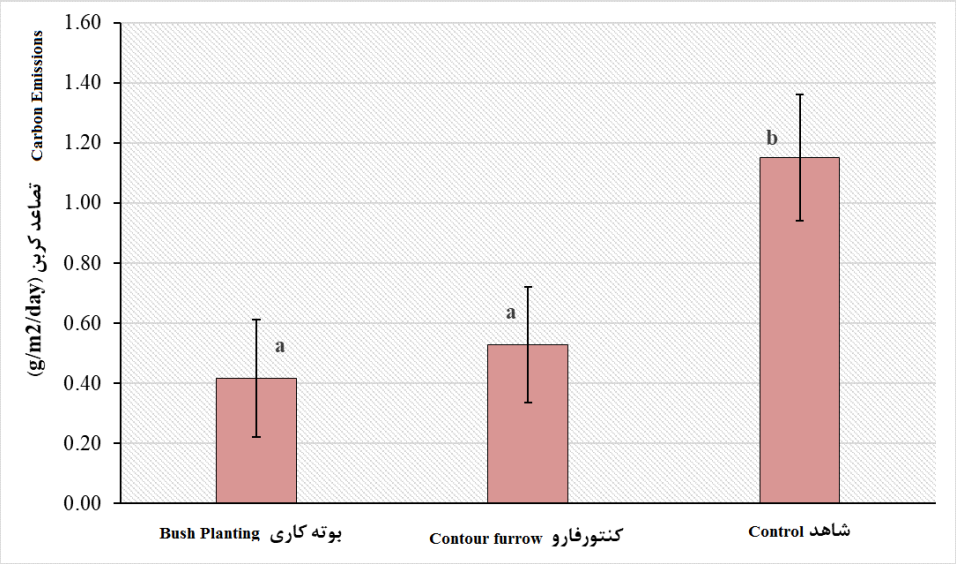
نتایج آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن در تیمارهای مختلف نشان داد از نظر میزان تصاعد بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس متغیرهای کمی نمونه آماری

Table 1- The results of the analysis of variance of quantitative variables of the statistical sample

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	df	مجموع مربعات Sum of Scuares	منبع Source
0.000	34.351	0.453	8	3.626[a]	مدل اصلاح شده Corrected Model
0.000	999.516	13.167	1	13.167	رهگیری Intercept
0.000	106.689	1.405	2	2.811	عملیات اصلاحی Corrective actions
0.000	21.526	0.284	2	0.567	فصل Season
0.010	4.594	0.061	4	0.242	فصل * عملیات اصلاحی Corrective actions* Season
		0.013	18	0.237	خطا Error
			27	17.024	کل Total
			26	3.857	کل اصلاح شده Corrected Total

نتایج گروه‌بندی با آزمون دانکن نشان می‌دهد به‌طورکلی اجرای عملیات بوته کاری بیشترین تأثیر در میزان تصاعد کربن از خاک را داشته است (شکل ۲). همچنین کنتور فارو در رتبه بعدی قرار گرفته و هر دوی این تیمارها تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان تصاعد کربن نسبت به شاهد داشتند.



شکل ۲- مقایسه میانگین تصاعد کربن در تیمارهای اصلاحی و شاهد

Fig.2. Comparison of average carbon emissions in correction and control treatments

نتایج درصد تغییرات تصاعد کربن قبل و بعد از عملیات اصلاح نشان داد در اثر کنتور فارو ۴۵/۹۸ درصد میزان تصاعد روزانه کربن کاهش یافته است. این میزان برای تیمار بوته کاری ۳۶/۲۰ درصد محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲- درصد تغییرات تصاعد کربن تیمارهای اصلاحی (بعد اصلاح) نسبت به شاهد (قبل اصلاح)

Table 2- The percentage of changes in carbon emissions of modified treatments (after modification) compared to the control (before modification)

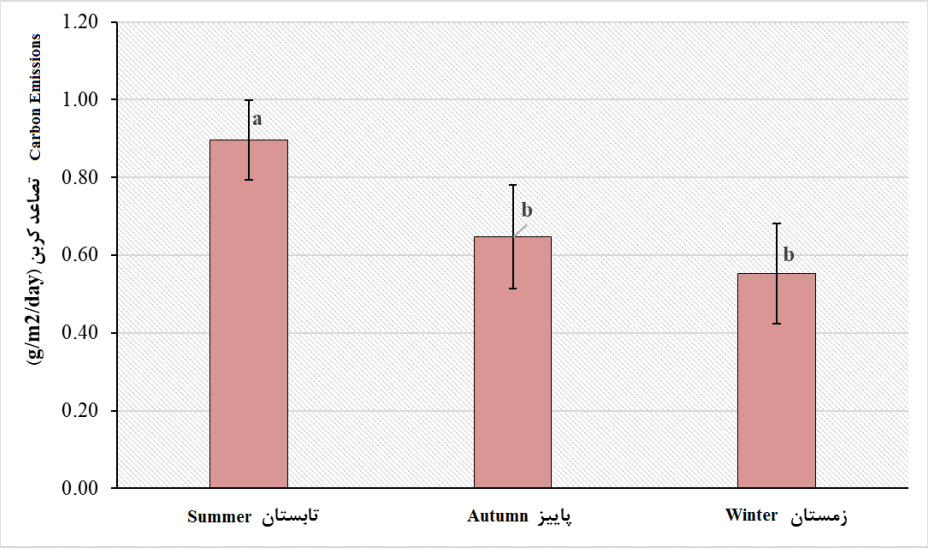
تیمار **TREATMENT**	میانگین تصاعد روزانه کربن **AVERAGE DAILY CARBON EMISSION**	درصد تغییر نسبت به شاهد (قبل عملیات اصلاح) **PERCENTAGE CHANGE RELATIVE TO THE CONTROL**
بوته کاری **BUSH PLANTING**	0.42	۳۶/۲۰ درصد کاهش 36.20% Decrease
کنتورفارو **CONTOUR FURROW**	0.53	۴۵/۹۸ درصد کاهش 45.98% Decrease
شاهد **CONTROL**	1.15	

در دیگر مطالعات انجام شده نیز نتایج مشابهی گزارش شده است. صادقی پور و همکاران (Sadeghipour, Kamali & Joneidi, 2013) در مطالعه خود نشان دادند که عملیات اصلاحی کنتورفارو توانسته از طریق افزایش پوشش گیاهی میزان تصاعد دی‌اکسید کربن از خاک را به شکل معنی‌داری کاهش دهد. همچنین آن‌ها بیان کردند که کنتور فارو می‌تواند با تغییر رژیم رطوبتی خاک موجب کاهش تصاعد کربن شود. در مطالعات صورت گرفته توسط دین و همکاران (Dean, Wardell-Johnson & Harper, 2012)، برون و همکاران (Brown, Angerer, Salley, Blaisdell & Stuth, 2010)، Booker et al., 2013 و عبدالله و همکاران (Abdalla, Mutema, Chivenge, Everson & Chaplot, 2022) تأکید شده است که اصلاح مرتع و کاهش تخریب‌ها از طریق کنترل چرای دام و کشت گونه‌های گیاهی می‌تواند منجر به کاهش انتشار کربن و افزایش ذخیره کربن آلی در خاک گردد. ازاین‌رو نتایج مطالعه حاضر با نتایج این تحقیقات هم سو است. لیفلد و همکاران (Leifeld, Ammann, Neftel & Fuhrer, 2011) نیز به این نتیجه رسیدند که تبدیل اراضی که منجر به کاهش پوشش گیاهی شود و همچنین موجب برهم‌خوردگی خاک گردد منجر به افزایش تصاعد کربن خواهد شد. کمالی و همکاران (Kamali, Siroosi & Sadeghipour, 2020) و لی و همکاران (Li et al., 2015) تأکید کردند که تخریب مرتع می‌تواند به شکل معنی‌داری میزان تصاعد کربن را افزایش دهد. در این مطالعه نیز مشاهده شد مرتع بدون عملیات اصلاحی که پوشش گیاهی مناسبی ندارد، میزان تصاعد کربن بیشتری نسبت به تیمارهای اصلاحی دارد که همسو با نتایج محققان فوق‌الذکر است. میزان تصاعد کربن در مراتع تخریب شده به‌مراتب بیشتر از مراتع سالم است. با تخریب مرتع، PH و وزن مخصوص ظاهری خاک سطحی افزایش یافته و مواد مغذی خاک کاهش می‌یابد و درنتیجه خاک بایر با مواد مغذی کمتر به وجود می‌آید؛ بنابراین، تغییرات مواد مغذی خاک در علفزارهای تخریب شده ممکن است تأثیر منفی بر چرخه کربن داشته باشد. علاوه بر این، خاک مراتع تخریب شده با پوشش گیاهی و تنوع زیستی گیاهی کمتر نسبت به تغییرات دمای هوا حساس‌تر بوده که منجر به نرخ تنفس و معدنی شدن کربن بالاتر می‌شود (Li et al., 2015). همچنین در مطالعات یو و همکاران (Yu et al., 2019) و تراور و همکاران (Traoré et al., 2015) تأکید شده است که حذف پوشش گیاهی در اثر چرای دام موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در سطح اراضی شده است.

در مقابل برخی دیگر از مطالعات عکس این نتایج را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال ری و همکاران (Rey et al., 2011) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که مرتع تخریب نشده نسبت به مراتع تخریب شده حدود ۲۵ درصد تصاعد کربن بیشتری دارد. مطالعه آن‌ها نشان داد که تخریب مرتع می‌تواند تعادل کربن این اکوسیستم‌ها را از طریق تغییر پویایی زمانی تنفس خاک و بهره‌وری گیاه تغییر دهد، که پیامدهای منفی مهمی برای عملکرد و پایداری اکوسیستم دارد.

۲-۳- روند زمانی تصاعد کربن بدون در نظر گرفتن تیمارها

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر تغییر فصل بر میزان تصاعد کربن در تمامی تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بررسی میانگین تصاعد در بین فصول مختلف نشان داد به‌طورکلی و بدون در نظر گرفتن تیمارها بیشترین میزان تصاعد در فصل تابستان، سپس پاییز و در آخر نیز زمستان قرار داشته است (شکل ۳). میزان تصاعد در تابستان با دو فصل زمستان و پاییز دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف

Fig.3. Comparison of average carbon emissions in different seasons

۳-۳- روند زمانی تصاعد کربن در تیمارها

برای تیمار شاهد نتایج آنالیز واریانس نشان داد که میزان تصاعد کربن در فصول مختلف تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۳).

جدول ۳- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار شاهد

Table 3- Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in the control treatment

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	df	مجموع مربعات Sum of Scuares	منبع Source
0.239	1.833	0.029	2	0.058	بین گروهی Between Groups
		0.016	6	0.095	درون‌گروهی Within Groups
			8	0.153	کل Total

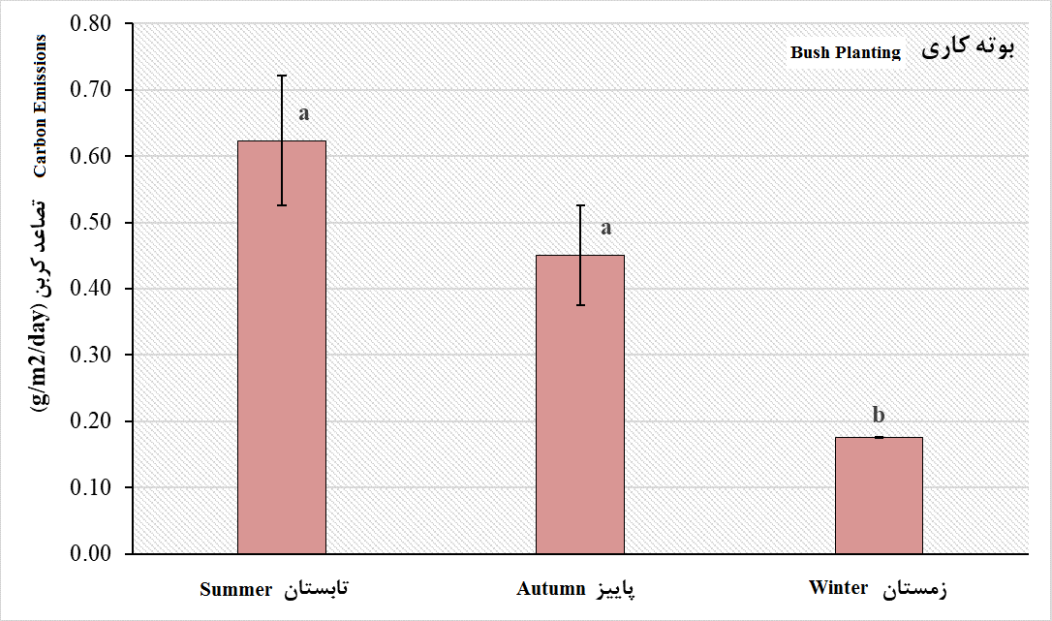
نتایج آنالیز واریانس نشان داد از نظر میزان تصاعد کربن در تیمار بوته کاری، بین فصول مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود دارد (جدول ٤).

جدول ٤- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار بوته کاری

Table 4- Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in the planting treatment

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	df	مجموع مربعات Sum of Scuares	منبع Source
0.004	15.822	0.153	2	0.306	بین گروهی Between Groups
		0.010	6	0.058	درون‌گروهی Within Groups
			8	0.364	کل Total

گروه‌بندی میانگین تصاعد تیمار بوته کاری در فصول مختلف نشان داد میزان تصاعد کربن در زمستان با دو فصل تابستان و پاییز دارای اختلاف معنی‌دار است. بین فصول پاییز و تابستان اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ٤).



شکل ٤- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف در تیمار بوته کاری

Fig.4. Comparison of the average carbon emissions in different seasons in the plantation treatment

نتایج آنالیز واریانس نشان داد از نظر میزان تصاعد کربن در تیمار کنتورفار، بین فصول مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود دارد (جدول ٥).

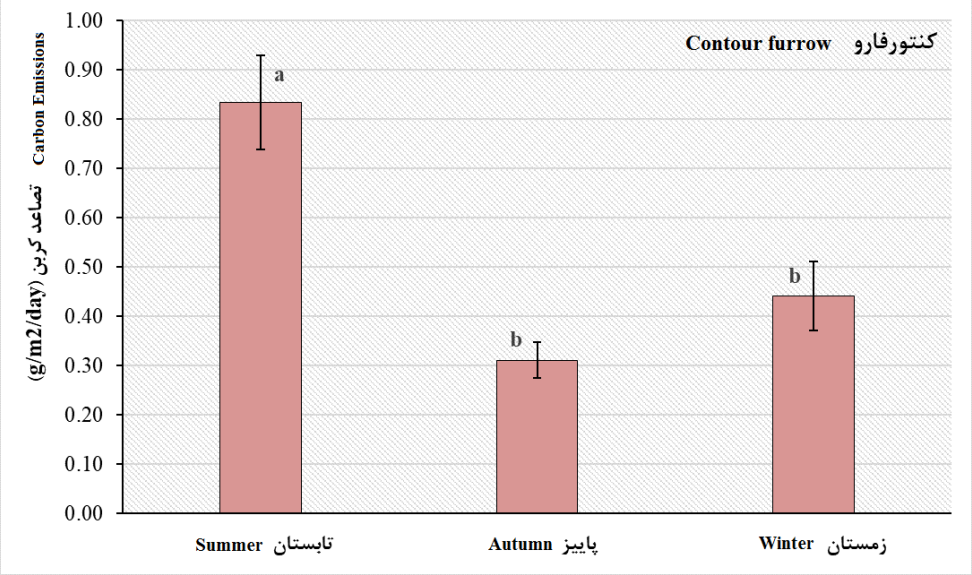
جدول ٥- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار کنتورفارو

Table 5- Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in Contourfaro treatment

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	df	مجموع مربعات Sum of Scuares	منبع Source
0.004	15.919	0.223	2	0.445	بین گروهی Between Groups

درون‌گروهی Within Groups	0.084	6	0.014
کل Total	0.529	8	

گروه‌بندی میانگین تصاعد تیمار بوته کاری در فصول مختلف نشان داد میزان تصاعد کربن در تابستان با دو فصل زمستان و پاییز دارای اختلاف معنی‌دار است. بین فصول پاییز و زمستان اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف در تیمار کنتورفارو

Fig.5. Comparison of average carbon emissions in different seasons in Contourfaro treatment

بررسی تغییرات فصلی نشان‌دهنده تغییر تصاعد کربن در فصول مختلف است. کمالی و همکاران (Kamali et al., 2020)، رومرو–اریب و همکاران (Romero-Uribe, López-Portillo, Reverchon & Hernández, 2022) و بوگنر و همکاران (Bogner, Spokas & Chanton, 2011) نیز در مطالعات خود تغییرات تصاعد گازهای گلخانه‌ای با تغییر فصل را تأیید کرده‌اند. نتایج بررسی تغییرات فصلی تصاعد کربن بدون در نظر گرفتن تیمارها نشان داد بیشترین میزان تصاعد کربن در فصل تابستان رخ داده و کمترین آن در فصل زمستان. بالا

بودن دمای هوا که نقش مثبتی در افزایش تصاعد کربن دارد می‌تواند دلیل بالا بودن تصاعد کربن در فصل تابستان باشد عبدالله و همکاران (Abdalla, Mutema, Chivenge, Everson & Chaplot, 2018) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان تصاعد کربن در فصل تابستان رخ داده که دلیل این امر افزایش درجه حرارت بوده است. لی و همکاران (Li et al., 2015) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تصاعد کربن از ابتدای دوره رویش شروع به افزایش نموده و در اواسط تابستان به اوج خود می‌رسد و مجدداً رو به کاهش می‌گذارد که همین روند در مطالعه حاضر نیز دیده شد. گوپتا و همکاران (Gupta, Kukal, Bawa & Dhaliwal, 2009)در مطالعه خود نتیجه گرفتند که در زمستان به دلیل تغییر شرایط دما و رطوبت و تأثیر آن بر فعالیت میکروارگانیزم‌های فعال در خاک و به‌طورکلی تأثیر بر تنفس خاک، تصاعد کربن کمتر است. مربولد و همکاران (Merbold, Steinlin & Hagedorn, 2013) در مطالعه خود در یک منطقه کوهستانی نشان دادند که میزان تصاعد کربن در فصل زمستان به کمترین حد خود می‌رسد و با آب شدن برف‌ها و گرم شدن منطقه دوباره انتشار دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. همانطور که توسط لیپزین و همکاران ((Liptzin et al., 2009 و اسچیندباچر و همکاران (Schindlbacher, Zechmeister-Boltenstern, Glatzel & Jandl, 2007) اذعان شده است، کاهش تصاعد CO_2 در طول دوره زمستان می‌تواند با کاهش در دسترس بودن بستر مرتبط باشد. علاوه بر این، کاهش دمای خاک نیز می‌تواند به این امر کمک کرده باشد، همانطور که حالتی مشابه برای یک جنگل آلپی توسط لی و همکاران ((Li et al., 2015 گزارش شده است.

٤-٣- ارتباط بین دما و رطوبت با میزان تصاعد کربن

نتایج آنالیز همبستگی نشان داد بین میزان دما با تصاعد کربن در تیمار شاهد اگرچه رابطه‌ای مستقیم وجود دارد اما این ارتباط معنی‌دار نشده است. ارتباط دما با تصاعد کربن در تیمار بوته کاری با ضریب همبستگی ۰/٦٨۰ مثبت و معنی‌دار شده است (جدول ٦). ارتباط تصاعد کربن با دما در تیمار کنتورفارو نیز با ضریب همبستگی ۰/٧٤٨ مثبت و معنی‌دار است. در خصوص رابطه بین میزان تصاعد کربن و رطوبت نتایج آنالیز همبستگی نشان داد در تیمارهای سه گانه اگر چه یه رابطه معکوس داشته، اما این ارتباط معنی‌دار نشده است (جدول ٦).

جدول ٦- آنالیز همبستگی بین میزان تصاعد کربن تیمارهای مختلف با دما و رطوبت

Table 6- Correlation analysis between the amount of carbon emissions of different treatments with temperature and humidity

رطوبت Humidity	دما Temp.	تصاعد کربن تیمار کنتورفارو Carbon Emission of the Contour Furrow Treatment	تصاعد کربن تیمار بوته کاری Carbon Emission of the Shrub Planting Treatment	تصاعد کربن تیمار شاهد Carbon Emission of the Control Treatment		
-0.208	0.370	0.382	0.222	1	Pearson Correlation	تصاعد کربن تیمار شاهد Carbon Emission of the Control Treatment
0.330	0.075	0.066	0.298	0.000	Sig. (2-tailed)	
24	24	24	24	24	N	
-0.140	0.680**	0.539**	1	0.222	Pearson Correlation	تصاعد کربن تیمار بوته کاری Carbon Emission of the Shrub Planting Treatment
0.516	0.000	0.007	0.000	0.298	Sig. (2-tailed)	
24	24	24	24	24	N	
-0.086	0.748**	1	0.539**	0.382	Pearson Correlation	تصاعد کربن تیمار کنتورفارو Carbon Emission of the Contour Furrow Treatment
0.691	0.000	0.000	0.007	0.066	Sig. (۲-tailed)	
24	24	24	24	24	N	
-0.121	1	0.748**	0.680**	0.370	Pearson Correlation	دما Temp.
0.573	0.000	0.000	0.000	0.075	Sig. (2-tailed)	
24	24	24	24	24	N	
1	-0.121	-0.086	-0.140	-0.208	Pearson Correlation	رطوبت Humidity
0.000	0.573	0.691	0.516	0.330	Sig. (2-tailed)	
24	24	24	24	24	N	

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

٤- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر عملیات اصلاح و احیا مرتع و همچنین تغییرات فصلی بر روی انتشار کربن صورت گرفت. نتایج نشان داد که انجام عملیات اصلاحی به‌خوبی توانسته است از میزان تصاعد کربن در مرتع موردمطالعه بکاهد. انجام برخی عملیات اصلاح در مرتع همراه است با افزایش پوشش گیاهی در این اکوسیستم. در این مطالعه افزایش پوشش گیاهی حاصل از بوته کاری و همچنین عملیات کنتور فارو نیز توانسته به‌خوبی در ترسیب کربن موفق عمل کرده و میزان تصاعد از سطح این تیمارها نسبت به اراضی بدون عملیات اصلاحی تفاوت چشم‌گیری داشته باشد. افزایش پوشش گیاهی همراه با افزایش رطوبت خاک منجر به ذخیره بهتر کربن در خاک و درنتیجه کاهش تصاعد کربن می‌شود.

در این مطالعه دیده شد که مراتع تخریب شده به‌مراتب میزان انتشار بیشتری داشتند. هر چه پوشش گیاهی کمتری در سطح خاک وجود داشته باشد امکان انتشار بیشتر خواهد شد. عامل اثرگذار دیگر بر این امر تغییر ترکیب پوشش گیاهی در اثر چرای دام و همچنین برهم‌خوردگی خاک سطحی است که هر دوی این عوامل منجر به افزایش تصاعد کربن از سطح خاک می‌شود. حذف پوشش گیاهی و گیاهانی که سبزینه بیشتری دارند و عموماً جزو گونه‌های خوش‌خوراک مرتع هستند منجر به کاهش ترسیب کربن خاک و کاهش ذخیره کربن در خاک نیز می‌شود.

نتایج این مطالعه نشان داد بین دما و تصاعد کربن یک رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد. در حقیقت این نتیجه نشان می‌دهد تا چه اندازه تخریب مرتع به‌خصوص چرای بی‌رویه دام در ماه‌های گرم سال می‌تواند مخرب باشد. افزایش دما منجر به افزایش تنفس ریشه گیاه و میکروارگانیزم‌های خاک شده که این خود منجر به افزایش تصاعد کربن می‌شود و همراه شدن این امر با حذف پوشش گیاهی و به هم زدن خاک می‌تواند اثر مخربی بر روی چرخه کربن و درنهایت سلامت اکوسیستم طبیعی داشته باشد.

موارد ذکر شده بر اساس نتایج این مطالعه درواقع می‌تواند در سیاست‌گذاری و طرح‌ریزی برنامه‌های مدیریت عرصه‌های طبیعی نقش مؤثری ایفا کند. این نتایج خطوط راهنما برای طرح‌ریزی و اجرای برنامه‌های مدیریت و اصلاح عرصه‌های طبیعی فراهم می‌کند. در راستای نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد سایر عملیات

اصلاحی مرتع نیز از نظر اثرگذاری بر روی چرخه کربن اکوسیستم موردبررسی قرار بگیرد تا بتوان با دقت و اطمینان بیشتری اقدام به انتخاب گزینه‌های مناسب برای اصلاح مرتع نمود. همچنین تأثیر پارامترهای اقلیمی بر انتشار کربن در این مطالعه و سایر مطالعات اثبات شده است که این متغیرها در کنار نوع عملیات اصلاحی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

References

Abdalla, K., Mutema, M., Chivenge, P., Everson, C., & Chaplot, V. (2018). Grassland degradation significantly enhances soil CO_2 emission. *Catena*, *167*, 284-292. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.010

Abdalla, K., Mutema, M., Chivenge, P., Everson, C., & Chaplot, V. (2022). Grassland rehabilitation significantly increases soil carbon stocks by reducing net soil CO2 emissions. *Soil Use and Management*, *38*(2), 1250-1265. https://doi.org/10.1111/sum.12790

Bilgen, S. (2014). Structure and environmental impact of global energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *38*, 890-902. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004

Bogner, J. E., Spokas, K. A., & Chanton, J. P. (2011). Seasonal greenhouse gas emissions (methane, carbon dioxide, nitrous oxide) from engineered landfills: Daily, intermediate, and final California cover soils. *Journal of environmental quality*, *40*(3), 1010-1020. https://doi.org/10.2134/jeq2010.0407

Booker, K., Huntsinger, L., Bartolome, J. W., Sayre, N. F., & Stewart, W. (2013). What can ecological science tell us about opportunities for carbon sequestration on arid rangelands in the United States?. *Global Environmental Change*, *23*(1), 240-251. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.001

Brown, J., Angerer, J., Salley, S. W. Blaisdell, R., & Stuth, J. W. (2010). Improving Estimate of Rangeland Carbon Sequestration Potential in the US Southwest. *Rangeland Ecology & Management*, *63*(1), 147-154. https://doi.org/10.2111/08-089.1

Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, *27*(2), 662-668. https://doi.org/10.1002/eap.1473

Dean, C., Wardell-Johnson, G. W., & Harper, R. J. (2012). Carbon management of commercial rangelands in Australia: major pools and fluxes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *148*, 44-64. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.011

Gupta, N., Kukal, S. S., Bawa, S. S., & Dhaliwal, G. S. (2009). Soil organic carbon and aggregation under poplar based agroforestry system in relation to tree age and soil type. *Agroforestry Systems 76*, 27-35.

IPCC. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324

Kamali, N., Siroosi, H., & Sadeghipour, A. (2020). Impacts of wind erosion and seasonal changes on soil carbon dioxide emission in southwestern Iran. *Journal of Arid Land*, *12*, 690-700. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0018-5

Leifeld, J., Ammann, C., Neftel, A., & Fuhrer, J. (2011). A comparison of repeated soil inventory and carbon flux budget to detect soil carbon stock changes after conversion from cropland to grasslands. *Global Change Biology*, *17*(11), 3366-3375. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02471.x

Li, Y., Dong, S., Liu, S., Zhou, H., Gao, Q., Cao, G., … & Zhao, H. (2015). Seasonal changes of CO_2, CH4 and N2O fluxes in different types of alpine grassland in the Qinghai-Tibetan Plateau of China. *Soil Biology and Biochemistry*, *80*, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.026

Liptzin, D., Williams, M. W., Helmig, D., Seok, B., Filippa, G., Chowanski, K., & Hueber, J. (2009). Process-level controls on CO2 fluxes from a seasonally snow-covered subalpine meadow soil, *Niwot Ridge, Colorado, Biogeochemistry*, 95, 151–166. https://doi:10.1007/s10533-009-9303-2

Merbold, L., Steinlin, C., & Hagedorn, F. (2013). Winter greenhouse gas fluxes (CO2, CH4 and N2O) from a subalpine grassland, *Biogeosciences*, *10*, 3185–3203. https://doi.org/10.5194/bg-10-3185-2013

Nian, V., Chou, S. K., Su, B., & Bauly, J. (2014). Life cycle analysis on carbon emissions from power generation – The nuclear energy example. *Applied Energy*, *118*, 68-82. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.015

Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P., & Raimundo, J. (2011). Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(2), 393-403. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.007

Romero-Uribe, H. M., López-Portillo, J., Reverchon, F., & Hernández, M. E. (2022). Effect of degradation of a black mangrove forest on seasonal greenhouse gas emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*, 11951-11965. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16597-1

Sadeghipour, A., Kamali, N. & Joneidi, H. (2013). Effects of rangeland mechanical reclamation activities on seasonal and monthly carbon emission (Case study: Sorkhe, Semnan province). *Rangeland*, *7*(3), 222-229. [In Persian]

Schindlbacher, A. , Zechmeister-Boltenstern, S., Glatzel, G., & Jandl, R. (2007). Winter soil respiration from an Austrian mountain forest. *Agricultural and Forest Meteorology*,*146*, 205–215. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.06.001

Subak, S. (2000). Agricultural soil carbon accumulation in North America: considerations for climate policy. *Global Environmental Change*, *10*(3), 185-195. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00026-1

Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., Schmidt, M., Thiombiano, A., Malmer, A., & Nyberg, G. (2015). Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, *241*, 330-338. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.027

Yu, H., Li, Y., Oshunsanya, S. O., Are, K. S., Geng, Y., Saggar, S., & Liu, W. (2019). Re-introduction of light grazing reduces soil erosion and soil respiration in a converted grassland on the Loess Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 280*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.020

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.150-183 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.85968.1445 Open access

Simulating changes in organic carbon of forest soils due to climate change at different altitudes using the Roth C Model

Mehran Misaghi [a*], Ahmad Golchin[b], Mohammadsadegh Askari [c]

[a] *PhD in Soil Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*
[b] *Professor in Soil Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*
[c] *Assistant Professor in Soil Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*

Received: 19 December 2023 ***Revised: 9 January 2024*** ***Accepted: 2 March 2024***

Abstract

This study explores the influence of land altitude on soil organic carbon (SOC) storage in the forest soils of Talesh County, Gilan Province. Soil samples were collected from four distinct altitudinal ranges (500–1000, 1000–1500, 1500–2000, and 2000–2500 meters above sea level) with comparable intrinsic characteristics. Composite soil samples were taken from a depth of 0–35 cm, and the concentration of soil organic carbon, combined with soil bulk density from undisturbed samples, was used to calculate SOC stocks.

Statistical comparisons were conducted using a randomized complete block design (RCBD). The Roth C model was employed to estimate the organic carbon content of the soils. Climatic data and soil organic carbon content at each altitude were utilized to calibrate and validate the model. To assess potential variations in SOC storage under changing conditions, diverse climate change scenarios were simulated using the Roth C model.

The findings revealed that as land elevation increased, SOC storage also increased, primarily due to higher precipitation and lower temperatures at higher altitudes. The Roth C model demonstrated high precision in estimating SOC levels, with correlation and determination coefficients of 0.97 and 0.95, respectively.

The model further suggested that under current climate conditions, soil organic carbon remains stable over time. At equilibrium, the carbon input into the soil through plant residues equals the carbon output from the soil as carbon gas emissions.

Keywords:Soil Carbon (SOC), AltitudeGradient, Forest Ecosystems, Carbon Sequestration, Roth C model, Climate change Scenarios.

[*] .Corresponding author: Mehran Misaghi Email: misaghi.mehran@yahoo.com Tel:+989921851182

How to cite this Article: Misaghi, M., Golchin, A., & .Askari, .. S. (2024). Simulating Changes in Organic Carbon of Forest Soils Due to Climate Change at Different Altitudes Using the Roth C Model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3) 150-183.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۸۳-۱۵۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.85968.1445 دسترسی آزاد

شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک‌های جنگلی در اثر تغییر اقلیم در ارتفاعات مختلف با استفاده از مدل Roth C

مهران میثاقی[۱] – دکتری مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

احمد گلچین – استاد مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

محمدصادق عسکری – استادیار مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ **دریافت: ۱۴۰۲/۹/۲۸ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۲/۱۲**

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر ارتفاع و تغییر اقلیم بر ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی شهرستان تالش در استان گیلان پرداخته است. نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۰ – ۳۵ سانتی‌متری و از چهار محدوده ارتفاعی (۱۰۰۰–۵۰۰، ۱۵۰۰–۱۰۰۰، ۲۰۰۰–۱۵۰۰ و ۲۵۰۰–۲۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا) جمع‌آوری و غلظت کربن آلی و سایر ویژگی‌های خاک در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع از سطح دریا، ذخیره کربن آلی خاک به دلیل افزایش بارندگی و کاهش دما، افزایش می‌یابد. بیشترین ذخیره مربوط به ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر (۹۷.۴۶ تن در هکتار) و کم‌ترین آن مربوط به ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر (۴۴.۲۳ تن در هکتار) بود. مدل روتامستد (Roth C) به‌طور دقیق و با ضریب همبستگی و تبیین بالای ۰.۹۵، ذخیره کربن آلی خاک‌ها را تخمین زد. در شرایط فعلی، کربن ورودی و خروجی خاک در تعادل و تقریباً معادل ۱.۲۹ تا ۲.۷۶ تن در هکتار در سال است. طبق سناریوهای مدل‌سازی، کاهش بارندگی (۲.۱۵ میلی‌متر در هر ۱۰ سال) و افزایش دما (۰.۴ سانتی‌گراد)، باعث کاهش ۳۳.۵۴ تا ۴۰.۰۱ درصدی ذخیره کربن آلی در همه طبقات ارتفاعی، به‌ویژه در نقاط مرتفع‌تر خواهد شد. در این حالت، خاک به منبعی برای تولید گاز کربنیک تبدیل می‌شود. برعکس، افزایش بارندگی و کاهش دما باعث افزایش ۱۳.۸۴ تا ۱۸.۹۴ درصدی ذخیره کربن آلی در همه طبقات ارتفاعی، به‌ویژه در نقاط مرتفع‌تر خواهد شد. در این حالت، خاک به مخزنی برای نگهداری گاز

[۱] . نویسنده مسئول: ۰۹۹۲۱۸۵۱۱۸۲

Email:misaghi.mehran@yahoo.com

کربنیک اتمسفری به شکل هوموس تبدیل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد مدل‌های شبیه‌سازی دینامیک کربن آلی خاک، ابزارهای دقیقی برای پیش‌بینی و بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر این ذخایر، به‌ویژه در خاک‌های جنگلی هستند. این پژوهش تأکید می‌کند حفظ ارتفاعات جنگلی و مدیریت اقلیمی برای جلوگیری از کاهش ذخیره کربن و مقابله با تغییرات اقلیمی، اهمیت ویژه‌ای دارد.

کلیدواژه‌ها:کربن آلی خاک، شیب ارتفاعی، اکوسیستم‌های جنگلی،جذب کربن،مدل Roth C، سناریوهای تغییر اقلیم.

۱-مقدمه

ماده آلی خاک (SOM[1]) یکی از پیچیده‌ترین اجزاء خاک به‌حساب می‌آید، زیرا از بقایای گیاهی، میکروبی و جانوری که در مراحل مختلف تجزیه هستند، تشکیل شده است و این مخلوط ناهمگن با اجزای غیرآلی مرتبط است (Christensen, 1992). ماده آلی خاک یک شاخص مهم در کیفیت خاک است و کمیت و کیفیت آن در حفظ حاصلخیزی طولانی‌مدت خاک سهم بسزایی دارد (Zhao, Liu, Wang & Zhao, 2015; Ramesh, Manjaiah, Tomar & Ngachan, 2013).

کربن آلی خاک (SOC[2]) یک عامل تعیین‌کننده در عملکرد اکوسیستم‌های کشاورزی است و مقدار آن در یک خاک معین با تفاوت بین میزان کربن ورودی به خاک (بقایای گیاهی و ریشه) و مقدار کربن خروجی از آن (انتشار CO_2 به هوا) مشخص می‌شود. چندین عامل کنترل‌کننده مانند توپوگرافی (Kaveh, Mahdian, Parvizi, Sokouti Oskouei & Masihabadi, 2014; Cardinael et al., 2017)، آب‌وهوا (Mansuri, Karimi, Emamy & Parvizi, 2017; Muñoz-Rojas, Abd-Elmabod, Zavala, De la Rosa & Jordán, 2017)، نوع خاک (Zhao et al., 2015; Kashi Zenouzi, Shafiee & Jafari, 2016)، عمق نمونه‌برداری (Li et al., 2017)، ترکیب کانی‌شناسی (Dwivedi et al., 2017)، نوع پوشش گیاهی (Komarov et al., 2017; Rousta, Soleimanpour, Enayati & Pakparvar, 2022)، نحوه استفاده از زمین و شیوه‌های مدیریتی (Wang et al., 2015) و برهم‌کنش بین آن‌ها میزان کربن ورودی و خروجی را کنترل و بر مقدار کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارند. درک عواملی که بر ذخیره‌سازی کربن آلی در خاک تأثیر می‌گذارند برای مدیریت پایدار در

[1] Soil Organic Matter (SOM)
[2] Soil Organic Carbon (SOC)

کاربری اراضی بسیار مهم است. ارتفاع زمین از سطح دریا می‌تواند ذخیره کربن آلی را از طریق تغییر پارامترهای آب‌وهوایی، تغییر میزان فرسایش خاک، تغییر پوشش گیاهی و تغییر فرایندهای خاک‌سازی تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، ارزیابی تأثیر ارتفاع زمین بر ذخیره‌سازی کربن آلی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار در کاربری اراضی ضروری است.

ذخیره‌سازی کربن، فرایندی است که در آن دی‌اکسید کربن جو در مخازن طبیعی یا مصنوعی مانند جنگل‌ها، اقیانوس‌ها و خاک ترسیب و ذخیره می‌شود (Gibbins & Chalmers, 2008). جنگل‌ها یکی از بزرگ‌ترین مخازن طبیعی کربن در زمین هستند و حدود ۳۰ درصد از ذخیره کربن جهانی را تشکیل می‌دهند. اهمیت ذخیره‌سازی کربن در جنگل‌ها به دلیل نقش آن‌ها در کاهش تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر موردتوجه زیاد قرار گرفته است. به‌علاوه جنگل‌ها خدمات اکوسیستمی متنوعی را ارائه می‌دهند که شامل حفظ تنوع زیستی، ذخیره‌سازی آب و حفاظت از خاک است. همچنین با ایجاد معاش برای جوامع محلی، حمایت از گردشگری و تولید محصولات چوبی و غیر چوبی به توسعه پایدار نیز کمک می‌کنند.

مطالعات متعدد نشان داده است که ارتفاع زمین بر توزیع و میزان ذخیره‌سازی کربن آلی در اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر می‌گذارد (Zhu et al., 2010; Bangroo, Najar & Rasool, 2017). شیب و ارتفاع می‌تواند بر رطوبت، دما و در دسترس بودن مواد مغذی خاک تأثیر بگذارد که این عوامل به‌نوبه خود بر تجزیه مواد آلی و تشکیل کربن آلی در خاک تأثیرگذار است. چندین مطالعه نشان داده‌اند که ذخیره کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع به دلیل تجمع مواد آلی در لایه‌های بالایی خاک و کاهش سرعت تجزیه افزایش می‌یابد (Zhang et al., 2019). آن‌ها اعلام نمودند که جنگل‌هایی که در ارتفاعات بیش‌تر واقع شده‌اند، معمولاً دارای دمای کمتر و بارندگی بیشتری هستند که باعث رشد بیشتر گیاهان از یک طرف و تجزیه کم‌تر مواد آلی خاک از طرف دیگر می‌شود. درنتیجه دی‌اکسید کربن بیشتری از جو جذب و در زیست‌توده گیاه ذخیره می‌شود که بعداً به‌صورت بقایای گیاهی به خاک اضافه می‌شود.

بااین‌حال، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که ذخیره کربن آلی خاک با افزایش شیب و ارتفاع به دلیل افزایش فرسایش و شستشوی خاک کاهش می‌یابد (Wang et al., 2015). آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که محتوای کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع به دلیل دماهای کم‌تر و فصول رشد کوتاه‌تر که منجر به رشد کم‌تر گیاهان

می‌شود، کاهش می‌یابد. این نتایج متناقض نشان می‌دهد رابطه بین ارتفاع زمین و ذخیره‌سازی کربن آلی خاک پیچیده و بسته به شرایط خاص اکوسیستم جنگلی، نوع خاک و نوع پوشش‌های گیاهی متفاوت است.

ارتفاع زمین از سطح دریا، یک عامل کلیدی در تشکیل خاک است و باعث ایجاد یک رابطه قوی بین کربن آلی خاک و ویژگی‌های زمین در مقیاس‌های مزرعه‌ای می‌شود (Papiernik et al., 2007). اگرچه چندین مطالعه سعی کرده‌اند به رابطه بین کربن آلی خاک و ارتفاع زمین بپردازند، ولی اطلاعات کمی در مورد تعاملات آن‌ها وجود دارد (Senthilkumar, Kravchenko & Robertson, 2009). دو دلیل برای مقدار بیش‌تر مواد آلی در ارتفاعات کم‌تر گزارش شده است یکی این‌که در ارتفاعات کم‌تر در مقایسه با ارتفاعات بیش‌تر رطوبت نسبی هوا بیش‌تر است. دوم این‌که در ارتفاعات بیش‌تر مواد آلی از طریق رواناب و فرسایش به نقاط پایین‌تر منتقل می‌شود (Quideau, 2002). همچنین سطوح بالاتری از ماده آلی در شیب‌های شمالی در مقایسه با شیب‌های جنوبی به دلیل وجود دمای کم‌تر وجود دارد. کربن آلی خاک در نواحی تپه‌ای، عمدتاً تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی و همچنین ارتفاع قرار می‌گیرد، زیرا ارتفاع تا حد زیادی بر عوامل اقلیمی، عمدتاً دما و رطوبت تأثیر می‌گذارد (Ahmad Dar & Somaiah, 2015). به‌طورکلی، مقدار کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند (Sinoga, Pariente, Diaz & Murillo, 2012; Choudhury, Fiyaz, Mohapatra & Ngachan, 2016)، زیرا متغیرهای آب‌وهوایی با ارتفاع تغییر می‌کنند. گاهی اوقات با افزایش ارتفاع، میزان بارندگی سالانه افزایش می‌یابد که این امر فرآیندها، ویژگی‌ها و توسعه خاک را کنترل می‌کند (Dahlgren, Boettinger, Huntington & Amundson, 1997) و تولید زیست‌توده گیاهی و کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد (Sinoga et al., 2012). تغییرات ارتفاعی همچنین دما را تغییر می‌دهد که سرعت تجزیه و تجمع کربن آلی خاک را کنترل می‌کند (Choudhury et al., 2016). گروهی از محققین بیان کردند که در هند با افزایش میزان بارندگی، میزان کربن آلی خاک افزایش یافت اما با افزایش دما، میزان کربن آلی خاک کاهش یافت (Bhattacharyya et al., 2010). بنابراین، اقلیم تأثیر مستقیمی بر نوع و کمیت پوشش گیاهی، سرعت هوازدگی و شدت آب‌شویی دارد و درنتیجه کمیت و کیفیت کربن آلی خاک و کیفیت خاک را تعیین می‌کند (Dahlgren et al., 1997; Sinoga et al., 2012).

مدل‌سازی دینامیک کربن آلی خاک برای پیش‌بینی تغییرات کربن آلی در آینده تحت تأثیر سناریوهای متنوع تغییرات اقلیمی می‌تواند به درک اثرات متقابل ارتفاع زمین و اقلیم بر ذخیره‌سازی کربن آلی خاک کمک کند (Don et al., 2024). مدل‌های کربن آلی به‌عنوان ابزارهای ارزشمندی برای درک تعاملات پیچیده بین تغییر اقلیم، خاک و گیاهان مورداستفاده قرار می‌گیرند (Parton, Schimel, Cole & Ojima, 1987). با درک بهتر این فرایندها، توانایی ما در توسعه راهبردهای مؤثر برای کاهش تغییرات اقلیمی و ترویج توسعه پایدار نیز بهبود خواهد یافت (Aguilera, Lassaletta, Gattinger & Gimeno, 2013).

مدل Roth C[1]، مدل پرکاربردی برای پیش‌بینی دینامیک کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی در شرایط آب‌وهوایی متفاوت است. این مدل دینامیک کوتاه‌مدت را شبیه‌سازی می‌کند و ورودی‌های آن ماده آلی خاک، نرخ تجزیه و فرآیندهای کانی‌ساز را شامل می‌شود و می‌تواند برای شبیه‌سازی تغییرات کربن آلی خاک در شرایط محیطی و اقلیمی مختلف استفاده شود.

مطالعات متعددی از این مدل برای بررسی اثرات ارتفاع بر ذخیره‌سازی کربن آلی خاک استفاده کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، گروهی از محققین، از مدل Roth C برای شبیه‌سازی دینامیک کربن آلی خاک در یک اکوسیستم جنگلی کوهستانی در جنوب غربی چین استفاده کردند و دریافتند که ذخیره کربن آلی خاک با افزایش گرادیان شیب به دلیل افزایش فرسایش کاهش می‌یابد (Li et al., 2017). برخی دیگر طی مطالعه‌هایی در چین با استفاده از مدل Roth C نشان دادند که کربن آلی خاک در طول دهه‌های آینده به دلیل تغییر اقلیم کاهش می‌یابد (Wan, Lin, Xiong & Guo, 2011). گروهی مطالعه‌ای را با هدف آزمایش عملکرد مدل Roth C با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده از پنج نوع پوشش جنگلی هیرکانی (شمال ایران) و همچنین پیش‌بینی تغییرات کربن آلی خاک تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم انجام دادند (Soleimani, Hosseini, Bavani, Jafari & Francaviglia, 2017). نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که مقادیر کربن آلی خاک شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده همبستگی مناسبی (ضریب تعیین بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۱) دارد که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل Roth C در این مناطق است. آن‌ها اعلام نمودند که تا سال ۲۰۹۹ به‌طورکلی ذخایر کربن آلی خاک تحت تمام پوشش‌های موردمطالعه و سناریوهای تغییر اقلیم تعریف شده کاهش یافت.

[1] Rothamsted Carbon Model

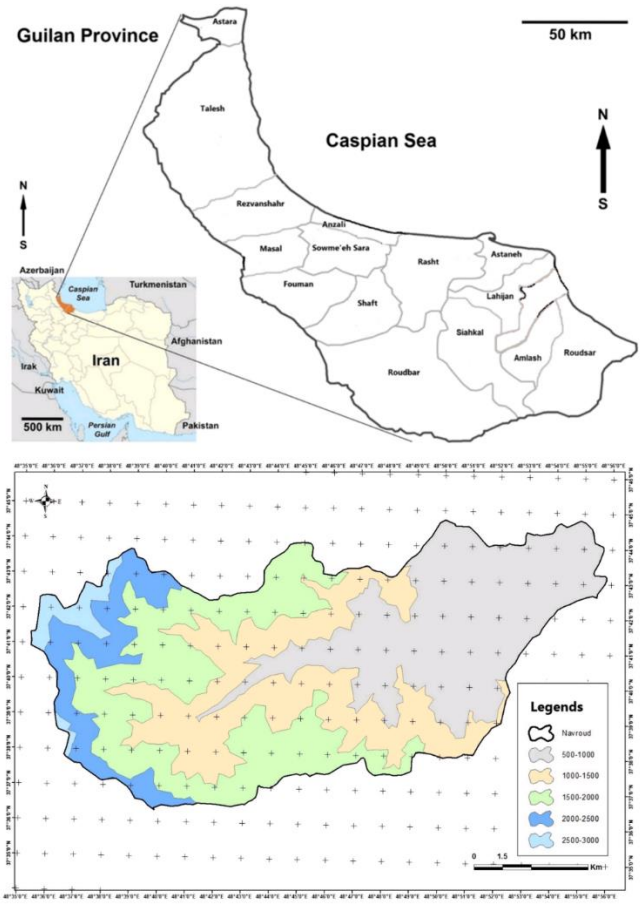
اما میزان کاهش کربن آلی خاک بین مدل‌های آب‌وهوایی، سناریوهای انتشار گاز گلخانه‌ای، دوره‌های زمانی و پوشش‌های مختلف گیاهی متفاوت بود.

اگرچه عامل ارتفاع زمین از سطح دریا نقش مهمی در مقدار کربن آلی خاک‌های جنگل دارد، ولی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تغییرات کربن آلی خاک در ارتفاعات مختلف ناشناخته است. لذا هدف تحقیق حاضر شبیه‌سازی رفتار کربن آلی خاک در ارتفاعات مختلف زمین در پاسخ به تغییر اقلیم است. مطالعه تغییرات کربن آلی نشان خواهد داد که در آینده این اکوسیستم‌ها چه وضعیتی خواهند داشت، آیا به منبعی برای تولید CO_2 اتمسفری تبدیل می‌شوند و یا مخزنی برای نگهداری دی‌اکسید کربن باقی خواهند ماند. به‌طورکلی مدل‌ها با ارائه اطلاعات در خصوص نحوه تغییر کربن آلی ذخیره شده در خاک که در پاسخ به عوامل آب‌وهوایی و مدیریتی اتفاق می‌افتد، نقش کلیدی در درک، مدیریت و کاهش اثر سو تغییر اقلیم دارند.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

این پژوهش در جنگل‌های شهرستان تالش که در مسیر اسالم به خلخال قرار دارد، انجام گرفته است (شکل ۱). شهرستان تالش از شهرستان‌های استان گیلان است که دارای اقلیم معتدل و مرطوب است. میزان بارندگی سالانهٔ آن در ایستگاه هواشناسی آستارا (شمالی‌ترین نقطه) ۱۴۴۶ میلی‌متر و در ایستگاه هواشناسی رضوان‌شهر (جنوبی‌ترین نقطه) ۱۸۰۰ میلی‌متر است. مختصات جغرافیایی شهرستان تالش ۳۷.۷۹ درجه‌شمالی و ۴۸.۹۰ درجه‌شرقی است. جنگل‌های موردمطالعه در ارتفاع ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از سطح دریا قرار داشتند و مساحت آن‌ها حدود ۱۵۰ هزار هکتار بود. این جنگل‌ها زیستگاه ۱۵۰ گونه درختی (۳۶ گونه بومی) ازجمله شمشاد هیرکانی (Celtis caucasica)، لەله خزری (Alnus subcordata)، آکاسیای ابریشمی (Platycladus orientalis)، بلوط (Quercus brantii)، دودو (Juglans nigra) و گردو (Juglans regia) می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در ایران و استان گیلان

Fig.1. Geographical location of the study area in Iran and Gilan province

به کمک نقشه‌های جغرافیایی و تحلیل ارتفاعی در محیط نرم‌افزار QGIS از هر ۵۰۰ متر ارتفاع، یک طبقه ارتفاعی انتخاب و به دلیل نبود ایستگاه هواشناسی مجزا در هر طبقه ارتفاعی برای دریافت داده‌های هواشناسی (دما، بارش و تبخیر و تعرق)، از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی با قدرت تفکیک بالا در مرکز ملی تحقیقات جوی استفاده شد (ترا کلایمت). داده‌های این مجموعه از قدرت تفکیک بسیار بالایی برخوردار بودند که برای این مطالعه بسیار مناسب است. قدرت تفکیک مکانی متغیرهای آب‌وهوایی در این پایگاه به‌طور تقریبی ۴ کیلومتر است، به‌عبارت‌دیگر برای هر چهار کیلومتر در چهار کیلومتر داده‌های هواشناسی تخمین زده شده است که نشان از قدرت تفکیک بالا این پایگاه دارد. مقیاس زمانی داده‌های استفاده شده در این مطالعه سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۲ می‌باشد. مطالعه حاضر چهار طبقه ارتفاعی (۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متری) را شامل می‌شود، که برای به دست آوردن داده‌های

آب‌وهوای آن‌ها از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی استفاده گردید و شیپ فایل‌های مربوط به هر طبقه ارتفاعی به‌صورت مجزا و برحسب مقیاس متر استخراج شد.

در این پایگاه داده، مقادیر دما به‌طور مستقیم وجود نداشت. به همین دلیل به کمک دماهای بیشینه و کمینه در آن پایگاه میانگین دمای ماهیانه واقعی محاسبه گردید (ترا کلایمت).

ازآنجاکه شیپ فایل‌های اولیّه دارای مقیاس متریک بودند و مقیاس داده‌های شبکه‌ی جهانی بر حسب درجه بود، مقیاس داده‌های شیپ فایل‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب به مقیاس درجه تبدیل شد. سپس، با استفاده از توابع و اسکریپت‌های تعریف شده در محیط برنامه‌نویسی متلب برای هر شیپ‌فایل مرتبط با یک طبقه ارتفاعی، مقادیر بارش، تبخیر و تعرق و دمای حداکثر و حداقل استخراج و به سری‌های زمانی ماهانه تبدیل شدند. درنهایت با گرفتن میانگین سری‌های زمانی ماهانه، مقادیر میانگین دما، بارش و تبخیر و تعرق ماهانه برای هر طبقه ارتفاعی محاسبه شد.

مقادیر محاسبه شده میانگین بارش، دما و میزان تبخیر و تعرق ماه‌های مختلف سال به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است که مربوط به سال‌های ۱۹۵۸ تا سال ۲۰۲۲ هستند. در جدول ۴ نیز، متوسط ماهانه پارامترهای هواشناسی برای هر چهار طبقه ارتفاعی از سال ۱۹۵۸ تا سال ۲۰۲۲ ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین بارندگی (میلی‌متر) ماه‌های مختلف سال در طبقات ارتفاعی موردمطالعه.

Table1- Average rainfall (mm) for different months of the year in the elevation classes under study

Nov (آبان)	Oct (مهر)	Sep (شهریور)	Aug (مرداد)	Jul (تیر)	Jun (خرداد)	May (اردیبهشت)	Apr (فروردین)	Mar (اسفند)	Feb (بهمن)	Jan (دی)	Elev.(m) ارتفاع
187.33	82.44	69.85	23.60	29.64	30.52	64.46	154.60	157.41	147.40	130.79	500-1000
163.13	83.93	47.57	28.45	29.81	37.78	112.42	223.30	206.96	173.69	192.77	1000-1500
168.57	144.21	122.98	102.02	103.29	172.92	195.47	215.93	188.21	149.71	177.37	1500-2000
183.20	157.35	127.82	108.62	115.28	175.39	205.09	231.22	202.01	154.55	184.74	2000-2500

جدول ۲- میانگین دما (سانتی‌گراد) ماه‌های مختلف سال در طبقات ارتفاعی موردمطالعه

Table2- Average temperature (°C) for different months of the year in the elevation classes under study

Dec (آذر)	Nov (آبان)	Oct (مهر)	Sep (شهریور)	Aug (مرداد)	Jul (تیر)	Jun (خرداد)	May (اردیبهشت)	Apr (فروردین)	Mar (اسفند)	Feb (بهمن)	Jan (دی)	Elev.(m) ارتفاع
17.06	21.90	28.27	32.81	36.66	37.19	35.62	32.64	26.72	21.57	17.36	15.41	500-1000
11	15.62	22.50	27.46	31.12	31.84	29.11	24.93	19.33	13.28	10.04	9.15	1000-1500
7.45	12.52	18.73	23.18	28.87	28.63	26.16	22.49	16.69	10.86	7.21	5.56	1500-2000
6.50	11.35	18.35	23.02	26.76	26.89	24.53	20.19	14.56	8.38	5.10	4.26	2000-2500

جدول ۳- میانگین تبخیر تعرق (میلی‌متر) ماه‌های مختلف سال در طبقات ارتفاعی موردمطالعه.

Table3- Average evapotranspiration (mm) for different months of the year in the elevation classes under study

Dec (آذر)	Nov (آبان)	Oct (مهر)	Sep (شهریور)	Aug (مرداد)	Jul (تیر)	Jun (خرداد)	May (اردیبهشت)	Apr (فروردین)	Mar (اسفند)	Feb (بهمن)	Jan (دی)	Elev.(m) ارتفاع
98.2	111	126	136.5	114.5	107	101.3	88.14	83.47	82.22	89.25	99.2	500-1000
102	106	123	139.3	121.7	106	98.34	85.36	82.22	81.78	84.97	97.1	1000-1500
73.9	87.8	102	131.1	105.7	98.8	94.21	84.37	62.37	56.54	73.42	84.0	1500-2000
63.5	67.2	70.1	83.94	84.84	73.6	59.84	51.92	43.34	39.76	46.47	56.3	2000-2500

جدول ۴- میانگین بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالیانه در طبقات ارتفاعی موردمطالعه.

Table4- Average annual rainfall, temperature, and evapotranspiration in the elevation classes under study

تبخیر تعرق **Evapotranspiration (mm)**	دما **Temperature (°C)**	بارش **Rainfall (mm)**	ارتفاع **Elevation (m)**
1238.38	26.93	1247.26	500-1000
1231.15	20.45	148.10	1000-1500
1055.05	17.28	1937.41	1500-2000
740.76	15.83	2052.01	2000-2500

همان‌طور که در جدول‌ها دیده می‌شود، با افزایش ارتفاع منطقه متوسط بارندگی سالیانه روند افزایشی و میانگین درجه حرارت سالیانه روندی کاهشی دارد.

۲-۲-نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

برای بررسی تأثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر ذخیره کربن آلی خاک چهار طبقه ارتفاعی مختلف در امتداد شیب شمالی منطقه موردمطالعه، شامل ارتفاعات ۱۰۰۰-۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۰۰۰، ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متری از سطح دریا انتخاب شدند.

در هر طبقه ارتفاعی، حدود ۱۵ هکتار از اراضی جنگلی انتخاب و به سه قسمت پنج هکتاری تقسیم شد و هر قسمت به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. سپس، در هر تکرار ۵ پروفیل حفر گردید و در هر پروفیل از عمق ۳۵-۰ سانتی‌متری خاک یک نمونه تهیه گردید (به دلیل سنگلاخ بودن خاک‌ها امکان نمونه‌برداری از اعماق بیش‌تر میسر نگردید). سپس نمونه‌های خاک به دست آمده از پروفیل‌های مختلف هر تکرار باهم ترکیب شدند و یک نمونه مرکب خاک تهیه گردید به‌طوری‌که در هر طبقه ارتفاعی ۳ نمونه مرکب خاک وجود داشت. با توجه به وجود چهار طبقه ارتفاعی در این پژوهش تعداد ۱۲ نمونه مرکب خاک جامعه

آماری این تحقیق را تشکیل می‌دادند. همچنین ۱۲ نمونه دست‌نخورده (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) نیز برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک تهیه گردید.

پس از اتمام مرحله نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک هوا خشک شدند و پس عبور از الک دو میلی‌متری برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، کربن آلی به روش واکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Or, 2002) و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه (Blake & Hartge, 1986) اندازه‌گیری شد.

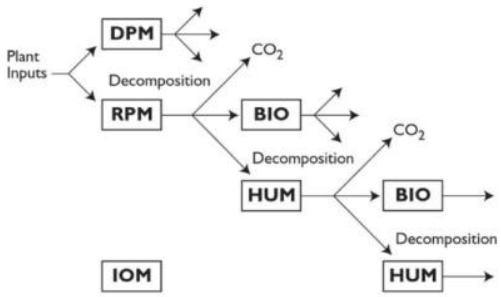
۲-۳-شبیه‌سازی رفتار کربن آلی خاک در سناریوهای مختلف آب‌وهوایی

برای مدل‌سازی رفتار کربن آلی خاک در سناریوهای مختلف آب‌وهوایی از مدل Roth C نسخه ۲.۱ استفاده گردید.

در این مدل، منحصراً به عوامل خاکی توجه نشده و مقدار کربن گیاهی که سالیانه از طریق زیتوده گیاهی به خاک اضافه می‌شود، در مدل گنجانده شده است. با استفاده از این مدل می‌توان چگونگی تجزیه بقایای گیاهی وارده به خاک را در شرایط آب‌وهوایی مختلف مشخص نمود و تأثیر آن را بر کربن آلی خاک تعیین نمود (Ponce-Hernandez, Koohafkan & Antoine, 2004).

۲-۳-۱-ویژگی‌های مدل Roth C

مدل Roth C برای دینامیک کربن آلی در خاک‌های غیر باتلاقی طراحی شده است و تأثیر نوع خاک، دما، رطوبت و پوشش گیاهی را با استفاده از یک دوره ماهانه بر میزان کربن آلی خاک و کربن زیست‌توده میکروبی موردبررسی قرار می‌دهد (Kaczynski, Siebielec, Hanegraaf & Korevaar, 2017). در مدل Roth C مواد آلی به پنج جز اساسی، شامل ماده آلی خنثی (IOM)، ماده گیاهی قابل‌تجزیه (DPM)، ماده گیاهی مقاوم به تجزیه (RPM)، زیست‌توده میکروبی (BIO) و مواد آلی هوموسی شده (HUM) تقسیم می‌شود (Jenkinson & Coleman, 2008) (شکل ۲). دو جزء ماده گیاهی قابل‌تجزیه و ماده گیاهی مقاوم به تجزیه مربوط به بقایای گیاهی ورودی به خاک بوده و دو جزء زیست‌توده میکروبی و مواد آلی هوموسی شده مربوط به مواد آلی خاک است (Nemoto, 2010).



شکل ۲- ساختار مدل (Roth C)

Fig.2. Structure of the Roth C model (Jenkinson & Coleman, 2008)

برای محاسبه کربن آلی ذخیره شده در خاک بر حسب تن بر هکتار از رابطه (۱) برای هر چهار طبقه ارتفاعی استفاده شد (Nieto, Castro & Fernández-Ondoño, 2013; Qiu et al., 2013).

رابطه ۱: $$CS= 10000 \times \%SOC \times Bd \times d$$

که در این رابطه، CS: کربن آلی ذخیره شده در خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار، SOC: درصد کربن آلی خاک، Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و d: عمق نمونه‌برداری بر حسب سانتی‌متر است.

۲-۳-۲-متغیرهای ورودی مدل Roth C

بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه: داده‌های بارندگی (میلی‌متر) و تبخیر (میلی‌متر) از سطح آزاد برای محاسبه کمبود رطوبت خاک سطحی (TSMD) به‌کار گرفته می‌شوند و دست‌یابی به آن‌ها برای محاسبه کمبود رطوبت خاک سطحی آسان‌تر از اندازه‌گیری ماهانه کمبود رطوبت خاک سطحی واقعی است. اگر میزان تبخیر از سطح آزاد در دسترس نباشد، می‌توان متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه را با استفاده از داده‌های هواشناسی تعیین و به کمک رابطه (۲) تبخیر از سطح آزاد را محاسبه و شبیه‌سازی نمود (Jenkinson & Coleman, 2008).

رابطه ۲ $$Evaporation = 'Mean\ potential\ transpiration'/0.75$$

که در این رابطه، Evaporation: تبخیر از سطح آزاد و Mean potential transpiration: متوسط تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد.

متوسط درجه حرارت ماهانه هوا: در این مدل درجه حرارت هوا بیشتر از دمای خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا درجه حرارت هوا به آسانی قابل دست‌یابی است. در سطح خاک، متوسط درجه حرارت ماهانه هوا نشان‌دهنده متوسط درجه حرارت ماهانه خاک است (Jenkinson & Coleman, 2008).

مقدار رس: درصد رس برای محاسبه مقدار آب در دسترس گیاه که در خاک می‌تواند نگه داشته شود، به‌کار می‌رود. همچنین، درصد رس بر سرعت تجزیه موادآلی خاک نیز تأثیرگذار است (Jenkinson & Coleman, 2008).

نسبت DPM/RPM: نسبت ماده گیاهی قابل تجزیه به ماده گیاهی مقاوم به تجزیه ازجمله شاخص‌های تعیین کننده نرخ تجزیه مواد گیاهی ورودی به خاک می‌باشد.

پوشش خاک: این متغیر برای نشان دادن مزروعی بودن یا بایر بودن خاک ضروری است که در خاک مزروعی سطح خاک دیرتر خشک می‌شود (Jenkinson & Coleman, 2008).

میزان بقایای گیاهی ورودی به خاک: مقدار بقایای گیاهی که ماهانه به خاک اضافه می‌شود (تن در هکتار در ماه) در مدل وارد می‌شود.

مقدار کود دامی FYM: این ورودی متفاوت از ورودی بقایای تازه گیاهی در نظر گرفته شده است (تن در هکتار در ماه).

عمق لایه نمونه‌برداری شده خاک: به‌طور معمول خاک سطحی از عمق صفر تا ۲۳ سانتی‌متر است که بسته به شرایط منطقه و نوع پروژه عمق نمونه‌برداری می‌تواند متفاوت باشد.

مدل Roth C به مقادیر پارامترهای HUM,BIO,RPM,DPM و IOM نیاز دارد که مقدار اولیه آن‌ها شناخته شده نیست و فقط مقدار کربن آلی خاک پارامتر قابل دسترس و اندازه‌گیری می‌باشد. به‌منظور دستیابی به مقادیر اجزا مختلف کربن آلی خاک، مدل می‌تواند مقادیر این پارامترها را از مقدار کربن آلی خاک تخمین و شبیه‌سازی کند. به‌منظور دست‌یابی به نتایج واقعی کالیبره کردن مدل از اهمیت بالایی برخوردار است و تجزیه‌های آزمایشگاهی کربن آلی خاک باید دقیق و قابل اعتماد باشد تا به‌توان نتایج رضایت‌بخشی را از مدل دریافت نمود.

مدل Roth C ویژگی‌هایی مطلوبی مانند قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم، ساختار ساده (Nemoto, 2010) دسترسی آسان به اطلاعات، سهولت استفاده از مفروضات، تعداد کم پارامترهای مورد نیاز (Zimmermann, Leifeld & Fuhrer, 2007) و قابلیت اجرا برای یک منطقه وسیع (Shirato & Yokozawa, 2005) را دارد. این ویژگی‌ها کارایی بالایی به مدل، در بعضی از کاربردها مانند سازگاری با شرایط منطقه، سطح دقت تخمین‌های مدل و به‌طورکلی در هر جا که نیاز به پیش‌بینی میزان کربن آلی خاک با استفاده از بقایای گیاهی و کوددهی باشد، می‌بخشد.

۲-۳-۳-سناریوهای انتخاب شده برای مدل Roth C

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، اقلیم کشور ایران و همچنین استان گیلان در حال تغییر بوده و در آینده با افزایش دما و کاهش بارندگی مواجه خواهد شد (Kazemi Rad & Mohammadi, 2016). آن‌ها با تعریف سناریوهای A2 و B1 برای مدل‌های گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 و با استفاده از مدل LARS-WG خروجی این مدل‌ها را ریز مقیاس نموده و میزان تغییرات دمای هوا و بارندگی را برای هر ۱۰ سال پیش‌بینی کردند. براساس نتایج پژوهش آن‌ها، به ازای هر ۱۰ سال دمای هوا ۰/۴ سانتی‌گراد افزایش و میزان بارش ۲/۱۵ میلی‌متر کاهش می‌یابد. لذا یکی از سناریوهای تعریف شده برای مدل Roth C نتایج به‌دست آمده از مطالعه کاظمی و همکاران (Kazemi Rad & Mohammadi, 2016) است که وضعیت ترسیب کربن را در شرایط وقوع تغییر اقلیم در منطقه موردمطالعه و ارزیابی قرار می‌دهد. جدول ۵ سناریوهای تعریف شده برای مدل Roth C را نشان می‌دهد.

جدول ۵- سناریوهای در نظر گرفته شده برای مدل Roth C.

Table5- Scenarios considered for the Roth C model

سناریو **Scenario**	مدیریت **Management**	بازه زمانی (میلادی) **Time period**
-	شرایط کنونی Current conditions	1958-2022
1	حفظ وضعیت کنونی Maintaining the current conditions	2022-2102
2	تغییر اقلیم با افزایش ۰/۴ سانتی‌گراد دما و کاهش ۲/۱۵ میلی‌متر بارندگی به ازای هر ۱۰ سال Climate change with a 0.4°C increase in temperature and a 2.15 mm decrease in rainfall per decade	2022-2102

2022-2102	تغییر اقلیم با کاهش ۰/۴ سانتی‌گراد دما و افزایش ۲/۱۵ میلی‌متر بارندگی به ازای هر ۱۰ سال Climate change with a 0.4°C decrease in temperature and a 2.15 mm increase in rainfall per decade	3

سناریوهای انتخاب شده در مدل برای سال‌های ۲۰۲۲ الی ۲۱۰۲ شامل حفظ وضعیت کنونی (سناریو ۱)، تغییر اقلیم با افزایش دمای هوا و کاهش میزان بارش به ازای هر ۱۰ سال (سناریو ۲) و تغییر اقلیم با کاهش دمای هوا و افزایش میزان بارش به ازای هر ۱۰ سال (سناریو ۳) هستند.

۲-۳-۴-کالیبراسیون مدل Roth C

با تغییر فاکتورهای اقلیمی (دما و بارندگی) که از ورودی‌های مدل می‌باشند و نیز نوع پوشش خاک، ضرایب تجزیه مواد آلی مرتبط با دما و پوشش خاک به‌صورت خودکار درون مدل تغییر می‌یابد. بنابراین با وارد کردن اطلاعات اقلیمی مربوط به طبقه ارتفاعی اول در مدل، سرعت تجزیه ماهیانه وابسته به دما، رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی برای منطقه موردمطالعه تغییر می‌یابد. از آنجا که میزان کربن آلی خاک به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌گردد این پارامتر در کالیبراسیون مدل Roth C از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وارد کردن میزان کربن آلی خاک در مدل میزان کربن ورودی از طریق بقایای گیاهی توسط مدل تخمین و شبیه‌سازی می‌شود. با تغییر میزان کربن ورودی به خاک از طریق بقایای گیاهی، مدل را به‌گونه‌ای کالیبره می‌کنیم که میزان کربن آلی تخمین زده شده توسط مدل با میزان کربن آلی اندازه‌گیری شده برابر یا تقریباً مساوی شود.

۲-۳-۵-اعتبارسنجی مدل Roth C

برای اعتبارسنجی، مقادیر ذخیره کربن آلی خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر محاسبه شده در مناطق ارتفاعی دوم، سوم و چهارم مقایسه شد و برای انجام این مقایسه و نشان دادن میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده و محاسبه شده، از رگرسیون خطی (Su, Yan & Tsai, 2012) و شاخص‌های آماری ضریب تبیین (Menard, 2000) (رابطه ۳)، ضریب همبستگی پیرسون (Cohen et al., 2009) (رابطه ۴)، جذر میانگین مربعات خطا (Chai & Draxler, 2014) (رابطه ۵) و راندمان مدل‌سازی (Krause, Boyle & Bäse, 2005) (رابطه ۶) استفاده گردید که برای انجام این محاسابات از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

ارتفاع Altitude (m)	مقدار شن Sand (%)	مقدار رس Clay (%)	مقدار سیلت Silt (%)	بافت خاک Soil Texture	ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks (t/ha)	جرم مخصوص ظاهری خاک Soil bulk density (gr/cm^3)	اسیدیته PH	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (ds/m)

رابطه ۳
$$R^2 = \frac{[\Sigma_{i=1}^{n}(S_i-\sigma)(O_i-\sigma)]^2}{\Sigma_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2\Sigma_{i=1}^{n}(O_i-\sigma)^2}$$

رابطه ۴
$$r = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(S_i-\sigma)(O_i-\sigma)}{\sqrt{[\Sigma_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2]\sqrt{[\Sigma_{i=1}^{n}(O_i-\sigma)^2]}}}$$

رابطه ۵
$$RMSE = \frac{100}{\sigma} \times \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^{n}(O_i-S_i)^2}{n}}$$

رابطه ۶
$$ME = 1 - \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(O_i-S_i)^2}{\Sigma_{i=1}^{n}(O_i-\sigma)^2}$$

۲-۴-آنالیزهای آماری

به‌منظور بررسی تأثیر ارتفاع منطقه بر ذخیره کربن آلی خاک از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد (Field, 2024).

۳-نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به مقادیر شن، سیلت و رس، نوع بافت، ذخیره کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی برای هر چهار طبقات ارتفاعی در جدول ۶ نشان داده شده است. خاک‌های جنگلی موردمطالعه دارای ویژگی‌های یکسانی بودند و از لحاظ میزان رس و نوع بافت، مشابه بودند. همگی فاقد آهک بودند و واکنش اسیدی داشتند و مقدار شوری آن‌ها کم بود.

جدول ۶- اطلاعات مربوط به مقادیر شن، سیلت و رس، نوع بافت، ذخیره کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی برای هر چهار طبقه ارتفاعی موردمطالعه

Table 6- Data on sand, silt, clay content, texture type, organic carbon stock, bulk density, acidity, and electrical conductivity for each of the four elevation classes under study

0.42	5.49	1.29	44.23	Silty Clay Loam	43.40	39.45	17.15	500-1000
0.36	5.44	1.14	67.20	Silty Clay Loam	49.03	37.90	13.07	1000-1500
0.26	5.29	1.10	79.47	Silty Clay Loam	47.30	39.01	13.69	1500-2000
0.19	5.19	1.05	97.46	Silty Clay Loam	49.75	39.35	10.90	2000-2500

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر ارتفاع منطقه از سطح دریا، بر ذخیره کربن آلی خاک‌ها در جدول ۷ و نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر عامل ارتفاع از سطح دریا بر غلظت و ذخیره کربن آلی خاک در سطح یک درصد (P۰/۰۱≥) معنی‌دار است (جدول ۷) و با افزایش ارتفاع از سطح دریا، غلظت و ذخیره کربن آلی خاک‌ها نیز افزایش یافتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر آن‌ها مربوط به طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متری به میزان ٪ ۲.۶۲ و ۹۷.۴۶ تن بر هکتار و کم‌ترین مقادیر آن‌ها، مربوط به طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۵۰۰ متری به میزان ٪ ۰.۹۴ و ۴۴.۲۳ تن بر هکتار بود (جدول ۸). نتیجه این پژوهش با نتیجه بسیاری از پژوهش‌های دیگر در مناطق مختلف دنیا هم‌خوانی دارد (Dieleman, Venter, Ramachandra, Krockenberger & Bird, 2013; Banday, Bhardwaj & Pala, 2019; Zhang et al., 2021). یک پژوهش در مغولستان دلیل افزایش کربن آلی خاک در ارتفاعات بالاتر را ناشی از افزایش زیست‌توده گیاهی در اثر بارش‌های بیشتر بیان کرده است (Smith et al., 1997). در جدول ۹ نیز نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین ارتفاع از سطح دریا و بارندگی منطقه با غلظت و ذخیره کربن آلی خاک ارائه شده است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود بین غلظت و ذخیره کربن آلی خاک با ارتفاع منطقه از سطح دریا (r =0.993** و r=0.993**) و میزان بارندگی (r= 0.960* و r=0.958**) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. در پژوهشی دیگری که در ارتفاعات شمال غربی هیمالیا انجام شد، افزایش میزان کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع را به‌سرعت پایین تجزیه مواد آلی در ارتفاعات نسبت داده شد (Banday et al., 2019). به دلیل کاهش دما در ارتفاعات بالاتر، فعالیت میکروبی کندتر شده و درنتیجه تجزیه مواد آلی و هدر رفت آن کاهش می‌یابد (Yang, Mohammat, Feng, Zhou & Fang, 2007). همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، در این پژوهش نیز با افزایش ارتفاع از سطح دریا، متوسط دمای سالیانه منطقه کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار متوسط دمای سالیانه مربوط به طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۵۰۰ متری به میزان ۲۶.۹۳ سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متری به مقدار ۱۵.۸۳ سانتی‌گراد است که این کاهش دما در ارتفاعات بالاتر، باعث کاهش سرعت تجزیه مواد آلی و درنتیجه بالا رفتن مقدار ذخیره آن می‌شود

(Li, Wang, Endo, Zhao & Kakubari, 2010; Deng, Liu & Shangguan, 2014; Njeru et al., 2017).

جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان می‌دهد بیش‌ترین غلظت و ذخیره کربن آلی در خاک‌های واقع شده در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری به میزان ۲.۶۲ درصد و ۹۷.۴۶ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از غلظت و ذخیره کربن آلی اندازه‌گیری شده در سایر طبقات ارتفاعی بود. با کاهش ارتفاع اراضی از سطح دریا غلظت و ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که کم‌ترین غلظت و ذخیره کربن آلی به میزان ۰.۹۴ درصد و ۴۴.۲۳ تن بر هکتار در طبقه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر اندازه‌گیری شد (جدول ۸).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تأثیر ارتفاع از سطح دریا منطقه بر غلظت و ذخیره کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی در منطقه موردمطالعه.

Table7- Results of variance analysis on the impact of altitude above sea level on organic carbon concentration and stock in forest soils in the study area

منبع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **df**	میانگین مربعات **Mean square**	
		درصد کربن آلی خاک **Organic Carbon Content**	ذخیره کربن آلی **Organic Carbon Stocks**
ارتفاع **Altitude**	3	1.487 **	**1479.223
خطا **Error**	6	0.026	0.209

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های بررسی تأثیر ارتفاع منطقه بر غلظت و ذخیره کربن آلی خاک.

Table 8- Comparison of means regarding the effect of altitude on organic carbon concentration and stock in soil

ویژگی‌های خاک **Soil properties**	ارتفاع **Altitude**			
	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500
درصد کربن آلی **Organic Carbon Content (%)**	0.94[d]	1.68[c]	2.05[b]	2.62[a]
ذخیره کربن آلی **Organic Carbon Stocks (t/ha)**	44.23[d]	67.20[c]	79.47[b]	97.46[a]

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن است.

جدول ۹- ضرایب همبستگی پیرسون (r) برای ارتفاع از سطح دریا، بارش و دما با غلظت و ذخیره کربن آلی اندازه‌گیری شده در موردمطالعه.

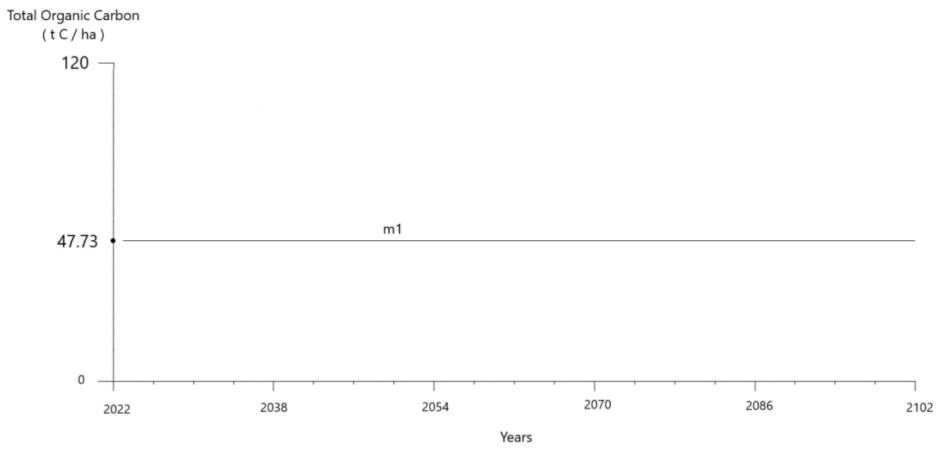
Table 9- Pearson correlation coefficients (r) for altitude, precipitation, and temperature with measured organic carbon concentration and stock in the study area

ذخیره کربن آلی **Organic Carbon Stocks**	درصد کربن آلی **Organic Carbon Content**	
0.993**	0.993**	ارتفاع Altitude
0.960*	0.958*	بارش Precipitation
-0.971*	0.970*	دما Temperature

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار.

۳-۱-کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

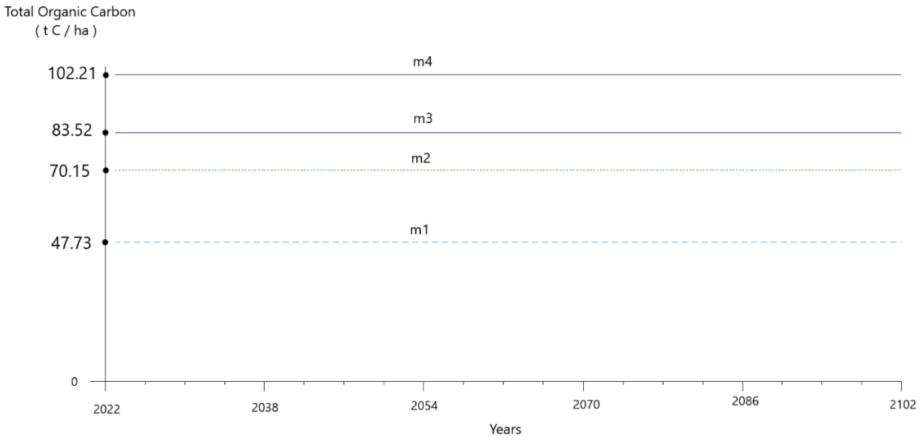
نتایج به‌دست آمده از کالیبراسیون مدل برای ذخیره کربن آلی خاک در اولین طبقه ارتفاعی منطقه موردمطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ذخیره کربن آلی شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقدار اندازه‌گیری شده آن تقریباً برابر است. ذخیره کربن آلی خاک در اولین طبقه ارتفاعی منطقه موردمطالعه به میزان، ۴۴.۲۳ تن بر هکتار اندازه‌گیری شده است و مدل نیز مقدار ۴۷.۷۳ تن بر هکتار را شبیه‌سازی کرده است که مدل مقدار ۳.۵ تن بر هکتار کربن آلی بیشتری را شبیه‌سازی کرده است (شکل ۳).



شکل ۳- خروجی مدل برای ذخیره کربن آلی در طبقه ارتفاعی اول منطقه موردمطالعه تا سال ۲۱۰۲.

Fig.3. Model output for organic carbon stock in the first elevation class of the study area until 2102.

ذخیره کربن آلی خاک مربوط به سه‌طبقه ارتفاعی دیگر بعد از اعمال کالیبراسیون به مدل داده شد تا دقت مدل در شبیه‌سازی ذخیره کربن آلی خاک، مورد ارزیابی قرار گیرد. ذخیره کربن آلی (تن بر هکتار) اندازه‌گیری شده برای طبقات ارتفاعی دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۶۷.۲۰، ۷۹.۴۷ و ۹۷.۴۶ و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای این طبقات ارتفاعی به ترتیب ۷۰.۱۵، ۸۳.۵۲ و ۱۰۲.۲۱ است. بدین ترتیب، مدل برای طبقات ارتفاعی دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲.۹۵، ۴.۰۵ و ۴.۷۵ تن بر هکتار کربن آلی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد (شکل ۴).

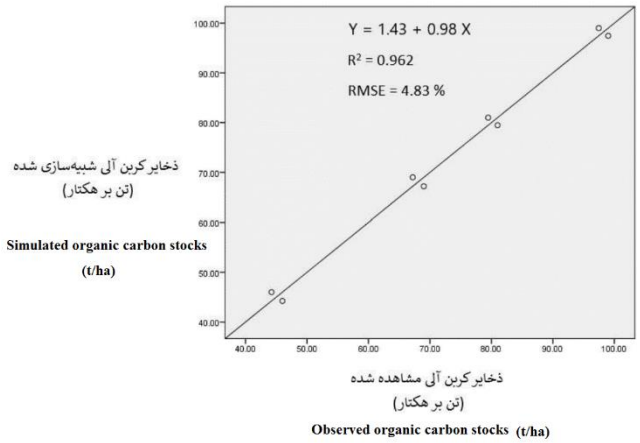


شکل ۴- خروجی مدل برای ذخیره کربن آلی خاک در هر چهار طبقه ارتفاعی در منطقه موردمطالعه تا سال ۲۱۰۲.

Fig.4. Model output for organic carbon stock in soil for all four elevation classes in the study area until 2102

در شکل ۴، نمودارهای m1، m2، m3 و m4 به ترتیب مربوط به طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم هستند که نشان می‌دهند ذخیره کربن آلی خاک ارتفاعات مختلف با محیط به حالت تعادل است و با گذشت زمان تغییر نمی‌کند.

نتایج مربوط به رگرسیون خطی در شکل ۵ و شاخص‌های آماری ضریب تبیین و ضریب همبستگی پیرسون، جذر میانگین مربعات خطا و همچنین راندمان مدل‌سازی که برای اعتبارسنجی مدل لازم می‌باشند، در جدول ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۵- اعتبارسنجی مدل با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ذخایر کربن آلی در هر چهار طبقه ارتفاعی در سال ۲۰۲۲.

Fig.5. Model validation by comparing simulated and observed organic carbon stock data in all four elevation classes in 2022

جدول ۱۰- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای اعتبارسنجی مدل.

Table10- Statistical indices calculated for model validation

پارامتر **Parameter**	شاخص‌های آماری **Statistical Indices**			
	ضریب همبستگی Correlation	ضریب تبیین Coefficient of determination	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	راندمان مدل‌سازی Modeling efficiency
کربن آلی Organic Carbon	0.97	0.95	4.83	0.94

نتایج نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند با دقت بسیار بالا ذخیره کربن آلی خاک را در منطقه موردمطالعه شبیه‌سازی کند. حداکثر اختلاف بین داده‌های ذخیره کربن آلی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برابر با ۴.۷۵ تن بر هکتار (۴.۶۵ درصد) که مربوط به طبقه ارتفاعی چهارم است و کمترین اختلاف نیز برای طبقه ارتفاعی دوم به میزان ۲.۹۵ تن بر هکتار (۴.۲۰ درصد) به‌دست آمد. وجود ضریب تبیین ($0.95(R^2$) نشان می‌دهد ۹۵ درصد تغییرات ذخیره کربن شبیه‌سازی شده توسط مدل از تغییرات ذخیره کربن اندازه‌گیری شده منشأ می‌گیرد و اختلاف واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی کم می‌باشد (Smith et al., 1997). ضریب همبستگی برای ذخیره کربن آلی شبیه‌سازی شده توسط مدل بزرگ‌تر از صفر و برابر با ۰.۹۷ است که نشان‌دهنده درجه بالایی از ارتباط و همبستگی مثبت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده است.

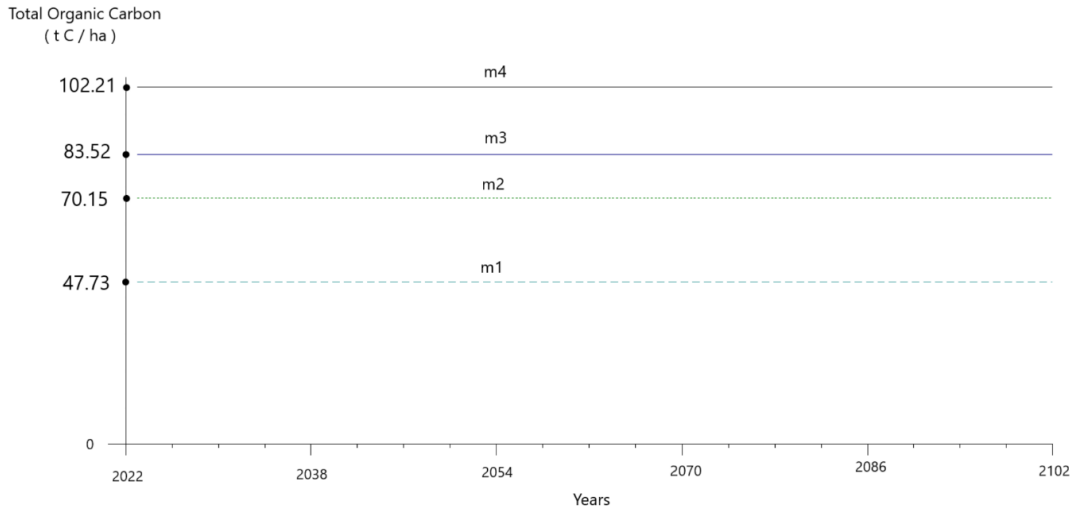
جذر میانگین مربعات خطا در حد اطمینان ۹۵ درصد برای ذخایر کربن آلی خاک برابر ۴.۸۳ بود. محققین از جذر میانگین مربعات خطا به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور در ارزیابی مدل استفاده کردند (Farina, Coleman & Whitmore, 2013). راندمان مدل‌سازی نیز برابر ۰.۹۴ و مثبت بود که نشان می‌دهد که این مدل دقیق روند تغییر ذخایر کربن آلی خاک را در چهار طبقه ارتفاعی موردمطالعه توصیف می‌کند.

۳-۲-شبیه‌سازی سناریوهای مختلف توسط مدل

سناریوهای انتخاب شده برای مدل برای سال‌های ۲۰۲۲ الی ۲۱۰۲ شامل حفظ وضعیت کنونی (سناریو ۱)، تغییر اقلیم با افزایش دمای هوا و کاهش میزان بارش به ازای هر ۱۰ سال (سناریو ۲) و تغییر اقلیم با کاهش دمای هوا و افزایش میزان بارش به ازای هر ۱۰ سال (سناریو ۳) می‌باشند.

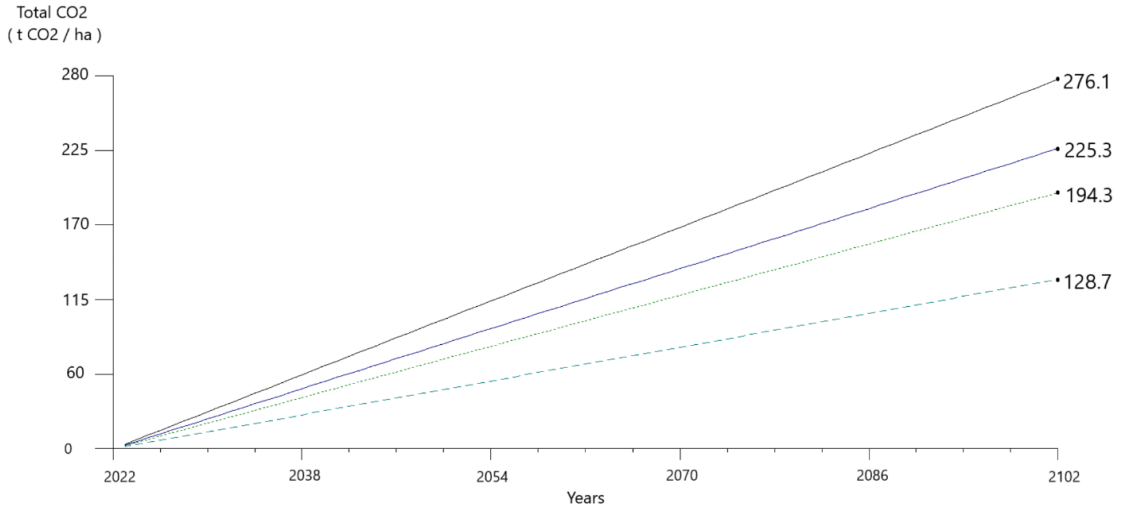
۳-۲-۱-سناریو اول (سناریو بدون تغییر اقلیم)

در سناریو اول، که حفظ وضعیت کنونی است نتیجه مدل حاکی از در تعادل بودن ذخیره کربن آلی خاک با محیط دارد (شکل ۶). به این صورت که مقدار کربن ورودی با خروجی برابر است و ذخیره کربن آلی خاک با زمان تغییر نمی‌کند. در شکل ۶، نمودارهای m1، m2، m3 و m4 به ترتیب مربوط به طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم هستند که نشان می‌دهد ذخیره کربن آلی خاک با محیط در حالت تعادل است و قدرمطلق مقدار ذخیره کربن آلی در طبقات ارتفاعی مختلف به دلیل متفاوت بودن شرایط آب‌وهوایی، مختلف است ولی در هرسال مقداری دی‌اکسید کربن (CO_2) تولید می‌شود که همان کربن خروجی است و مدل نشان می‌دهد که مقدار تجمعی دی‌اکسید کربن با گذر زمان افزایش می‌یابد (شکل ۷). علاوه بر این مقدار CO_2 تولیدی در هر طبقه ارتفاعی بسته به شرایط آب‌وهوایی آن منطقه متفاوت است و از ۲۷۶.۱ تن بر هکتار در سال در بالاترین طبقه ارتفاعی تا ۱۲۸.۷ تن بر هکتار در سال در پایین‌ترین طبقه ارتفاعی تغییر می‌کند (شکل ۷).



شکل ۶- خروجی مدل برای ذخیره کربن آلی خاک در هر چهار طبقه ارتفاعی تا سال ۲۱۰۲ (سناریو بدون تغییر اقلیم).

Fig.6. Model output for organic carbon stock in soil in all four elevation classes until 2102 (no climate change scenario)

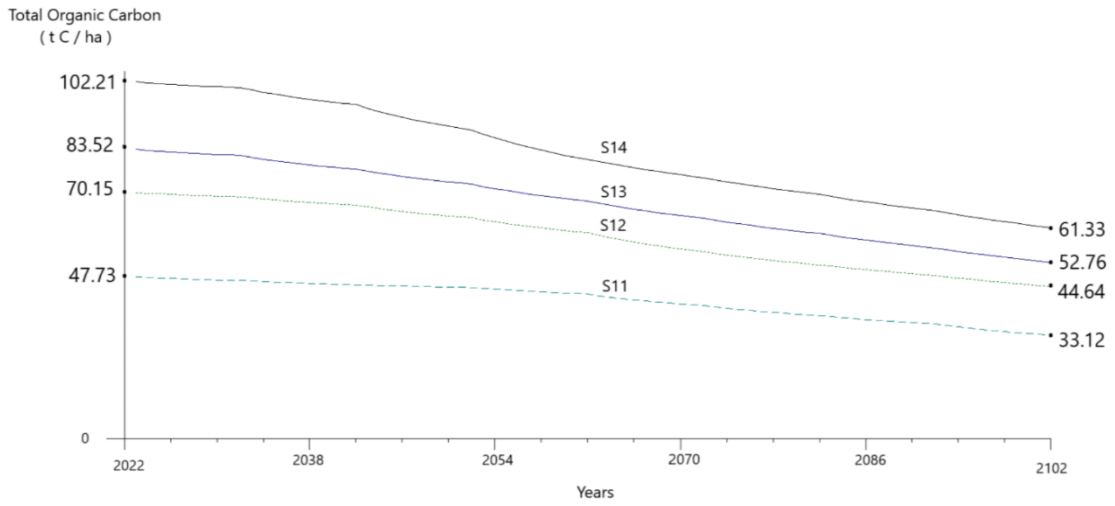


شکل ۷- خروجی مدل برای دی‌اکسید کربن تجمعی تا سال ۲۱۰۲ در هر چهار طبقه ارتفاعی در منطقه موردمطالعه (سناریو بدون تغییر اقلیم).

Fig.7. Model output for cumulative carbon dioxide until 2102 in all four elevation classes in the study area (no climate change scenario)

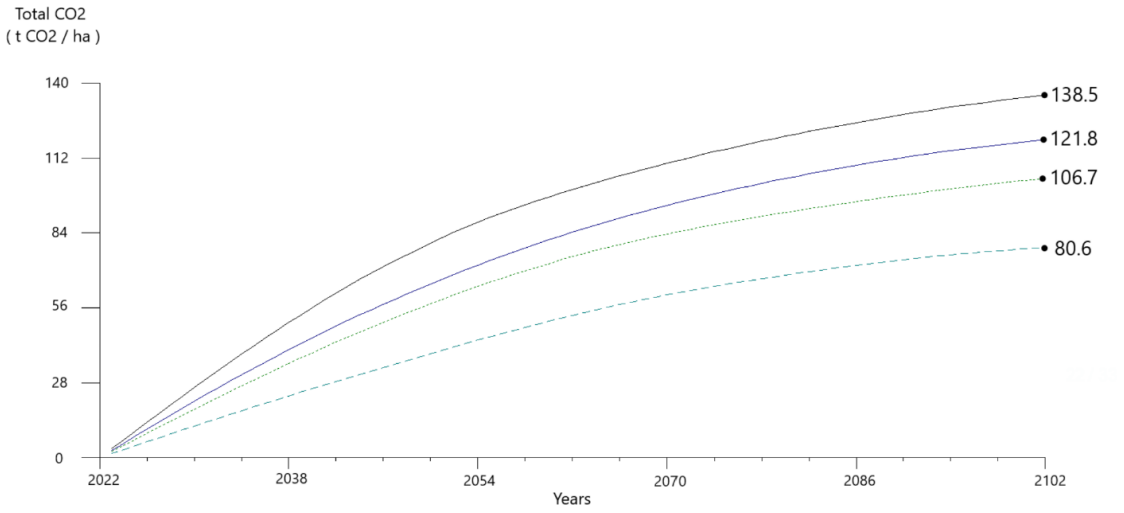
۳-۲-۲-سناریو دوم (سناریو با تغییر اقلیم)

در سناریو دوم تغییر اقلیم با افزایش ۰.۴ سانتی‌گراد دما و کاهش ۲.۱۵ میلی‌متر بارش به ازای هر ۱۰ سال اعمال شد. مدل نشان داد که تا سال ۲۱۰۲ میلادی، میزان ذخیره کربن آلی خاک نسبت به وضعیت کنونی (سناریو ۱) کاهش می‌یابد (شکل ۸). بر اساس این سناریو تا پایان سال ۲۱۰۲ میلادی در طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۳۳.۱۲، ۴۴.۶۴، ۵۲.۷۶ و ۶۱.۳۳ تن بر هکتار ذخیره کربن آلی برآورد شد (شکل ۸) که به ترتیب ۳۳.۵۴، ۳۶.۳۶، ۳۶.۸۳ و ۴۰.۰۱ درصد کم‌تر از ذخیره کربن آلی طبقه ارتفاعی مشابه در سناریو اول می‌باشد. در شکل ۸، نمودارهای s11، s12، s13 و s14 به ترتیب شبیه‌سازی مدل از ذخیره کربن آلی در طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم با اعمال سناریو دوم است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاهش ذخیره کربن آلی برای نقاط مرتفع‌تر بیش‌تر است (شکل ۸). نمودار تجمعی دی‌اکسید کربن (CO_2) مربوط به سناریو دوم در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سناریو دوم نیز مقدار تجمعی دی‌اکسید کربن با گذر زمان افزایش می‌یابد ولی مقدار تولید آن کم‌تر از سناریو اول است که این امر به دلیل کاهش میزان کربن ورودی به خاک است (شکل ۹).



شکل ۸- خروجی مدل برای ذخیره کربن آلی خاک در هر چهار طبقه ارتفاعی تا سال ۲۱۰۲ در منطقه موردمطالعه با اعمال تغییرات اقلیمی (سناریو دوم).

Fig.8. Model output for organic carbon stock in soil in all four elevation classes until 2102 in the study area with climate change (second scenario)



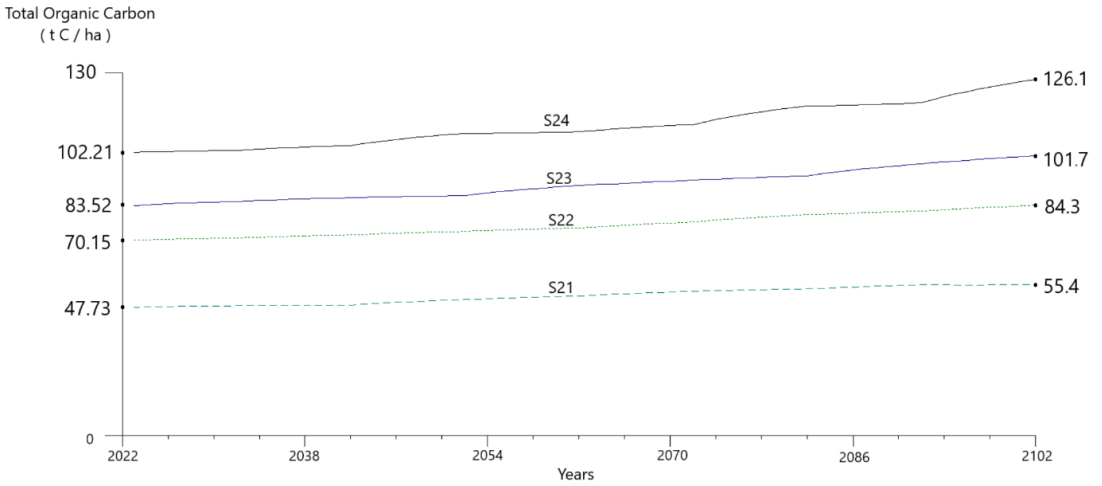
شکل ۹- خروجی مدل برای دی‌اکسید کربن تجمعی تا سال ۲۱۰۲ در هر چهار طبقه ارتفاعی در منطقه موردمطالعه با اعمال تغییرات اقلیمی (سناریو دوم).

Fig.9. Model output for cumulative carbon dioxide until 2102 in all four elevation classes in the study area with climate change (second scenario)

۳-۲-۳-سناریو سوم (سناریو با تغییر اقلیم)

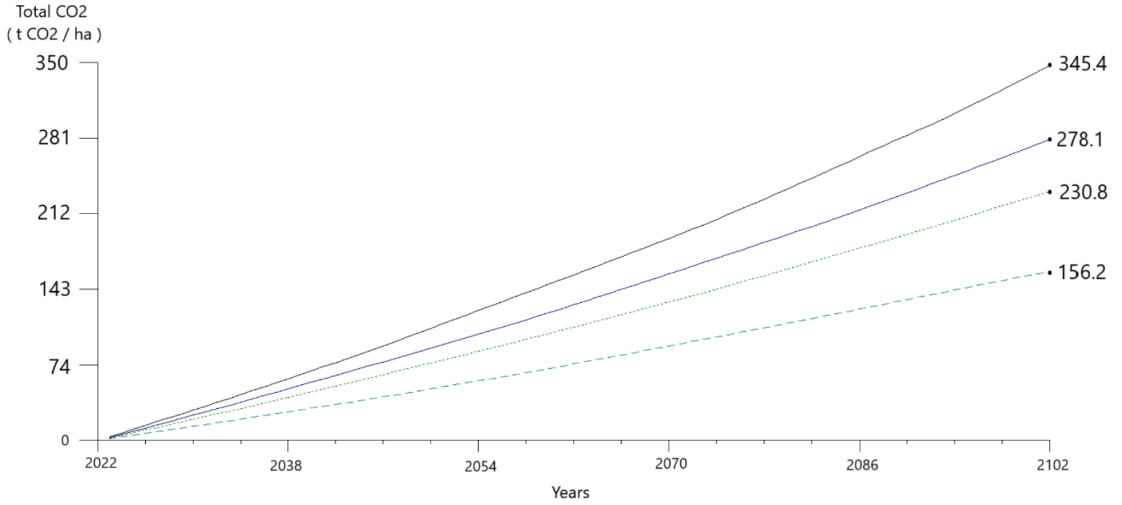
در سناریو سوم، تغییر اقلیم به‌صورت عکس سناریو دوم اعمال گردید (شکل ۱۰). دلیل انتخاب این سناریو، نشان دادن اهمیت تغییر اقلیم و پارامترهای هواشناسی بر ذخیره کربن آلی خاک بود. در این سناریو، کاهش ۰.۴ سانتی‌گراد دما و افزایش ۲.۱۵ میلی‌متر بارش به ازای هر ۱۰ سال اعمال شد (شکل ۱۰). بر اساس این سناریو تا پایان سال ۲۱۰۲ میلادی در طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۵۵.۴۰، ۸۴.۳۰، ۱۰۱.۷۰ و ۱۲۶.۱۰ تن بر هکتار ذخیره کربن آلی برآورد می‌شود (شکل ۱۰) که به ترتیب ۱۳.۸۴، ۱۶.۷۸، ۱۷.۸۷ و ۱۸.۹۴ درصد بیش‌تر از ذخیره کربن آلی طبقه ارتفاعی مشابه در سناریو اول می‌باشد. در شکل ۱۰، نمودارهای s21، s22، s23 و s24 به ترتیب شبیه‌سازی مدل از ذخیره کربن آلی خاک در طبقات ارتفاعی اول، دوم، سوم و چهارم با اعمال سناریو سوم است که نشان می‌دهد ذخیره کربن آلی خاک در نقاط مرتفع‌تر بیش‌تر افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). نمودار تجمعی دی‌اکسید کربن (CO_2) تولیدی مربوط به سناریو سوم نیز در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار تجمعی دی‌اکسید کربن با گذر زمان افزایش

می‌یابد (شکل ۱۱) و مقدار تولید آن نیز بیش‌تر از سناریو اول است که دلیل آن افزایش مقدار کربن ورودی با اعمال این سناریو می‌باشد.



شکل ۱۰- خروجی مدل برای ذخیره کربن آلی خاک در هر چهار طبقه ارتفاعی تا سال ۲۱۰۲ در منطقه موردمطالعه با اعمال تغییرات اقلیمی (سناریو سوم).

Fig.10. Model output for organic carbon stock in soil in all four elevation classes until 2102 in the study area with climate change (third scenario)

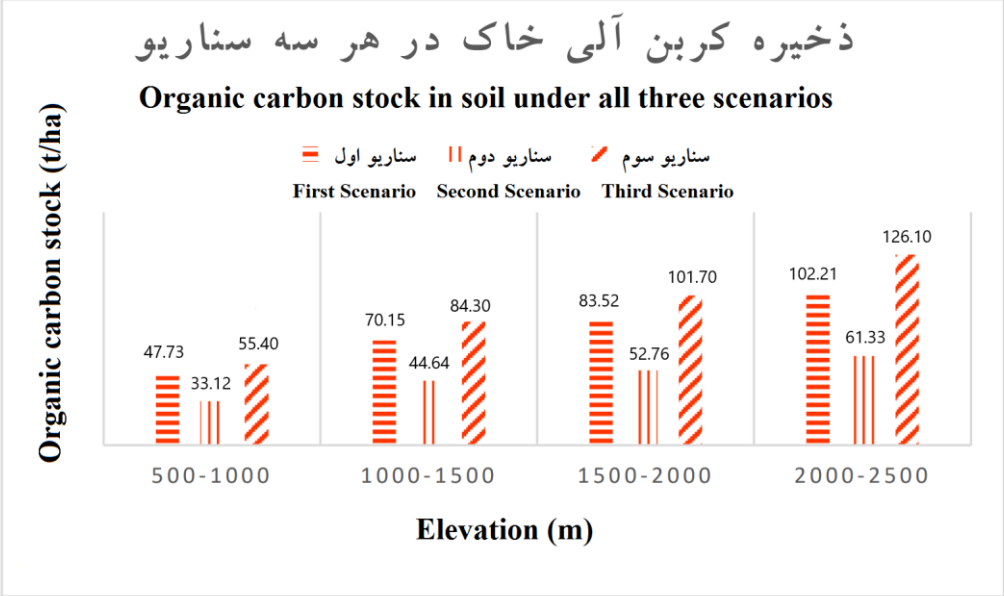


شکل ۱۱- خروجی مدل برای دی‌اکسید کربن تجمعی تا سال ۲۱۰۲ در هر چهار طبقه ارتفاعی در منطقه موردمطالعه با اعمال تغییرات اقلیمی (سناریو سوم).

Fig.11. Model output for cumulative carbon dioxide until 2102 in all four elevation classes in the study area with climate change (third scenario)

نتایج حاصل از اعمال هر سه سناریو، با یافته‌های سایر محققین مطابقت داشت (Yokozawa et al., 2010; Fallahi, Rezvani Moghaddam, Nassiri Mahallati & Behdani, 2013; Soleimani et al., 2017). گروهی با استفاده از این مدل کاهش محتوای کربن آلی خاک را در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نسبت به سناریو بدون تغییر اقلیم برای دهه‌های آینده در سراسر اسپانیا پیش‌بینی نمودند (Jebari, Del Prado, Pardo, Rodriguez Martin & Álvaro-Fuentes, 2018). تحقیقات نشان داده است که در میان پارامترهای اقلیمی، دما و بارندگی بیشترین تأثیر را بر مقدار ماده آلی خاک دارد (Shakiba & Rahnama, 2003). شواهد حاکی از آن است که مقدار کربن آلی خاک با کاهش میزان بارندگی کاهش می‌یابد، ولی در هر سطحی از بارش مقدار ماده آلی خاک با افزایش دمای هوا کاهش می‌یابد (Singh, Pandey, Sidhu, Sarkar & Sagar, 2011). نتایج اکثر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد افزایش دمای هوا با افزایش سرعت تجزیه میکروبی و فرایند معدنی شدن باعث کاهش مقدار ماده آلی خاک می‌شود (Smith et al., 1997; Köchy, Don, van der Molen Freibauer, 2015) و تعداد کمتری از محققین نیز بر این باورند که افزایش دمای هوا موجب افزایش میزان تولید بقایای گیاهی و درنتیجه باعث افزایش کربن ورودی به خاک و درنهایت میزان ماده آلی خاک می‌شود (Rampazzo Todorovic et al., 2010)، که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی ندارد.

در شکل ۱۲ به‌طور خلاصه مقدار کربن آلی ذخیره شده در هر چهار طبقه ارتفاعی در هر سه سناریو اعمال شده نشان داده شده است و این شکل نشان می‌دهد در تمام سناریوها نقاط مرتفع‌تر، دارای ذخیره کربن آلی بیشتری نسبت به نقاط پست‌تر هستند. علاوه بر این در اثر تغییر اقلیمی که با کاهش بارندگی و افزایش دما همراه می‌باشد ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی طبقات ارتفاعی مختلف کاهش می‌یابد. درصورتی‌که چنانچه تغییر اقلیم با کاهش دما و افزایش بارندگی همراه باشد ذخیره کربن آلی خاک افزایش می‌یابد و این افزایش برای نقاط مرتفع‌تر بیش‌تر است.



شکل ۱۲- مقدار ذخیره کربن آلی در هر چهار طبقه ارتفاعی منطقه موردمطالعه در هر سه سناریو اعمال شده

Fig.12. Amount of organic carbon stock in each of the four elevation classes in the study area for all three applied scenarios.

۴-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر ارتفاع از سطح دریا و تغییر اقلیم بر ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی در منطقه تالش استان گیلان موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل عواملی مانند افزایش میزان بارندگی و کاهش دما است. تغییر اقلیم نیز می‌تواند بر ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. درصورتی‌که تغییر اقلیم منجر به افزایش دما و کاهش بارندگی شود، ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی کاهش خواهد یافت. در مقابل، اگر تغییر اقلیم منجر به کاهش دما و افزایش بارندگی شود، ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی افزایش خواهد یافت. این مطالعه نشان داد خاک‌های جنگلی، به‌ویژه خاک‌های واقع شده در ارتفاعات بالاتر، نقش مهمی در جذب و ذخیره کربن اتمسفری دارند. تغییر اقلیم می‌تواند این نقش را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین، مدیریت پایدار جنگل‌ها و خاک‌های جنگلی، برای کاهش اثرات تغییر اقلیم بر محیط‌زیست، ضروری است. در مطالعات آینده، باید به کمک مدل‌های موجود، تأثیر اقدامات مدیریتی که باعث کاهش سرعت تجزیه ماده آلی و هدر رفت آن به‌صورت گاز کربنیک می‌شود، موردبررسی قرار گیرند.

همچنین، در دسترس نبودن داده‌های هواشناسی برای خاک‌های جنگلی واقع در ارتفاعات، یکی از محدودیت‌های این پژوهش است که در آینده باید به آن توجه شود.

References

Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *168*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003

Ahmad Dar, J., & Somaiah, S. (2015). Altitudinal variation of soil organic carbon stocks in temperate forests of Kashmir Himalayas, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, *187*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s10661-014-4204-9

Banday, M., Bhardwaj, D. R., & Pala, N. A. (2019). Influence of forest type, altitude and NDVI on soil properties in forests of North Western Himalaya, India. *Acta Ecologica Sinica*, *39*(1), 50-55. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.06.001

Bangroo, S. A., Najar, G. R., & Rasool, A. (2017). Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range. *Catena*, *158*, 63-68. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.017

Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S., Srivastva, A. K., Gupta, H. S., & Mitra, S. (2010). Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *86*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s10705-009-9270-y

Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). *Particle density. Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*. Arnold Klute *5*, 377-382. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c14

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., ... & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *236*, 243-255. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011

Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?–Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, *7*(3), 1247-1250. https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014

Choudhury, B. U., Fiyaz, A. R., Mohapatra, K. P., & Ngachan, S. (2016). Impact of land uses, agrophysical variables and altitudinal gradient on soil organic carbon concentration of North-Eastern Himalayan Region of India. *Land Degradation & Development*, *27*(4), 1163-1174. https://doi.org/10.1002/ldr.2338

Christensen, B. T. (1992). Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, *20*, 1-90. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2930-8_1

Cohen, I., Huang, Y., Chen, J., Benesty, J., Benesty, J., Chen, J., ... & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. *Noise reduction in speech processing*, 1-4. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00296-0_5

Dahlgren, R. A., Boettinger, J. L., Huntington, G. L., & Amundson, R. G. (1997). Soil development along an elevational transect in the western Sierra Nevada, California. *Geoderma*, *78*(3-4), 207-236. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00034-7

Deng, L., Liu, G. B., & Shangguan, Z. P. (2014). Land-use conversion and changing soil carbon stocks in C hina's ‘Grain-for-Green’Program: a synthesis. *Global Change Biology*, *20*(11), 3544-3556. https://doi.org/10.1111/gcb.12508

Dieleman, W. I., Venter, M., Ramachandra, A., Krockenberger, A. K., & Bird, M. I. (2013). Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage. *Geoderma*, *204*, 59-67. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.005

Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S., ... & Chenu, C. (2024). Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology*, *30*(1), e16983. https://doi.org/10.1111/gcb.16983

Dwivedi, D., Riley, W. J., Torn, M. S., Spycher, N., Maggi, F., & Tang, J. Y. (2017). Mineral properties, microbes, transport, and plant-input profiles control vertical distribution and age of soil carbon stocks. *Soil Biology and Biochemistry*, *107*, 244-259. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.019

Fallahi, J., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., & Behdani, M. A. (2013). Validation of RothC model for evaluation of carbon sequestration in a restorated ecosystem under two different climatic scenarios. *Water and Soil*, *27*(3), 656-668. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26092

Farina, R., Coleman, K., & Whitmore, A. P. (2013). Modification of the RothC model for simulations of soil organic C dynamics in dryland regions. *Geoderma*, *200*, 18-30. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.021

Field, A. (2024). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage publications limited.

Gee, G. W. & Or, D. (2002) *Particle Size Analysis*. In: Dane, J.H. and Topp, G.C., Eds., Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Soils Science Society of America, Book Series No. 5, Madison, 255-293.https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12

Gibbins, J., & Chalmers, H. (2008). Carbon capture and storage. *Energy Policy*, *36*(12), 4317-4322. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.058

Jebari, A., Del Prado, A., Pardo, G., Rodriguez Martin, J. A., & Álvaro-Fuentes, J. (2018). Modeling regional effects of climate change on soil organic carbon in Spain. *Journal of Environmental Quality*, *47*(4), 644-653. https://doi.org/10.2134/jeq2017.07.0294

Jenkinson, D. S., & Coleman, K. (2008). The turnover of organic carbon in subsoils. Part 2. Modelling carbon turnover. *European Journal of Soil Science*, *59*(2), 400-413. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01026.x

Kaczynski, R., Siebielec, G., Hanegraaf, M. C., & Korevaar, H. (2017). Modelling soil carbon trends for agriculture development scenarios at regional level. *Geoderma*, *286*, 104-115. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.026

Kashi Zenouzi, L., Shafiee, B., & Jafari, A. A. (2016). Investigating the Effect of Some Environmental Factors on Organic Carbon in ZilberChay Watershed. *Journal of Water and Soil Science*, *20*(76), 207-218. [In Persian] http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.76.207

Kaveh, A., Mahdian, M. H., Parvizi, Y., Sokouti Oskouei, R., & Masihabadi, M. H. (2014). Investigating effects of topography, soil and climate factors on soil organic carbon storage in drylands of Kermanshah Province. *Desert Management*, *2*(4), 51-65. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jdmal.2014.16659

Kazemi Rad, L., & Mohammadi, H. (2016). Climate change assessment by using LARS-WG model in Gilan Province (Iran). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *4*(4), 55-74. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v4i4.38892

Köchy, M., Don, A., van der Molen, M. K., & Freibauer, A. (2015). Global distribution of soil organic carbon–Part 2: Certainty of changes related to land use and climate. *Soil*, *1*(1), 367-380. https://doi.org/10.5194/soil-1-367-2015

Komarov, A., Chertov, O., Bykhovets, S., Shaw, C., Nadporozhskaya, M., Frolov, P., ... & Zubkova, E. (2017). Romul_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing. *Ecological Modelling*, *345*, 113-124. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.08.007

Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, *5*, 89-97. https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005

Li, J., Shi, J., Zhang, D. D., Yang, B., Fang, K., & Yue, P. H. (2017). Moisture increase in response to high-altitude warming evidenced by tree-rings on the southeastern Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, *48*, 649-660. https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-016-3101-z

Li, P., Wang, Q., Endo, T., Zhao, X., & Kakubari, Y. (2010). Soil organic carbon stock is closely related to aboveground vegetation properties in cold-temperate mountainous forests. *Geoderma*, *154*(3-4), 407-415. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.023

Mansuri, E., Karimi, A., Emamy, H., & Parvizi, Y. (2017). Investigation the Factors affecting soil organic carbon along a gradient climate in Kermanshah Province. *Journal of Natural Environment*, *70*(1), 197-210. https://doi.org/10.22059/jne.2017.134974.1031

Menard, S. (2000). Coefficients of determination for multiple logistic regression analysis. *The American Statistician*, *54*(1), 17-24. https://doi.org/10.1080/00031305.2000.10474502

Muñoz-Rojas, M., Abd-Elmabod, S. K., Zavala, L. M., De la Rosa, D., & Jordán, A. (2017). Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: A case study in Northern Egypt. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *238*, 142-152. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.001

Nemoto, R. (2010). *Long-term soil carbon changes in different agricultural management systems under past and future climate.* Doctoral dissertation, University of Bern. https://occrdata.unibe.ch/students/theses/msc/35.pdf

Nieto, O. M., Castro, J., & Fernández-Ondoño, E. (2013). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. *Plant and Soil*, *365*, 321-335. https://doi.org/10.1007/s11104-012-1395-0

Njeru, C. M., Ekesi, S., Mohamed, S. A., Kinyamario, J. I., Kiboi, S., & Maeda, E. E. (2017). Assessing stock and thresholds detection of soil organic carbon and nitrogen along an altitude gradient in an east Africa mountain ecosystem. *Geoderma Regional*, *10*, 29-38. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.04.002

Papiernik, S. K., Lindstrom, M. J., Schumacher, T. E., Schumacher, J. A., Malo, D. D., & Lobb, D. A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil and Tillage Research*, *93*(2), 335-345. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.007

Parton, W. J., Schimel, D. S., Cole, C. V., & Ojima, D. S. (1987). Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, *51*(5), 1173-1179. https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100050015x

Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P., & Antoine, J. (2004). *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes* (Vol. 1). Food & Agriculture Org.

Qiu, W., Li, Q., Lei, Z. K., Qin, Q. H., Deng, W. L., & Kang, Y. L. (2013). The use of a carbon nanotube sensor for measuring strain by micro-Raman spectroscopy. *Carbon*, *53*, 161-168. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.10.043

Quideau, S. A. (2002). *Organic matter accumulation*. *Encyclopedia of Soil Science*, *26*, 1-4.

Ramesh, T., Manjaiah, K. M., Tomar, J. M. S., & Ngachan, S. V. (2013). Effect of multipurpose tree species on soil fertility and CO 2 efflux under hilly ecosystems of Northeast India. *Agroforestry Systems*, *87*, 1377-1388. https://doi.org/10.1007/s10457-013-9645-6

Rampazzo Todorovic, G., Stemmer, M., Tatzber, M., Katzlberger, C., Spiegel, H., Zehetner, F., & Gerzabek, M. H. (2010). Soil-carbon turnover under different crop management: Evaluation of RothC-model predictions under Pannonian climate conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *173*(5), 662-670. https://doi.org/10.1002/jpln.200800311

Rousta, M. J., Soleimanpour, S. M., Enayati, M., & Pakparvar, M. (2022). Effect of vegetation type and soil chemical properties on the organic carbon content in the soil of flood spreading fields of Kowsar station. https://doi.org/10.52547/ifej.10.19.171

Senthilkumar, S., Kravchenko, A. N., & Robertson, G. P. (2009). Topography influences management system effects on total soil carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, *73*(6), 2059-2067. https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0392

Shakiba, A., & Rahnama, M. (2003). The impact of climate change on soil carbon variations. In *Third Regional Conference on Climate Change, Meteorological Organization, Isfahan*.[In Persian] https://civilica.com/doc/12499

Shirato, Y., & Yokozawa, M. (2005). Applying the Rothamsted Carbon Model for long-term experiments on Japanese paddy soils and modifying it by simple tuning of the decomposition rate. *Soil Science & Plant Nutrition*, *51*(3), 405-415. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00046.x

Singh, S. K., Pandey, C. B., Sidhu, G. S., Sarkar, D., & Sagar, R. (2011). Concentration and stock of carbon in the soils affected by land uses and climates in the western Himalaya, India. *Catena*, *87*(1), 78-89. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.008

Sinoga, J. D. R., Pariente, S., Diaz, A. R., & Murillo, J. F. M. (2012). Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). *Catena*, *94*, 17-25. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.004

Smith, P., Smith, J. U., Powlson, D. S., McGill, W. B., Arah, J. R. M., Chertov, O. G., ... & Whitmore, A. P. (1997). A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, *81*(1-2), 153-225. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00087-6

Soleimani, A., Hosseini, S. M., Bavani, A. R. M., Jafari, M., & Francaviglia, R. (2017). Simulating soil organic carbon stock as affected by land cover change and climate change, Hyrcanian forests (northern Iran). *Science of The Total Environment*, *599*, 1646-1657. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.077

Su, X., Yan, X., & Tsai, C. L. (2012). Linear regression. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, *4*(3), 275-294. https://doi.org/10.1002/wics.1198

TerraClimate.https://climate.northwestknowledge.net/TERRACLIMATE/index_directDownloads.php

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Wan, Y., Lin, E., Xiong, W., & Guo, L. (2011). Modeling the impact of climate change on soil organic carbon stock in upland soils in the 21st century in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *141*(1-2), 23-31. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.004

Wang, J., Wang, X., Xu, M., Feng, G., Zhang, W., & Lu, C. A. (2015). Crop yield and soil organic matter after long-term straw return to soil in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *102*, 371-381. https://doi.org/10.1007/s10705-015-9710-9

Yang, Y., Mohammat, A., Feng, J., Zhou, R., & Fang, J. (2007). Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China. *Biogeochemistry*, *84*, 131-141. https://doi.org/10.1007/s10533-007-9109-z

Yokozawa, M., Shirato, Y., Sakamoto, T., Yonemura, S., Nakai, M., & Ohkura, T. (2010). Use of the RothC model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in Japanese arable soils. *Soil Science & Plant Nutrition*, *56*(1), 168-176. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00422.x

Zhang, J., Bei, S., Li, B., Zhang, J., Christie, P., & Li, X. (2019). Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, *136*, 67-79. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.017

Zhang, Y., Ai, J., Sun, Q., Li, Z., Hou, L., Song, L., ... & Shao, G. (2021). Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by vegetation types and altitude across the mountainous

regions in the Yunnan Province, south-western China. *Catena*, *196*, 104872. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104872

Zhao, Y. G., Liu, X. F., Wang, Z. L., & Zhao, S. W. (2015). Soil organic carbon fractions and sequestration across a 150-yr secondary forest chronosequence on the Loess Plateau, China. *Catena*, *133*, 303-308. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.028

Zhu, B., Wang, X., Fang, J., Piao, S., Shen, H., Zhao, S., & Peng, C. (2010). Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Journal of Plant Research*, *123*, 439-452. https://doi.org/10.1007/s10265-009-0301-1

Zimmermann, M., Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2007). Quantifying soil organic carbon fractions by infrared-spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, *39*(1), 224-231. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.010

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.184-213 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.84657.1419 Open access

Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood Watershed)

Abdolhafez panahi[a],GholamrezaJanbaz Ghobadi[b*],Sadraddin Motavalli[b] ,Shahryar khaledi[c]

[a] *phd of Geography and climatology . General Directorate of Meteorology of Golestan Province golestan,Iran.*

[b] *Associate Professor in Geography , Department of Geography, Islamic Azad University, Noor branch.*

[c] *Professor in Physical Geography, Department of Earth sciences, Shahid Beheshti University,Tehran,Iran.*

Received: 29 September 2023 ***Revised: 14 November 2023*** ***Accepted: 9 December 2023***

Abstract

Changes in land use patterns, deforestation, inefficient management of dams, and unplanned housing developments have significantly increased flood vulnerability. The methodology of this study, considering the nature of the problem and the research objective, is descriptive-analytical and applied, with an emphasis on quantitative methods.

This research examines the regional changes in floods within the Gorganrood watershed using data from meteorological (synoptic) stations spanning a 30-year statistical period (1989–2018). Additional variables include land use, vegetation cover, topographic wetness index, slope, elevation, lithology, distance from the river, river density, erosion, geology, runoff, and simulated average rainfall data from the HadCM3 model under the SRA1B climate change scenario (2011–2045).

The study was conducted in two parts. In the first part, the LARS-WG model was applied for micro-scale climate prediction for both near and distant future periods. In the second part, the SWAT hydrological model was used to assess flood risk, and the Gorganrood watershed was zoned for flood risk probabilities using GIS software with the SWAT extension.

Daily rainfall and temperature values from synoptic stations were calibrated within the SWAT model. The results demonstrate that human interventions in main streams, urban and rural sprawl, construction of dams, degradation of pastures, and deforestation are among the primary factors contributing to the occurrence of sudden floods in the region.

The findings identified high-risk flood zones near the drainage network. The most influential factors contributing to flood risk include flow accumulation, elevation, soil water infiltration, distance from the drainage network, average annual rainfall, drainage density, land use, and slope. These factors have caused different hydrological responses to precipitation events across various sub-basins, influencing the characteristics of flash floods.

Furthermore, the analysis underscores the significant impact of human activities on both the quantity and quality of groundwater resources in the study area, emphasizing the urgent need for improved resource management.

Keywords: Flood Vulnerability Assessment, Hydrological Modeling, Land Use Change, Climate Change Impact,Watershed Management. Geospatial Analysis.

[*].Corresponding author: GholamrezaJanbaz Ghobadi Email: ggobadi@yahoo.com Tel:+98912071080

How to cite this Article: Panahi, Abdolhafez., & Janbazghobadi, Gholamreza.,&Sadraddin, Motavalli.,&Shahryar.,Khaledi. (2024). Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 184-213.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۲۱۳-۱۸۴ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.84657.1419 دسترسی آزاد

بررسی تغییر اقلیم و دگرگونی مؤلفه‌های طبیعی با تأکید بر سیلاب

(مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود)

عبدالحافظ پناهی–دکتری اقلیم‌شناسی، اداره کل هواشناسی استان گلستان.

غلامرضا جانباز قبادی[1]– دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور.

صدرالدین متولی –دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور.

شهریار خالدی –استاد گروه علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی،تهران،ایران.

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۷/۷ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۲۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۱۸**

چکیده

تغییر در الگوهای استفاده از اراضی، تخریب جنگل‌ها، سیستم ناکارآمد مدیریت سدها و رودخانه‌ها باعث افزایش درصد آسیب‌پذیری سیل و سیلاب می‌شود. روش پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع توصیفی – تحلیلی و مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است. در این تحقیق به بررسی وقوع سیلاب تحت شرایط تغییرات اقلیمی و ارزیابی خطرات احتمالی آن و پهنه‌بندی، ابعاد و پیامدهای زیان‌بار آن پرداخته شده است. همچنین تغییرات منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود با کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های سازمان هواشناسی (سینوپتیک) با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شیب، ارتفاع، لیتولوژی زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فرسایش، خاکشناسی، رواناب، داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدلHadCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است. در این تحقیق از دو روش متفاوت برای ارزیابی خطر سیل استفاده شد: یعنی در روش اول از مدل LARS-WG برای ریز مقیاس نمائی جهت پیش‌بینی اقلیم آینده (نزدیک و دور) و در روش دوم از مدل هیدرولوژیکی SWAT. با توجه به درصد خطرات احتمالی در حوزه آبریز گرگانرود در محیط نرم‌افزار GIS با

[1]–نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۰۷۱۰۸۰ Email:ggobadi@yahoo.com

استفاده از افزونه SWAT پهنه‌بندی گردید. در این پژوهش بر اساس مدل SWAT مقادیر بارش روزانه و دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک واسنجی گردید. نتایج حاصل از این رویکرد نشان داد مداخله انسان در جریان‌های اصلی، پراکندگی شهری و روستایی، ایجاد آب‌بندان و تخریب مراتع و آسیب به جنگل‌ها از اصلی‌ترین عواملی است که در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی در منطقه مؤثر بوده است. این رویکرد یکپارچه، ضرورت ارزیابی و اعتبارسنجی مداوم مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را در حوضه گرگانرود و جریان‌های زودگذر آشکار کرد. نتایج تحقیق نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین عوامل تأثیرگذار مهم در معرض خطر سیلاب به ترتیب شامل انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک (همان وزن)، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران سالیانه، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است که موجب پاسخ‌های هیدرولوژیکی متفاوت به رخداد بارش در حوضه‌های مختلف منطقه شده و این امر بر ایجاد و ویژگی‌های سیلاب ناگهانی تأثیرگذار بوده است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی آسیب‌پذیری سیل ، مدل‌سازی هیدرولوژیکی ، تغییر کاربری زمین ، تأثیر تغییر اقلیم ، مدیریت حوضه آبریز ، تحلیل جغرافیایی.

۱-مقدمه

تغییر خصوصیات رواناب به دلیل تغییر اقلیم، از اصلی‌ترین نگرانی‌های حال حاضر در برنامه‌ریزی طولانی‌مدت منابع آب و حفاظت از سیلاب است. ازاین‌رو، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب اهمیت زیادی دارد (Imani, Dalghandi, Emamgholizadeh & Ganji -noroozi, 2022) با توجه به موقعیت کشور ایران که در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است و همچنین، خسارت‌های سیلاب‌ها در سال‌های اخیر، مطالعات مدیریت سیلاب اهمیت زیادی دارد. آثار تخریبی و مداخلات گستردهٔ انسان در حریم و بستر رودخانه‌ها به‌صورت‌های مختلف رخ داده است؛ بنابراین، شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها، برای پیش‌بینی خسارت‌های ناشی از سیلاب، کنترل و مهار سیلاب، ساماندهی رودخانه‌ها و سایر مطالعات ضرورت دارد (Khajuee, Khodashenas & Mosaedi, 2021). از بین رفتن پوشش گیاهی در اثر عدم درک صحیح از مدیریت منابع موجود، نبود جایگاهی برای آن در سیاست‌گذاری‌های کلان و شرایط اقتصادی حاکم بر عرصه و بهره‌وری بیش از ظرفیت طبیعی منابع موجود شرایطی را فراهم نموده است که هرساله شاهد بروز سیلاب و اثرات تخریبی آن و از دست رفتن میلیون‌ها تن خاک ارزشمند باشیم. بر همین

اساس کاهش و مهار نسبی خطرات سیلاب یکی از چالش‌های عمده مدیریت کشور است. یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریزاست (Asgari & Safari, 2018). تغییر اقلیم دارای پیامدها و اثراتی در بروز پدیده گرمایش جهانی، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در تنوع و پوشش گیاهی مراتع، تغییر سطح آب‌های زیرزمینی، بروز مشکلات اجتماعی و اقتصادی و ... است (Zaree, Asadi, Ebrahimi, Jafari & Malekian, 2019). از عوامل اصلی جاری شدن سیل در شهرها بارش نزولات جوی با شدت بالا و به‌صورت طولانی‌مدت است .مدل‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی محیطی دارد (Aghel poor & Nadi, 2019). پهنه‌بندی سیل، جهت مشخص کردن میزان خطرپذیری به سیلاب برای استفاده‌کنندگان متحمل سیل، شناسایی ناحیه‌ها برای بیمه سیل و ایجاد محدودیت‌های اجباری کاربری در مناطق خطرپذیر قابل‌استفاده هست (Ghasemiayan & Najafi, 2019)

چارچوب نظری از مراحل اساسی علم روش تحقیق است، که بر مبنای نظریه‌های خاص، پدیده را بررسی می‌نماید. درواقع محقق بعد از تعیین موضوع تحقیق و مطالعات اکتشافی با نگاهی فراگیر به اطلاعات جمع آوری شده از منابع اسنادی و غیر اسنادی باید به مهار کردن ایده‌های نظری مرتبط با پدیده موردبررسی بپردازد و محورهای اصلی نظری تحقیق خود را مشخص کند و طرح نظری مناسب با مسئله تحقیق را ارائه دهد. چارچوب نظری از مراحل تعیین‌کننده روش تحقیق است که بر مبنای نظریات خاص موجود در هر رشته‌ای، باید به اثبات قواعد منطقی و همبستگی بین پدیده‌های موردمطالعه در آن تحقیق پرداخت.

پیشینه خارجی و داخلی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر وقوع سیلاب تحت شرایط تغییر اقلیم فلونی و همکاران (Feloni, Mousadis & Baltas, 2020)، محدوده‌های سیل‌خیز منطقه آتیکا در یونان را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در GIS شناسایی نمودند. آن‌ها چارچوبی را پیشنهاد دادند که در آن عمدتاً داده‌هایی نظیر توپوگرافی، پوشش زمین و مواردی ازاین‌دست در مطالعات مدنظر قرار گیرد. کیم و همکاران (Kim, Tantanee & Suparta, 2020) پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت ۱۰،۲۰،۵۰ و ۱۰۰ ساله رودخانه‌ی مکونگ پایین کامبوج تایلند را انجام دادند و عنوان کردند که با استفاده از روش‌های موجود در محیط GIS می‌توان خطرپذیری سیلاب را در حوضه‌های آبخیز برآورد کرد. کاستریدیس و همکاران (Kastridis,

Kirkenidis & Sapountzis, 2020)، با عنوان یک رویکرد یکپارچه از تجزیه‌وتحلیل سیلاب در حوضه‌های آبریز مدیترانه با استفاده از نظرسنجی‌های پس از سیل و وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپادها) اشاره کرد. این مطالعه رویداد سیل ناگهانی دو جریان زودگذر غیرمنتظره را در منطقه المپیادا (یونان شمالی)، که در ۲۱ تا ۲۲ نوامبر ۲۰۱۹ رخ داده است، تجزیه‌وتحلیل می‌کند. نتایج حاصل از این رویکرد نشان داد مداخله انسان در جریان‌های اصلی، پراکندگی شهری، AMC مرطوب و حمل‌ونقل رسوب از اصلی‌ترین عواملی است که در ایجاد سیلاب چشم‌انداز مؤثر بوده است. این رویکرد یکپارچه، ضرورت ارزیابی و اعتبارسنجی مداوم مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را در حوضه‌های آبریز کوچک دریای مدیترانه و جریان‌های زودگذر آشکار کرد. جیا و همکاران (Jia, Wang, Hersi, Zhao & Liu, 2019)، پژوهشی را با عنوان پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس فرایند تحلیلی سلسله مراتبی و مجموعه متغیرهای فازی انجام داده‌اند و درنهایت مناطق در معرض بیش‌ترین خطر سیل را نام برده‌اند. یودینگ و همکاران (Yodying et al., 2019)، در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه‌موردی: بانگ رگام در تایلند) پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین عوامل تأثیرگذار مهم در معرض خطر سیلاب به ترتیب شامل انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک (همان وزن)، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران سالیانه، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است. در تحقیقی که ملینسکی و همکاران (Młyński, Wałęga, Stachura & Kaczor, 2019) بر روی رودخانه ویستولا در کشور لهستان انجام داد، حداکثر آورد سالیانه‌ی رودخانه به‌وسیله پارامترهای فیزیوگرافی حوضه بالادست رودخانه برای ۴۱ ایستگاه بررسی گردید. نتایج نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوضه مؤثر بر سیل، شامل مساحت زیر حوضه، اختلاف ارتفاع، شبکه‌ی آبراه‌های حوضه بودند. اقبال و همکاران (Iqbal, Dahri, Querner, Khan & Hofstra, 2018) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیل در حوضه‌ی رودخانه کابل برای دو دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ با چهار مدل اقلیمی تحت سناریو RCP4.5، RCP8.5 پرداختند. برای شبیه‌سازی رواناب‌های سالانه حداکثر از مدل SWAT استفاده کردند. برای انجام تحلیل فرکانس از مدلHEC -SSP استفاده کردند. نتایج نشان از افزایش دما و بارش بود همچنین بررسی فراوانی سیل افزایش شدت و کاهش دوره‌ی بازگشت سیل را نشان داد که در RCP8.5 این

مقادیر بیشتر از RCP4.5 بود. نفرزادگان و همکاران (Nafarzadegan, Mohammadifar, Vagharfard & Foruzanfard, 2019) در تحقیقی تحت عنوان ادغام مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه‌وتحلیل منطقه‌ای سیلاب جهت اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دهبار خراسان) به این نتیجه رسیده‌اند که بررسی پارامترهای مؤثر در بروز سیل از طریق رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌تواند در تعیین نقش هر یک از زیرحوضه‌ها در بروز سیلاب راهگشا باشد. گودرزی و فاتحی‌فر (Goodarzi & Fatehifar, 2019) در تحقیق پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهر چای) با استفاده از مدل گردش عمومی CAN ESM2 تحت جدیدترین سناریو و متغیر دما و بارش آماری SDSM ریز مقیاس نمائی شده و با روش هیدرولوژیکی SWAT نقشه حوضه‌بندی و خطوط آبراهه‌ها حاصل گردیده نتایج ارزیابی مدل SDSM با ضریب تعیین و نش- ساتکلیف ۹۵/. به‌طور متوسط بیانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقاس نمایی داده‌های بزرگ‌مقیاس است. همچنین افزایش ۲۳/. درجه سانتی‌گراد دما و ۴/۵۳ درصدی بارش و دبی‌های حداکثر در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۵۹ پیش‌بینی شده است. با مدل SWAT نقشه‌های پایه تحلیل و حوضه با تلفیق نقشه متوسط دبی حداکثر، ضریب شکل حوضه و فاصله از رودخانه که با رویکرد AHP پهنه‌بندی شده است. با توجه به پهنه‌بندی ۴۱/۵۵ درصد از مساحت حوضه درخطر بسیارکم و کم، ۲۷/۲۳ درصد خطر و ۳۱/۲ درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. همچنین با نقشه نهایی مشخص شد که اواسط حوضه به دلیل داشتن شرایط مستعد دارای خطر زیاد است و نیاز به انجام اقدامات مدیریتی دارد. خوش‌روش و همکاران (Khosh Ravesh, Mir naseri & Pasarkello, 2018) در پژوهش تحت عنوان اثر تغییر اقلیم بر فراوانی سیلاب حوضه کلاردشت با استفاده از تلفیق الگوریتم K-nn و مدل HadCM3 به این نتیجه رسیده‌اند که نتایج تحلیل فراوانی سیل نشان داد که دبی سیل در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با دوره بازگشت ۲۵ ساله در کل حوضه، نسبت به دوره پایه، ۲۱ درصد کاهش دارد. بحری و دستورانی (Bahri & Dastorani, 2017) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری به این نتیجه رسیده‌اند که علاوه بر تغییر اقلیم، تغییر کاربری

اراضی به‌عنوان یک عامل جانبی اثرات مهمی بر سیلاب دارد. لذا پیش‌بینی اثر این دو پارامتر بر وضعیت سیلاب دهه‌های آتی، راهگشای مقابله با این پدیده خواهد بود.

با جمع‌بندی پیشینه کارهای انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت بررسی تغییرات بارندگی، دبی سیلاب رودخانه در اثر پتانسیل تغییرات اقلیمی در آینده، همچنین بررسی معیارهای طبیعی اطلاعات ارزشمندی می‌دهد که چگونه سطح حوضه آبخیز به این تغییرات واکنش نشان می‌دهد؛ و مدیران را در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر روند سیل‌خیزی حوضه آبخیز گرگانرود به‌منظور برنامه‌ریزی جهت کنترل سیلاب یاری می‌کند.

تحقیقات پژوهشگران طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی اثرات متفاوتی بر روی مؤلفه‌های اقلیم و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی دارد که باعث ایجاد خشکسالی و یا سیلاب می‌گردد. برای نمونه ایجاد سیل‌های مخرب سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در کشور خصوصاً در استان گلستان نیاز به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی عناصر اقلیمی و عناصر هیدرولوژیکی حوضه آبخیز را حائز اهمیت و در اولویت قرار می‌دهد. استان گلستان یکی از نقاط سیل‌خیز کشور بوده که تجربه‌های بسیار سختی از سیلاب طی سالیان متمادی در آن وجود دارد با توجه به پیشرفت علم و یافته‌های متفاوت از روند تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی‌های آینده دور و آینده نزدیک نیاز در این است که از ترکیب و ادغام یافته‌های چندین مدل مثل ریز مقیاس نمائی LARS-WG، SDSM و... استفاده شود

هدف کلی این تحقیق پهنه‌بندی و مدل کردن مناطق تحت سیلاب برای اقلیم در حال تغییر می‌باشد. رویکرد حاکم بر تحقیق رویکرد تغییر اقلیم و اثرات آن بر هیدرولوژی حوضه آبخیز گرگانرود می‌باشد. عواملی مانند گردش وضعی زمین، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، چرای بیش‌ازحد دام در مراتع، روش‌های آبیاری نامناسب، افزایش گازهای گلخانه‌ای، در بروز پدیده تغییر اقلیم نقش دارند. لذا در این پژوهش، ما به دنبال آشکارسازی نقش اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات سیلاب حوضه آبریز گرگانرود در استان گلستان و پیش‌بینی روند تغییرپذیری این فرایند برای دهه‌های آینده هستیم. به‌طوری‌که با پیش‌بینی‌های مناسب از تغییرات بارندگی در این ناحیه مطالعاتی می‌توان، مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران در عرصه‌های طبیعی، روستایی و شهری و همچنین حفاظت از این سرمایه ملی اعمال نمود.

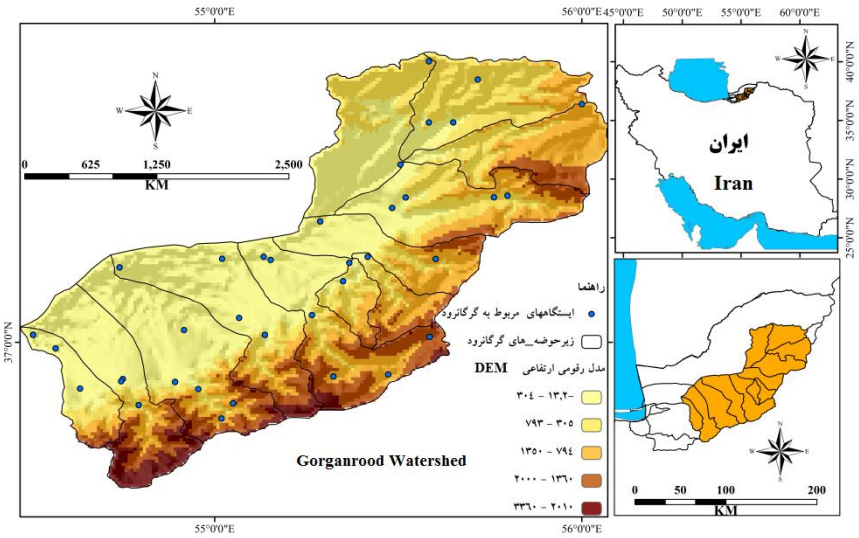
هدف کلیدی پژوهش حاضر پهنه‌بندی و مدل‌سازی مؤلفه‌های طبیعی مبتنی بر سیلاب تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم تحلیل فازی، تحلیل سلسله مراتبی و مدل SWAT در حوضه‌های آبخیز استان گلستان است.

به دلیل بالا بودن ضریب تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش در منطقه استان گلستان شناخت منابع آب و متغیرهای محیطی و بررسی آن‌ها که عمدتاً حاصل ریزش‌های جوی است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تدوین و تکوین این پژوهش می‌تواند راه گشای مطالعات بعدی باشد و نیز در برنامه‌ریزی‌های سازمان‌های آب منطقه‌ای، هواشناسی، منابع طبیعی، جهاد کشاورزی، محیط‌زیست، راه و ترابری و کلیه‌ی کاربران اقلیم در جهت توسعه پایدار منطقه مؤثر واقع گردد.

درواقع امکان برنامه دقیق‌تر مدیریت منابع آب منطقه و کمک به محاسبه دقیق‌تر بارش منطقه در کنار متغیرهای محیطی دیگر ازجمله مزایای این پژوهش است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پدیده بارش صورت در منطقه استان گلستان و ایران صورت گرفته است ولی هیچ‌کدام این متغیر اقلیمی را با دیدگاه تغییرپذیری اقلیمی همراه با متغیرهای محیطی به‌صورت تلفیقی بررسی نکرده‌اند که شرح مختصری از این پژوهش‌ها در ذیل اشاره می‌شود.

۲-داده‌ها و روش کار

حوضه آبریز گرگان رود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع است این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبریز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبریز قره‌سو محدود می‌شود این حوضه در محدوده مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه محصور گردیده است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز گرگان رود در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد. حوضه آبخیز گرگان رود ازلحاظ اقلیمی بسیار متنوع بوده و بر طبق طبقه‌بندی این حوضه دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است همچنین عموماً در کلیه مناطق حوضه، ماه‌های آذر، دی و خصوصاً بهمن و اسفند مرطوب‌ترین و خرداد لغایت شهریور خشک‌ترین ماه‌های سال است (Soltani, Galeshi & Zeinali, 2000).



شکل ۱- موقعیت محدوده موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است، به‌منظور دستیابی به اهداف این پژوهش از یکی از خروجی‌های مدل اول AOGCM[1] استفاده شده است. مدل دوم LARS-WG[2] که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد برای تولید سری سناریوهای مختلف مربوط به IPCC (کمیسیون بین‌الدول تغییر اقلیم مربوط به سازمان ملل متحد) برای حوضه مطالعاتی مورداستفاده قرار گرفته است. سری و سناریوهای مورداستفاده در پژوهش سه سری و سناریو بوده است. با توجه به تنوع سناریوهای مختلف موجود، نحوه انتخاب آن‌ها برای حوضه مطالعاتی، متنوع بوده است. تغییرات سری و سناریوها در انتشار گازهای گلخانه‌ای و جمعیت پیش‌بینی شد؛ آینده دنیا و همین‌طور سایر مسائل تأثیرگذار در نوع آن‌ها می‌باشد. با توجه به این مسائل در این مطالعه نحو تأثیر این سری و سناریوها بر روی دو شاخص عمده زیست‌محیطی دما و بارش و همین‌طور تأثیر آن بر روی رواناب و پیرو آن بر سایر مؤلفه‌های زیست‌محیطی موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور ۱ سناریوی سوم SRA1B[3] و هرکدام در ۱ سری انتشار ۴۴ ۲۰۱۱-۲۰

[1] Atmosphere-Ocean General Circulation Model
[2] Lang Ashton Research Station Weather Generator
[3] Special Report on Emissions Scenarios

با در نظر گرفتن دورهٔ پایه ۲۰۰۷–۲۰۱۱ (تهیه شده از آمار ایستگاه‌های سینوپنیک منطقه جدول ۱) مورد استفاده قرار گرفته است. پس از ایجاد سناریو در ۱ گروه، خروجی آن‌ها در فایل‌های مربوطه در مدل LARS-WG استخراج و در نرم‌افزار EXCEL ذخیره گردید تا در مراحل بعدی تحقیق مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که در این پژوهش با توجه به دوره پایه در نظر گرفته شده ۲۰۰۷–۲۰۱۱ مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه میانگین بارش و دمای ماهانه دوره پایه برای ماه‌های مختلف سال از آمار این ایستگاه استخراج شد و سپس مدلLARS-WG5 میانگین بارش و دمای ماهانه را برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی نمود. همچنین دمای کمینه (حداقل) و دمای بیشینه (حداکثر) برای دوره‌های آتی نیز توسط مدل محاسبه شد و با توجه به این موارد و مقدار T اختلاف برای دما) و P (نسبت برای بارندگی) جهت ریز مقیاس نمائی برای این حوضه محاسبه گردیده است.

جدول ۱– مشخصات ایستگاه‌های منتخب جهت آنالیز پارامتر بارندگی

Table 1- Specifications of the selected stations for the analysis of rainfall parameters

ردیف Num.	نام ایستگاه Station Name	LAT	Lon	ردیف Num.	نام ایستگاه Station Name	LAT	Lon
1	علی‌آباد کتول Ali abad Katool	54.88	36.90	7	هاشم‌آباد گرگان Hashem abad	54.27	36.85
2	بندر گز Bandar Gaz	53.59	36.77	8	اینچه برون Inche bron	54.29	37.45
3	بندر ترکمن Bandar Torkaman	54.07	36.90	9	کلاله Kalaleh	55.46	37.39
4	گلوگاه Galogah	53.82	36.78	10	مراوه‌تپه Marave Tepe	55.95	37.90
5	گنبد کاووس Gonbad Kavos	55.17	37.52	11	مینودشت Minodasht	55.63	37.37
6	گرگان Gorgan	54.41	36.91				

منبع: اداره کل هواشناسی استان گلستان،۱۳۹۹.

مدل SWAT[1]:

مدل SWAT یک Extension تحت نرم‌افزار ArcGIS می‌باشد که به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی اصلی شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، نفوذ عمقی، جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیرسطحی توسط مدل شبیه‌ساز می‌پردازد. این مدل در جهت مدل‌سازی مدیریت آب، سموم و رسوب در مقیاس حوزه

[1] Soil and Water Assessment Tools

مورد استفاده قرار می‌گیرد. ورودی‌های این مدل شامل داده‌های هواشناسی، جنس و ترکیبات خاک هر منطقه، نوع کاربری زمین در منطقه، نوع پوشش گیاهی منطقه، مقادیر شیب و طول شیب در نواحی مختلف می‌باشد که به طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل SWAT مدلی در مقیاس حوزه آبریز می‌باشد که توسط Jeff Arnold برای اداره خدمات تحقیقات کشاورزی آمریکا ارائه‌شده است. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی کشاورزی در سطح حوزه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با انواع خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی در درازمدت طراحی‌شده است.SWAT مدلی فیزیکی می‌باشد که به‌جای ضمیمه کردن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری اراضی در سطح حوزه می‌باشد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و مشابه آن در این مدل به‌طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند (Lu et al., 2015).

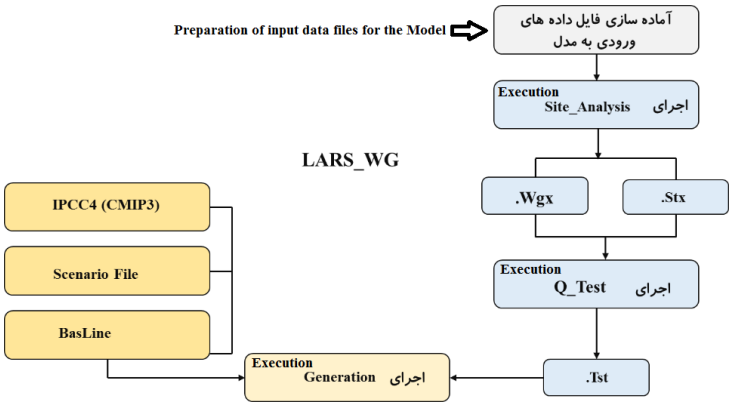
متغیرهای مکانی ورودی مدل SWAT در این تحقیق شامل لایه‌های اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاع (DEM)، لایه خاک همراه با اطلاعات بافت خاک، لایه کاربری اراضی همراه با اطلاعات توصیفی آن است. متغیرهای هیدروکلیماتولوژی و عددی ورودی مدل SWAT شامل مقادیر روزانه بارش، درجه حرارت حداقل و حداکثر مربوط به ایستگاه‌های داخل و خارج حوضه و متوسط رواناب روزانه خروجی حوضه به همراه موقعیت‌های جغرافیایی آن‌ها می‌باشد. شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده با استراتژی‌های مختلف مدیریتی، بدون صرف هزینه و زمان زیاد قابل انجام می‌باشد. این امکان را به کاربر می‌دهد، تا اثر بلندمدت برخی از عوامل ازجمله آلودگی و فرسایش را بررسی نماید. نحوه انجام کالیبراسیون و اعتبار سنجی در این نرم‌افزار بدین‌صورت بوده است که بر اساس ۲۰ پارامتر حساس انتخاب شده به شرح جدول ۲ شبیه‌سازی صورت گرفت.

جدول ۲- پارامترهای حساس انتخاب شده و محدوده تغییرات آن‌ها

Table 2- Selected sensitive parameters and their range of changes

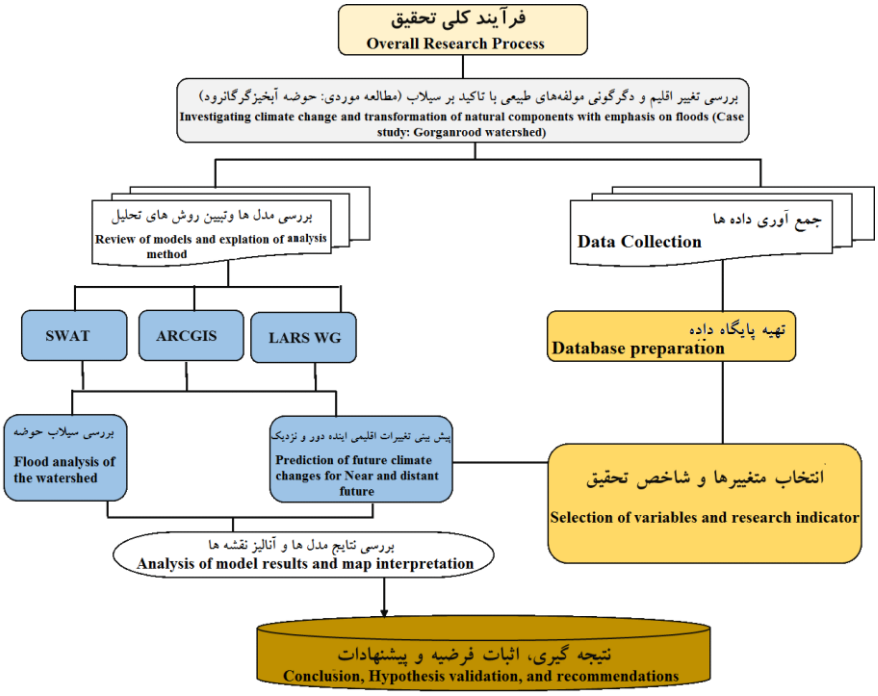
شماره NUm	نام پارامتر فارسی Parameter Name	نام پارامتر انگلیسی Parameter Name	حداقل مقدار Min. Value	حداکثر مقدار Max. Value
1	شماره منحنی روش SCS SCS Curve Number	r__CN2.mgt	-0.3	0.4
2	ثابت تخلیه آب زیرزمینی Groundwater Drainage Constant	v__ALPHA_BF.gw	1	3
3	زمان تأخیر آب زیرزمینی Groundwater Delay Time	v__GW_DELAY.gw	50	360
4	حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای رویداد جریان پایه Minimum Required Water Storage for Base Flow Event	v__GWQMN.gw	1	3
5	فاکتور جبران تبخیر در خاک Soil Evaporation Compensation Factor	r__ESCO.hru	0.658	2.045
6	ضریب تعیین نفوذ به سفره عمیق از سفره کم‌عمق Coefficient of Deep Aquifer Recharge from Shallow Aquifer	r__GW_REVAP.gw	0.3	0.321
7	هدایت هیدرولیکی خاک میلی‌متر در ساعت Soil Hydraulic Conductivity (mm/h)	r__CH_K2.rte	-11.47	56.36
8	ضریب مانینگ کانال Manning's Channel Coefficient	r__CH_N2.rte	0.314	0.562
9	ضریب آلفای آب زیرزمینی Groundwater Alpha Coefficient	r__ALPHA_BNK.rte -	-0.167	0.496
10	رطوبت قابل‌استفاده لایه‌های خاک sable Soil Moisture for Soil Layers	r__SOL_AWC().sol	-0.3	1.9
11	ضریب تبخیر خاک Soil Evaporation Coefficient	r__EPCO.hru	-0.3	0.4
12	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/h) Saturated Hydraulic Conductivity (mm/h)	r__SOL_K().sol	0.2	3
13	نرخ تغییرات بارش در ارتفاع در هر زیر حوضه Precipitation Change Rate with Elevation in Each Sub-basin	r__PLAPS.sub	0	100
14	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم‌عمق یا غیر محصور Percentage of Deep Aquifer Recharge from Shallow or Unconfined Aquifer	r__RCHRG_DP.gw	0	3
15	حداقل مقدار ذخیره آب لازم در سفره برای شروع تبخیر mmH2O Minimum Water Storage Required in the Aquifer to Initiate Evaporation (mmH2O)	r__REVAPMN.gw	0	700
16	دمای ذوب توده برف Snow Melt Temperature	r__SMTMP.bsn	-3	3
17	حداقل ذوب برف Minimum Snowmelt	r__SMFMN.bsn	0	100
18	ضریب تبخیر از سفره زیرزمینی Groundwater Evaporation Coefficient	r__REVAPMN.gw	0	700
19	حداکثر ذوب برف	r__SMFMX.bsn	0	100

1	0.1	r__TIMP.bsn	Maximum Snowmelt فاکتور تأخیر دما در پشته برف Temperature Delay Factor in Snowpack	20



شکل ۲- فرایند تحقیق شبیه‌سازی بارش باران آینده با استفاده از روش LARS_WG.5

Fig.2. The research process of simulating future rainfall using the LARS_WG.5 method



شکل ۳- فرایند تحقیق پهنه‌بندی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT

Fig.3. The research process of flood regional zoning using SWAT hydrological model

۳-نتایج و بحث

سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه از مدل HadCM3 برای ماه‌های مختلف سال نیز نشان‌دهنده بیشترین تغییرات دمایی در ماه‌های ژوئن، آگوست و فوریه می‌باشد که نشان‌دهنده گرم‌تر شدن ماه‌های گرم سال و حتی گرم‌تر شدن ماه فوریه در دوره‌های آتی می‌باشد که این پدیده‌ها نیز بر روی زمان گل‌دهی گیاهان، ایجاد تنش آبی در فصول تابستان تأثیر خواهد گذاشت. طبق جداول ۳- ۱۲ مقایسه میانگین دمای ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HadCM3 در منطقه نشان می‌دهد که ماه‌های ژوئن و آگوست با افزایش درجه حرارت در دوره‌های آتی همراه خواهد بود ولی در ماه‌های آوریل و می دما در دوره‌های آتی کمتر می‌شود که از جنبه‌های گوناگون قابل‌بررسی می‌باشد. مقایسه میانگین دماهای حداکثر (بیشینه) و حداقل (کمینه) در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HadCM3 حوضه آبخیز گرگانرود نیز نشان‌دهنده گرم‌تر شدن ماه‌های گرم سال و تأیید موضوع موردبحث را دارد. نتایج نشان می‌دهند که هم دمای حداکثر و هم دمای حداقل ایستگاه‌ها در دوره آینده افزایش خواهد یافت.

برخی از نتایج این افزایش دما در منطقه به شرح ذیل است:

-گرم شدن زمین (افزایش درجه حرارت) موجب تغییر در توزیع زمانی و مکانی بارش و همچنین میزان و نوع آن (برف و باران)، تغییر در میزان بزرگی سیلاب‌ها، تغییر در میزان آورد سالیانه و ... می‌شود.

-افزایش دما، هم میزان برف را کاهش داده و هم‌زمان ذوب آن را از فصل بهار به فصل زمستان تغییر خواهد داد که این مسئله بر الگوی فصلی جریان آب رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد و میزان رواناب را در زمستان افزایش و در تابستان کاهش می‌دهد.

-افزایش درجه حرارت و بالا رفتن میانگین دمای فصل زمستان سبب کاهش تفاوت دمایی بین زمستان و تابستان گردیده که ازجمله پیامدهای این امر کاهش تزریق آب‌های زیرزمینی و کاهش منابع آب خواهد شد.

-افزایش دما منجر به افزایش تقاضا آب برای کشاورزی به جهت تبخیر فراوان می‌شود.

در تمامی این ایستگاه‌ها با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده به‌وسیله مدل LARS-WG بارندگی برای سناریو بارش در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه در بعضی ماه‌ها افزایش و در بعضی ماه‌ها کاهش داشته

است. به‌طوری‌که در ماه تابستان کاهش بارش و در مقابل فصل زمستان نسبت به دوره‌ی پایه بارندگی افزایش خواهد یافت.

در این پژوهش جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم و برهمکنش آن بر سایر مؤلفه‌های چرخه آب از ۱ سری سناریو SRA1B استفاده شده است. مقایسه بارش ماهانه دوره پایه (۲۰۱۱-۲۰۰۷) با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدلHadCM3 برای سناریوی SRA1B سال (۲۰۱۱-۲۰۴۵) نیز نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجه بارش در این سری سناریو در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر دارد که این روند با کمی تغییرات قابل مشاهده است؛ که از نظر تأثیرات این پدیده قابل‌بررسی می‌باشد. همچنین به‌منظور بررسی دقیق‌تر موضوع درصد تغییرات بارش نیز برای حوضه آبخیز موردنظر تهیه گردیده است که با مطالعه وضعیت میانگین درصد تغییرات بارش برای سناریویSRA1B در ۲ دوره؛ ۲۰۱۱-۲۰۴۵، ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نیز نشان‌دهنده تغییرات بارش از در ماه آگوست در دوره، ۲۰۱۱-۲۰۴۵ تا ۳۷/۵ درصد در ماه نوامبر همین دوره نسبت به دوره پایه را دارد.

افزایش بسیار بالای تغییرات بارشی در ماه نوامبر نیز به جهت ایجاد سیلاب‌های پائیزه قابل‌بررسی و تعمق می‌باشد.

بیشترین افزایش بارش ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 با رقم ۱۰۰ میلی‌متر برای سناریوی SRA1B در ماه نوامبر می‌باشد که این رقم بیش از سه برابر بارش دوره پایه در منطقه مطالعاتی می‌باشد که ازلحاظ ایجاد سیلاب‌های مهیب و آمادگی جهت مقابله با حوادث احتمالی را می‌طلبد، روند افزایش و کاهش بارندگی در ماه‌های مخصوصاً اکتبر و نوامبر و کاهش بارندگی در ماه‌های جولای و آگوست می‌باشد.

بررسی متغیرهای اقلیمی مرتبط با پوشش اراضی در چهار دهه گذشته در پهنه استان گلستان نشان می‌دهد که به همراه افزایش وسعت اراضی، میانگین متغیرهای اقلیمی مانند دما، تبخیر پتانسیل و درصد خشکسالی افزایش یافته است، این میزان برای دما در چهار دهه به‌طور متوسط معادل ۰.۴۷ درجه سانتی‌گراد، برای تبخیر پتانسیل معادل ۸۱.۳ میلی‌متر است. البته لازم به ذکر است که افزایش تبخیر پتانسیل از شدت بیشتری (معادل ۱۴۳.۵ میلی‌متر) برخوردار شده است. به‌طوری‌که متوسط کاهش دهه‌ای نقطه شبنم معادل ۰.۱ درجه

سانتی‌گراد است. همچنین کاهش متوسط بارش، تبخیر واقعی، رواناب به ترتیب معادل ۹.۰۱، ۸.۲۷ و ۵.۶۳ میلی‌متر است.

جدول ۳–مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه بندر ترکمن

Table 3- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by HadCM3 model for 2011 to 2045 at Bandar Turkmen station.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٤٧.٠٨	٥١.٤٢	٤٧.٧٢	٢٦.٠١	١١.٩١	٢٦.٨	٢٩.٦٤	٢١.٧	٤٩.٧٦	٦٢.٣٨	٦٠.٠٤	٤٩.٦٣	obs
٣٠.٨٢	٣٠.٠٩	٢٣.٩١	١٩.٨٢	٨.٨	٢٩.٠٣	٣٩	٣١.٠٤	٣٩.٤٣	٦٧.٠١	٤٣.٧٦	٢٢.٠٨	sd
٥٨.٣٦	٦٤.٩٨	٣٨.٥٧	٢٤.٩٤	٧.٥٩	٤١.٥٩	٥٤.٠٤	١٣.٩١	٤٩.٨٧	٤٨.٧٦	٥٧.٩٢	٤٨.٠٧	gen
٢٨.٩	٣٢.٩٢	٢٨.٨٧	١٤.٨٦	٦.٧٩	٣٩.٨	٥٦.٥٣	٢١.٨٩	٥٨.٦٦	٤٢.٧	٣٢.٨٣	٣٤.٢٦	sd
-٠.٨٠	-٠.٩١	٠.٧٣	٠.١٣	١.١٧	-٠.٩٠	-١.٠٧	٠.٦٢	-٠.٠١	٠.٥١	٠.١٢	٠.١٢	t
٠.٤٤	٠.٣٨	٠.٤٧	٠.٩	٠.٢٦	٠.٣٨	٠.٣	٠.٥٥	١	٠.٦١	٠.٩١	٠.٩١	p-t
١.١٤	١.٢	١.٤٦	١.٧٨	١.٦٨	١.٨٨	٢.١	٢.٠١	٢.٢١	٢.٤٦	١.٧٨	٢.٤١	f
٠.٨٦	٠.٨١	٠.٦١	٠.٤٣	٠.٤٨	٠.٣٩	٠.٣١	٠.٣٤	٠.٢٨	٠.٢٢	٠.٤٣	٠.٢٤	p-f
-٢٣.٩٦	-٢٦.٣٧	١٩.١٧	٤.١١	٣٦.٢٧	-٥٥.١٩	-٨٢.٣٢	٣٥.٩	-٠.٢٢	٢١.٨٣	٣.٥٣	٣.١٤	سطح نزدیکی

جدول ۴ – مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه علی‌آباد

Table4 - Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Aliabad station

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٦١.٠٢	١١٣.٣٤	٧٣.٦	٥٤.٧٢	٣٢.٣٦	٣٠.٦٨	٦.١٦	٥٥.١٨	٨٠.٢٦	٦٧.٥٢	٦٥.٢٨	٤٧.٤٢	obs
٢٤.٢٢	٢٩.٠٢٤	٢٩.١٢٥	٢٤.٨٧٣	٩.٤٧١	١٩.٩٩١	٥.٨٢١	٣٩.٣٩٧	٧٥.٤٠٧	٧١.٣٤٣	٤٨.٨٠٨	١٦.٣٩٩	sd
٤٨.٤	١٣٠.٦٦	٧٥.١٦	٦٦.٩	٣٠.١٤	٣٤.٣٦	٦.٩	٨٧.٦	٥٥.٩٨	٤٨.٨٦	٣٩.٧	٣٥.٤	gen
١٥.٧٦٩	٣٩.١٦٩	١٧.١٨٤	٢٣.١٦٦	١٧.٠٠١	١١.٧٥٩	٥.٣٧٩	٣٩.٦٤٨	٥٠.٩٨٣	٢٩.٩٦٢	٤١.٨٦٤	٣١.٢٨٨	sd
٠.٩٧٦	-٠.٧٩٤	-٠.١٠٣	-٠.٨٠١	٠.٢٥٥	-٠.٣٥٥	-٠.٢٠٩	-١.٢٩٧	٠.٥٩٦	٠.٥٣٩	٠.٨٩	٠.٧٦١	t
٠.٣٥٧	٠.٤٥	٠.٩٢	٠.٤٤٦	٠.٨٠٥	٠.٧٣٢	٠.٨٤	٠.٢٣١	٠.٥٦٧	٠.٦٠٤	٠.٤	٠.٤٦٩	p-t
٢.٣٥٩	١.٨٢١	٢.٨٧٣	١.١٥٣	٣.٢٢٢	٢.٨٩	١.١٧١	١.٠١٣	٢.١٨٨	٥.٦٧	١.٣٥٩	٣.٦٤	f
٠.٤٢٦	٠.٥٧٦	٠.٣٣١	٠.٨٩٤	٠.٢٨٣	٠.٣٢٩	٠.٨٨٢	٠.٩٩	٠.٤٦٧	٠.١٢١	٠.٧٧٣	٠.٢٣٩	p-f
٢٠.٦٨	-١٥.٢٨	-٢.١٢	-٢٢.٢٦	٦.٨٦	-١١.٩٩	-١٢.٠١	-٥٨.٧٥	٣٠.٢٥	٢٧.٦٤	٣٩.١٩	٢٥.٣٥	سطح نزدیکی

جدول ۵- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ کلاله

Table 5- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for the years 2011 to 2045 at kalaleh station

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
۳۵.۴۲	۷۸.۰۶	۶۱.۲۲	۷۸.۱	۲۶.۰۸	۲۹.۹۴	۲۲.۱	۲۸.۵۲	۲۵۸۶	۴۴.۳۲	۳۵.۰۲	۵۸.۴۶	obs
۱۶.۵۳۵	۵۳.۱۸۵	۴۹.۵۴۶	۴۸.۰۳۱	۱۱.۰۹۴	۲۰.۰۸۶	۱۳۸۰۶	۳۹۸۷۳	۲۰.۷۳۵	۵۹.۱۱۲	۲۶.۵۶۵	۲۸.۰۱۶	sd
۲۲.۱۸	۶۹.۸۲	۴۶.۷۶	۸۴.۸۶	۱۳.۳	۳۷.۵۴	۲۷.۸۸	۲۶.۲۴	۲۶.۱۴	۲۰.۰۴	۵۱.۴۴	۵۲.۸	gen
۱۱.۱۸۴	۳۵.۷۳۳	۲۷.۸۶۱	۲۵.۳۴۸	۱۱.۱۱۴	۳۲.۴۱۸	۱۰.۳۶۱	۲۵.۴۸۵	۱۳.۳۳۳	۲۱.۱	۲۲.۳۷۶	۴۱.۸۸۹	sd
۱.۴۸۳	۰.۲۸۸	۰.۵۶۹	-۰.۲۷۸	۱.۸۲	-۰.۴۴	-۰.۷۴۹	۰.۱۰۸	-۰.۰۲۵	۰.۸۶۵	-۱.۰۵۷	۰.۲۵۱	t
۰.۱۷۶	۰.۷۸۱	۰.۵۸۵	۰.۷۸۸	۰.۱۰۶	۰.۶۶۸	۰.۴۷۵	۰.۹۱۷	۰.۹۸	۰.۴۱۲	۰.۳۲۱	۰.۸۰۸	p-t
۲.۱۸۶	۲.۲۱۵	۳.۱۶۲	۳.۵۹۱	۱.۰۰۴	۲.۶۰۵	۱.۷۷۶	۲.۴۴۸	۲.۴۱۹	۷.۸۴۸	۱.۴۰۹	۲.۲۳۶	f
۰.۴۶۷	۰.۴۶	۰.۲۹۱	۰.۲۴۳	۰.۹۹۷	۰.۳۷۶	۰.۵۹۲	۰.۴۰۷	۰.۴۱۳	۰.۰۷۱	۰.۷۴۸	۰.۴۵۵	p-f
۳۷.۳۸	۱۰.۵۶	۲۳.۶۲	-۸.۶۶	۴۹	-۲۵.۳۸	-۲۶.۱۵	۷.۹۹	-۱.۰۸	۵۴.۷۸	-۴۶.۸۹	۹.۶۸	سطح نزدیکی

جدول ۶- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه هاشم‌آباد

Table 6- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Hashem abad station.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
۶۱.۰۲	۱۱۳.۳۴	۷۳.۶	۵۴.۷۲	۳۲.۳۶	۳۰.۶۸	۶.۱۶	۵۵.۱۸	۸۰.۲۶	۶۷.۵۲	۶۵.۲۸	۴۷.۴۲	obs
۲۴.۲۲	۲۹.۰۲۴	۲۹.۱۲۵	۲۴.۸۷۳	۹.۴۷۱	۱۹.۹۹۱	۵.۸۲۱	۳۹.۳۹۷	۷۵.۴۰۷	۷۱.۳۴۳	۴۸.۸۰۸	۱۶.۳۹۹	sd
۴۲.۴۷	۱۲۸.۵	۷۴.۱۸	۶۶.۱۵	۲۵.۷	۳۲.۳۳	۶.۸۵	۸۳.۳۲	۵۰.۲۸	۴۸.۰۸	۳۷.۲۸	۳۱.۷۷	gen
۹.۸۷۶	۴۴.۸۸۳	۱۹.۶۷۹	۲۶.۶۸	۱۵.۹۳۶	۱۲.۵۲	۶.۲۱	۴۴.۴۳۱	۵۶.۹۹۸	۳۴.۵۳۸	۴۷.۹۳۳	۳۴.۸۹۵	sd
۱.۴۲۴	-۰.۶۱۶	-۰.۰۳۴	-۰.۶۶۴	۰.۷۸۵	-۰.۱۴۳	-۰.۱۷۲	-۱.۰۰۸	۰.۶۵۶	۰.۴۹۶	۰.۸۶۲	۰.۸۹۷	t
۰.۱۹۸	۰.۵۵۷	۰.۹۷۴	۰.۵۲۸	۰.۴۵۸	۰.۸۹۱	۰.۸۶۹	۰.۳۴۷	۰.۵۳۳	۰.۶۳۵	۰.۴۱۷	۰.۳۹۹	p-t
۶.۰۱۴	۲.۳۹۱	۲.۱۹	۱.۱۵۱	۲.۸۳۱	۲.۵۵	۱.۱۳۸	۱.۲۷۲	۱.۷۵	۴.۲۶۷	۱.۰۳۷	۴.۵۲۸	f
۰.۱۷۲	۰.۴۱۹	۰.۵۴۶	۰.۸۶۲	۰.۳۴۱	۰.۴۶۸	۰.۸۶۹	۰.۷۹۴	۰.۶۷۴	۰.۲۶۳	۰.۹۸۳	۰.۱۷۹	p-f
۳۰۴	-۱۳.۳۸	-۰.۷۹	-۲۰.۸۹	۲۰.۵۸	-۵.۳۸	-۱۱.۲۰	-۵۱.۰۰	۳۷.۳۵	۲۸.۷۹	۴۲.۸۹	۳۳	سطح نزدیکی

جدول ۷- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه گنبدکاووس

Table 7- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Gonbad kavos station.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٤٣.٣٥	٤٨.٩١	٥٨.٩٩	٥١.٩٢	٢٤.٤١	١٥.٦	١٩.٩٧	٢٢.٨٣	٢٥.٦٧	٣٢.١٩	٤٤.٧٤	٤٢.٦٦	obs
٢٥.١٨٨	٣٠.٧٠٥	٣٣.٧٤١	٣٤.٢٥١	١٥.٣٣٢	١٣.٤٧١	٢٣.٢١٨	٢٦.٠٢٨	٢٣.١٨٣	١٧.٢٩٥	٢٥.٢٠١	١٨.٢٥٩	sd
٥٤.١٦	٤٩.٦١	٧٠.١٤	٦٩.٤٧	٢٦.٢٤	٢٠.٩٢	٢٢.٠٩	٢١.٠٩	٢٤.٧٦	٢٩.١١	٤٣.٢١	٣٥.٨١	gen
٢٤.٠٨	٢٦.٢٩٨	٣٣.٧٧٧	٣٣.٨٤١	٢٢.٧٣٢	٢٩.٢٤٥	٢٥.٤٣١	٢٩.٠٤٧	٢٥.٨٩	٢١.٠٤٣	٢١.٣٧١	٢٣.٥١٧	sd
-١.٢٤١	-٠.٠٦٩	-٠.٩٣٤	-١.٤٥٨	-٠.٢٦٧	-٠.٦٦٢	-٠.٢٤٦	٠.١٧٨	٠.١٠٦	٠.٤٥٢	٠.١٨٥	٠.٩٢	t
٠.٢٢٤	٠.٩٤٥	٠.٣٥٨	٠.١٥٥	٠.٧٩١	٠.٥١٣	٠.٨٠٧	٠.٨٦	٠.٩١٦	٠.٦٥٤	٠.٨٥٥	٠.٣٦٥	p-t
١.٠٩٤	١.٣٦٣	١.٠٠٢	١.٠٢٤	٢.١٩٨	٤.٧١٣	١.٢	١.٢٤٥	١.٢٤٧	١.٤٨	١.٣٩١	١.٦٥٩	f
٠.٨٦٤	٠.٥٥٦	٠.٩٩٧	٠.٩٦٣	٠.١٣٨	٠.٠٠٥	٠.٧٢٩	٠.٦٧٦	٠.٦٧٤	٠.٤٥٦	٠.٥٣١	٠.٣٣٨	p-f
-٢٤.٩٤	-١.٤٣	-١٨.٩٠	-٣٣.٨٠	-٧.٥٠	-٣٤.١٠	-١٠.٦٢	٧.٦٢	٣.٥٤	٩.٥٧	٣.٤٢	١٦.٠٦	سطح نزدیکی

جدول ۸- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه مراوه‌تپه

Table 8- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Marave Tappe station.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٣٢.٥	٣٧.٧٥	٤٧.٩٦	٤٥٤٦	٢٠.٨٧	٢٠.٩٦	١٧.١٦	١١.٩١	١٩.١٩	٣٥.٦١	٣٦.٤٥	٣١.١٩	obs
١٨.٥٣٥	١٩.٢	٢٦.٣٩	٣٠.٦٧٨	١٤.٦٩٩	٢٥.١٢٣	٢٠.٣٥١	١٤.٩٦٤	٢١.٠٥٣	٢٦.٠٨٢	٢٠.٢٠٢	١٧.٥٧١	sd
٣٣.١٣	٣٩.٢٨	٤٠.٩٦	٤٤.١٧	١٨.٠٥	١٧.١١	١٨.٣	٩.٣١	١٦.٥٢	٥٩.١١	٤٥.١	٢٢	gen
٢٢.٩٢٦	١٩.٥٣٦	١٥.٦١٨	٢٤.٦٤	١١.٣٨٥	٢٧.٣٤	٢٧.٢٨٤	٨٨٥٩	١٥.٦٦٧	٣٨.٨٩٨	٣٠.٢٩١	١٤.٣٦٤	sd
-٠.٠٨٦	-٠.٢٢٣	٠.٩١٣	٠.١٣٢	٠.٦٠٦	٠.٤١٤	-٠.١٣٤	٠.٦	٠.٤٠٨	-٢.٠٠٨	-٠.٩٥	١.٦٢	t
٠.٩٣٢	٠.٨٢٥	٠.٣٦٩	٠.٨٩٦	٠.٥٤٩	٠.٦٨٢	٠.٨٩٥	٠.٥٥٣	٠.٦٨٦	٠.٠٥٤	٠.٣٥	٠.١١٦	p-t
١.٥٣	١.٠٣٥	٢٨٥٥	١.٥٥	١.٦٦٧	١.١٨٤	١.٧٩٧	٢٨٥٣	١٨٠٦	٢.٢٢٤	٢.٢٤٨	١.٤٩٦	f
٠.٤٢	٠.٩٤٧	٠.٠٥١	٠.٤٠٦	٠.٣٣٣	٠.٧٤٨	٠.٢٦٧	٠.٠٥١	٠.٢٦٤	٠.١٣٣	٠.١٢٨	٠.٤٤٤	p-f
=١.٩٤	-٤.٠٥	١٤.٦	٢٨٤	١٣.٥١	١٨.٣٧	-٦.٦٤	٢١.٨٣	١٣.٩١	-٦٥.٩٩	-٢٣.٧٣	٢٩.٤٦	سطح نزدیکی

جدول ۹- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه اینچه برون

Table 9-Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Inche Borun station.

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
۳۱.٦۹	٤۱.٦٦	۳۷٤٤	۲٤.۳۳	۹.۹٤	۷.۵۹	۹.۹	۱۰.۹٦	۱۱٤۳	۲۸.۱	۲۵.۳۹	۲۲.٦	obs
۱٦٤٤٤	۲٦.۹۳۲	۱۷.۹۰۳	۱٦.۷۳۲	۱۰.۲۹۲	۱۰.۷۹۵	۱۳.۷۹٤	۱۹.۲۵۵	۱۵.۳۵۳	۲۹.۰۵	۱۱.٤٤۹	۹.۳٦۹	sd
٤۱	٤٤.۰۱	۲۸٤	۱۰.۳٤	۱۱.۵۷	۱۸.۹۱	۱۳.۳	۱۲.۰۱	۲۱.٦۳	۲۷.۳	۲۹.۵	۲۱.٤	gen
۱۷٤۳۵	۲۳.۵۳۱	۱۲.۳۵۱	۸.۹۷	۹.۳٦۸	۱۵۸۲۹	۱۵.۲٦۸	۱٦.۰۳	۱۸۸۲	۱۲.۵٦۷	۱۵.٦٤۲	۱۰.۱٤۲	sd
-۱.۰۲۸	-۰.۱۷٤	۱.۱	۱.۹٤۹	-۰.۳۰۹	-۱.۵٦٤	-۰٤۳۷	-۰.۱۱۲	-۱.۱۱۱	۰.۰٦۷	-۰.۵٦۲	۰.۲۳	t
۰.۳۲٤	۰۸٦٤	۰.۲۹۳	۰.۰۷۵	۰.۷٦۲	۰.۱٤٤	۰.٦۷	۰.۹۱۳	۰.۲۸۸	۰.۹٤۸	۰.۵۸۵	۰۸۲۲	p-t
۱.۱۲٤	۱.۳۱	۲.۱۰۱	۳٤۷۹	۱.۲۰۷	۲.۱۵	۱.۲۲۵	۱٤٤۳	۱.۵۰۳	۵.۳٤٤	۱.۸٦۷	۱.۱۷۲	f
۰۸۹۱	۰.۷۵۱	۰.۳۸۸	۰.۱۵۵	۰۸۲۵	۰.۳۷٤	۰۸۱۲	۰.٦٦۷	۰.٦۳۳	۰.۰٦۱	۰.٤٦۷	۰۸۵۲	p-f
-۲۹.۳۸	-۵.٦٤	۲٤.۱۵	۵۷.۵	-۱٦.٤۰	-۱٤۹.۱٤	-۳٤.۳٤	-۹.۵۸	-۸۹.۲٤	۲۸۵	-۱٦.۱۹	۵۳۱	سطح نزدیکی

جدول ۱۰- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه مینودشت

Table 10- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for the year 2011 to 2045 at Minodasht station

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
۸۲.۰۳	۸۳.۱۷	۸۸.٦۳	۷۹.۰۷	٤۵.۷	۱٦.۳	۳۸	٦٤.۳۷	۲۸.۹۷	۵۹.۱	۸۱.۷۷	٦۱.٤۷	obs
٤۰٤۸۳	۲۵۸۹۱	۳۹.۲۲۲	۲٤.۰۱۲	٦۱.۲۳٦	۲٤.۰۰۳	۱۲.۷۱۱	۳٦٤۱۵	۱۷.۰۸۲	۵۷.۵٤۲	۵۲.۹۱۵	۲۸.۱۳۷	sd
۱۰٤.۰۳	۷۰٤۷	۸۲.۹۷	۷۹.۹۳	۷٤.۳۷	۱۲.٦۷	۳۵.۱۳	۷۵.۷	۳۱.۳۷	۵٤.۵۷	۹۱.۱۷	۳۸.۳۳	gen
۲۱.۰۲۷	۱۸.۲٦٦	۲۵٤۰۷	۲۷.۹٤۵	٤٤.۹۹۷	۱۳.۵۷۷	۵۳.٦۳٦	۲۹۸۳٦	۸.۸۸٦	۲۱.۵۳۱	۵.٤۷۸	۱۹.٤۹٤	sd
-۰۸۳۵	۰.٦۹٤	۰.۲۱	-۰.۰٤۱	-۰.٦۵۳	۰.۲۲۸	۰.۰۹	-۰٤۱۷	-۰.۲۱٦	۰.۱۲۸	-۰.۳۰٦	۱.۱۷۱	t
۰.٤۵۱	۰.۵۲٦	۰۸٤٤	۰.۹٦۹	۰.۵٤۹	۰۸۳۱	۰.۹۳۳	۰.٦۹۸	۰۸٤	۰.۹۰٤	۰.۷۷۵	۰.۳۰۷	p-t
۳.۷۰۷	۲.۰۰۹	۲.۳۸۳	۱.۳۵٤	۱۸۵۲	۳.۱۲٦	۱۷۸۰۵	۱٤۹	۳.٦۹۵	۷.۱٤۲	۹۳.۳۰۷	۲.۰۸۳	f
۰٤۲۵	۰.٦٦۵	۰.۵۹۱	۰۸٤۹	۰.۷۰۱	۰٤۸۵	۰.۱۰٦	۰۸۰۳	۰.٤۲٦	۰.۲٤٦	۰.۰۲۱	۰.٦٤۹	p-f
-۲٦۸۲	۱۵.۲۷	٦.۳۹	-۱.۰۹	-٦۲.۷٤	۲۲.۲۷	۷.۵۵	-۱۷.٦۰	-۸.۲۸	۷.٦٦	-۱۱.۵۰	۳۷.٦٤	سطح نزدیکی

جدول ۱۱- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه بندر گز

Table 11-Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Bandargaz station

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٤٣.٩	٣١.٢	٧٦.٦٦	٤٤.٢٤	٢١.٨٢	٢٦.٧٨	٢٠.٨٤	١٥.١٢	٧٧.٣٨	٥٦.٤٤	٦٠.٢٨	٤٥.٩٨	obs
٢٣.٣٨٤	١٤.٧٠١	٣٢.٤٦٢	٣٤.٠٠٦	٢٣.٠٨٧	٥٠.١٧٧	٢٣.٦٤١	٢١.٥٦١	٣٩.٤٥٢	٣٢.٧٠٩	٣٠.٤٥	٤٢.٤٢	sd
٢٧.٩٢	٣٠.٣	٦٢.١٢	٥١.٥٦	١٧.٠٤	٦٥.٥٨	٢٣.٢٢	١٥.٨٢	٧٢.٣٢	٥٦.٨٢	٩٦.٧٨	٨٣.٧٤	gen
١٦.٨٧٣	١٦.٣٨٢	١٥.٧٩	٦١.٤٥٥	٢٢.٣٧٣	٧٩.٣٤٩	١٦.٥٥٩	٣٠.٢٩٥	٧٤.٩٠٨	٤٤.٥٢١	٦٢.٠١٤	٤٠.٩٩٣	sd
١.٢٣٩	٠.٠٩١	٠.٩٠١	-٠.٢٣٣	٠.٣٣٢	-٠.٩٢٤	-٠.١٨٤	-٠.٠٤٢	٠.١٣٤	-٠.٠١٥	-١.١٨١	-١٤٣١	t
٠.٢٥	٠.٩٢٩	٠.٣٩٤	٠.٨٢٢	٠.٧٤٨	٠.٣٨٢	٠.٨٥٨	٠.٩٦٧	٠.٨٩٧	٠.٩٨٨	٠.٢٧١	٠.١٩	p-t
١.٩٢١	١.٢٤٢	٤.٢٢٧	٣.٢٦٦	١.٠٦٥	٢.٥٠١	٢.٠٣٨	١.٩٧٤	٣.٦٠٥	١.٨٥٣	٤.١٤٨	١.٠٧١	f
٠.٥٤٣	٠.٨٣٩	٠.١٩٢	٠.٢٧٨	٠.٩٥٣	٠.٣٩٦	٠.٥٠٧	٠.٥٢٦	٠.٢٤٢	٠.٥٦٥	٠.١٩٧	٠.٩٤٩	p-f
٣٦.٤	٢.٨٨	١٨.٩٧	-١٦.٥٥	٢١.٩١	-١٤٤.٨٨	-١١٤٢	-٤.٦٣	٦.٥٤	-٠.٦٧	-٦٠.٥٥	-٨٢.١٢	سطح نزدیکی

جدول ۱۲- مقایسه بارش ماهانه دوره پایه با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 - برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ ایستگاه گرگان

Table 12- Comparison of the monthly rainfall of the base period with the rainfall simulated by the HadCM3 model for 2011 to 2045 at Gorgan station

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
٤٢.٠١	٤١.٠٦	٥٤.٠٨	٤٠.٩٦	٢٩.١١	٢٣.٥٦	١٣.٣	١٨.٩١	٣٩.٢٩	٤٢.٧٦	٦٤.٥	٤٥.١٤	obs
٣٣.٩٤٩	٢٥.٦٢٩	٣٣.٣٦١	٣٤.٢٢٦	٢٣.٥٠٣	٢١.٣٩	٢٢.١٩١	٢٥.٢١١	٣٣.٢٨٦	٣١.١٣٣	٤٤.٧٣٤	٢٩.٣٨	sd
٥٣.٧	٣١.٩	٢٧.١١	٤٤.٤٣	١٦.٥	٢٥.٩٦	١٤.٠٤	١٦.٧٩	٣٢.٢٤	٣٤.٢	٦٧.٤١	٣٦.٦٦	gen
٤٢.٩٥٢	٣٢.٠٦٥	٣٢.٨٥	٤٧.٥٦٣	١٩.٢٩٢	٢٥.٨٩١	١٩.٩٢٧	٢٤.٩١٦	٣٥.٨٥٤	٣٢.٨٠١	٦٣.٥٩٩	٤٥.١٥	sd
-٠.٩٧٨	١.٠٢٣	٢.٦٣٩	-٠.٢٧٢	١.٩٠١	-٠.٣٢٧	-٠.١١٤	٠.٢٧٥	٠.٦٦	٠.٨٦٧	-٠.١٧١	٠.٧٢١	t
٠.٣٣٤	٠.٣١٣	٠.٠١٢	٠.٧٨٧	٠.٠٦٤	٠.٧٤٦	٠.٩١	٠.٧٨٥	٠.٥١٣	٠.٣٩١	٠.٨٦٥	٠.٤٧٥	p-t
١.٦٠١	١.٥٦٥	١.٠٣١	١.٩٣١	١.٤٨٤	١.٤٦٥	١.٢٤	١.٠٢٤	١.١٦	١.١١	٢.٠٢١	٢.٣٦٢	f
٠.٣٠١	٠.٣٢٤	٠.٩٤٦	٠.١٥	٠.٣٨٥	٠.٤	٠.٦٣٥	٠.٩٥٩	٠.٧٤٣	٠.٨١٨	٠.١٢٤	٠.٠٦١	p-f
-٢٧.٨٣	٢٢.٣١	٤٩.٨٧	-٨.٤٧	٤٣.٣٢	-١٠.١٩	-٥.٥٦	١١.٢١	١٧.٩٤	٢٠.٠٢	-٤.٥١	١٨.٧٩	سطح نزدیکی

جدول ۱۳- میانگین دما پیش‌بینی شده با دوره زمانی ۳۵ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵

Table 13- Average predicted temperature with a period of 35 years from 2011 to 2045

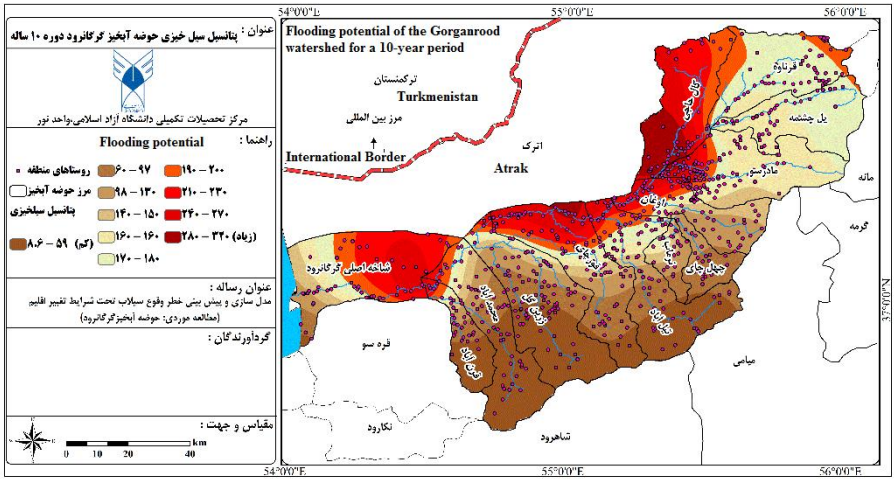
STAION	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
علی آباد کتول Aliabad	۱۰.۹	۱۲.۳	۱۶.۹	۲۰.۱	۲۶.۲	۳۲.۱	۳٤.۵	۳۳	۲۹.۸	۲٤.۸	۱۸	۱٤.٤
بندرگز Bandar gaz	۱٤	۱۳.۱	۱٦.۸	۲۲	۲٦.۸	۳۰.۲	۳۲	۳۳.۷	۳۰.۸	۲٤.٤	۱۹	۱۳.۹
بندرترکمن Bandartorkmen	۱۱.۹	۱۲.۱	۱٦	۲۰.۸	۲۵.۹	۲۹.۵	۳۱.۷	۳۲.۱	۲۹.٦	۲٤.۳	۱۸.۵	۱۳.۲
گنبدکاووس Gonbadkavos	۱۲.۱	۱٤.۱	۱۷	۲۱.۹	۲۹.۱	۳٤.۳	۳٦.۲	۳٦.٦	۳۲.٦	۲۷.٦	۱۹.۸	۱۵.۲
گرگان Gorgan	۱۱.۷	۱۳.۳	۱٦.۷	۲۲	۲۷.۱	۳۱٤	۳۳٤	۳۳.٦	۳۰.۷	۲۵.۷	۱۹٤	۱٤.٦
هاشم آباد Hashemabad	۱۲	۱۳.۲	۱۸	۲۰.۱	۲۷.۳	۳۲.۵	۳٤.۳	۳٤.۱	۳۱.۵	۲٦.۲	۲۰.۳	۱۵.٦
اینچه برون Incheboron	۱۳.۳	۱۳.۱	۱۸	۲٦.٤	۳۱.٤	۳٤.۹	۳٦.۷	۳۷.٦	۳۳.۹	۲۵.۸	۱۹.۲	۱۳.۲
کلاله Kalale	۱۱٤	۱٤.۲	۱۸.٤	۲۰.۵	۲۷.۸	۳٤.۵	۳۵٤	۳۵.۸	۳۲	۲۷	۲۰	۱۵.۳
مراوه تپه Maravetape	۹.۸	۱۲.۷	۱۵.٦	۲۱.۱	۲۷.۵	۳۲.۷	۳٤.٦	۳۵.۳	۳۰.۵	۲٤.۵	۱۸.۱	۱۲.۹
مینودشت Minudasht	۱۳.۲	۱۲.۹	۱٦	۲۳.۱	۳۰.۱	۳۳.٦	۳۵.۱	۳٦.٦	۳۲.۸	۲٤.٦	۱۹.۳	۱۲.۸

سناریوSRA1B برای ایستگاه مینودشت، علی‌آباد و گرگان در ماه ژانویه افزایش بارندگی و برای ایستگاه اینچه‌برون، کلاله و مراوه‌تپه کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند؛ اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند افزایشی را دارد. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، علی‌آباد و هاشم‌آباد گرگان در ماه فوریه به ترتیب با مقدار ۸۶/۸ میلی‌متر،۱۱۳/۷ میلی‌متر،۷۷/۶ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای ایستگاه بندر گز، گرگان، مراوه‌تپه و اینچه‌برون کاهش بارندگی را برای دوره –۲۰۴۵ ۲۰۱۱ پیش‌بینی کردند؛ اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند افزایشی را دارد. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، علی‌آباد، بندر گز و گنبدکاووس در ماه مارس به ترتیب با مقدار ۸۱/۴ میلی‌متر، ۷۷/۸ میلی‌متر، ۷۴/۶ میلی‌متر، ۶۸/۴ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای ایستگاه بندر ترکمن، گرگان، مراوه‌تپه و اینچه‌برون کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند؛ اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند افزایشی را دارد. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، علی‌آباد، کلاله و گنبدکاووس در ماه آوریل به ترتیب با مقدار ۸۱/۰ میلی‌متر، ۵۶/۸ میلی‌متر، ۷۹/۹ میلی‌متر، ۶۶/۳ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای ایستگاه بندر ترکمن، گرگان، مراوه‌تپه و اینچه‌برون کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند؛ اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند افزایشی را دارد. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت در ماه می به ترتیب با مقدار ۴۵/۷ میلی‌متر

افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه بندر گز، علی‌آباد، کلاله و بندر ترکمن در ماه ژوئن به ترتیب با مقدار ۴۵/۰ میلی‌متر، ۳۷/۷ میلی‌متر، ۳۱/۹ میلی‌متر، ۳۷/۴ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه بندر گز، مینودشت، بندر ترکمن، گنبدکاووس، کلاله و مراوه‌تپه در ماه جولای به ترتیب با مقدار ۲۵/۷ میلی‌متر، ۳۱/۹ میلی‌متر، ۲۶/۲ میلی‌متر، ۲۳/۶ میلی‌متر ۲۲/۳ میلی‌متر، ۲۱/۳۰ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت و علی‌آباد در ماه آگوست به ترتیب با مقدار ۷۸/۲ میلی‌متر، ۵۵/۲ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه هاشم‌آباد، علی‌آباد و بندر گز در ماه سپتامبر به ترتیب با مقدار ۸۹/۵ میلی‌متر، ۸۷/۷ میلی‌متر، ۷۰/۳ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، بندر ترکمن، علی‌آباد و بندر گز در ماه اکتبر به ترتیب با مقدار ۶۴/۱ میلی‌متر، ۶۵/۵ میلی‌متر، ۶۲/۳ میلی‌متر، ۵۳/۳ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، بندر ترکمن، علی‌آباد، بندر گز و گرگان در ماه نوامبر به ترتیب با مقدار ۶۴/۳ میلی‌متر، ۶۳/۰ میلی‌متر، ۶۹/۶ میلی‌متر، ۵۹/۹ میلی‌متر، ۶۸/۹ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند. سناریو SRA1B برای ایستگاه مینودشت، بندر ترکمن، علی‌آباد، بندرگز و کلاله در ماه دسامبر به ترتیب با مقدار ۵۳/۴ میلی‌متر، ۴۹/۹ میلی‌متر، ۴۰/۸ میلی‌متر، ۴۹/۸ میلی‌متر، ۵۰/۸ میلی‌متر افزایش بارندگی و برای سایر ایستگاه‌ها کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۱–۲۰۴۵ پیش‌بینی کردند.

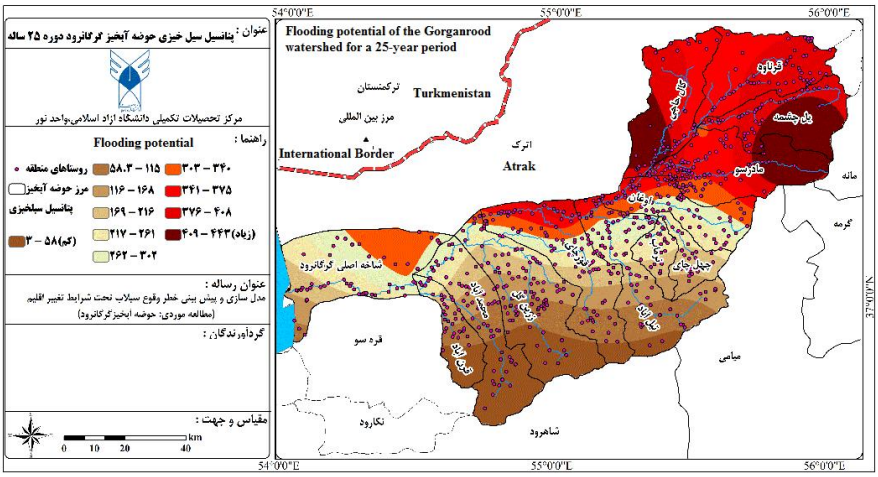
طبق جدول ۱۳ در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز مینودشت، علی‌آباد و بندرگز در پارامتر دمای متوسط شاهد افزایش دمای ماهانه در دوره‌ی مطالعاتی خواهیم بود. این در حالی است که تغییرات بارش در دو ایستگاه اینچه برون و مراوه‌تپه کاهش و در دیگر ایستگاه‌ها شاهد افزایش بارش نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ست. این نکته نیز قابل‌ذکر می‌باشد که در تمامی ایستگاه‌ها در فصل تابستان با کاهش بارش نسبت به دوره پایه، مواجه خواهیم

شد و همچنین در همه‌ی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه اینچه‌برون و مراوه‌تپه شاهد افزایش بارش در فصل پاییز نسبت به دوره‌ی پایه هستیم. در دید کلی می‌توان چنین استنباط کرد که بارش‌های حدی و ناگهانی حوضه آبخیز گرگانرود در دوره‌های آتی دارای روند افزایشی معنی‌داری خواهد بود.



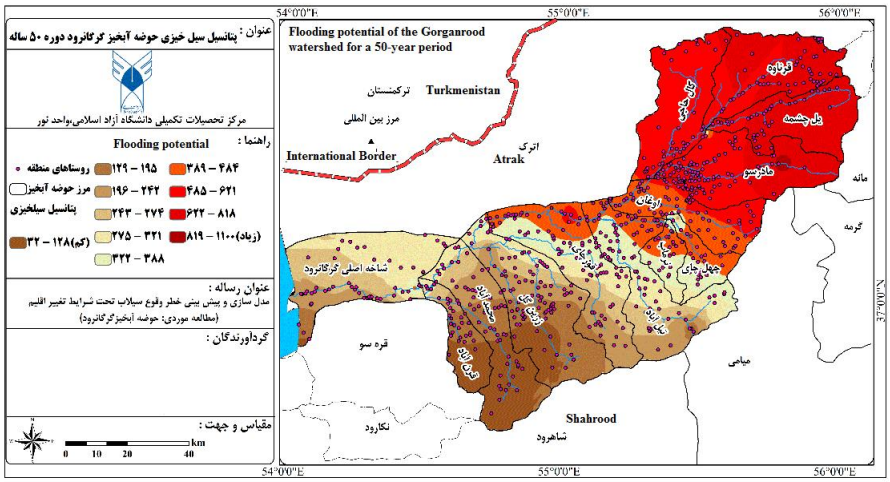
شکل ۴- پهنه‌بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۱۰ ساله

Fig.4. Zoning of future flood risk using the output of SWAT method for 10 years period



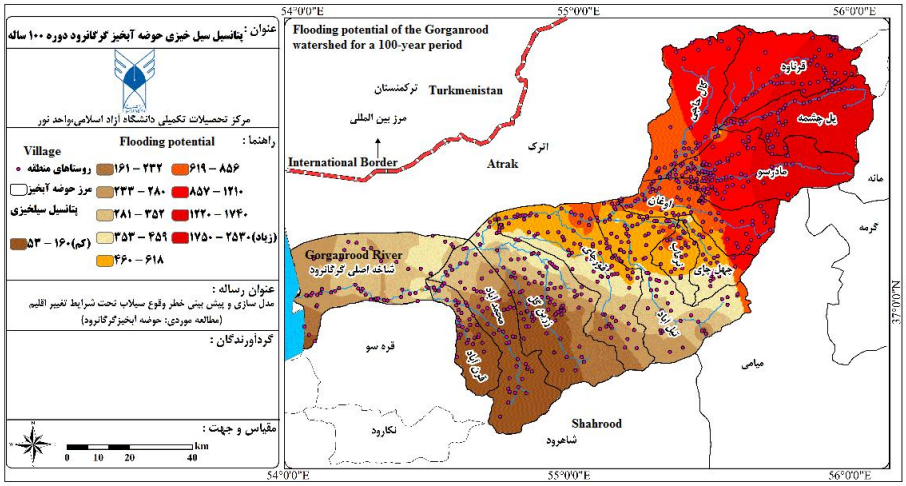
شکل ۵- پهنه‌بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۲۵ ساله

Fig.5. Zoning of future flood risk using the output of SWAT method for 25 years period



شکل ۶- پهنه‌بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۵۰ ساله

Fig.6. Zoning of future flood risk using the output of SWAT method for 50 years period



شکل ۷- پهنه‌بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۱۰۰ سال

Fig.7. Zoning of future flood risk using the output of SWAT method for 100 years period

شبیه‌سازی نتایج شبیه‌سازی دبی بر اساس SWAT: نتایج حاصل برای سناریوSRA1B نشان داد که برای ماه می‌افزایش دبی ۲۱/۱۱ درصدی پیش‌بینی شده است. از سوی دیگر همین سناریو برای ماه اکتبر کاهش دبی ۱۳/۲ درصدی را پیش‌بینی کرده است. طبق سناریوSRA1B برای هر دو ماه می و اکتبر به ترتیب کاهش دبی ۲/۹ و ۳۸/۶۳ درصدی پیش‌بینی شده است.

بخش مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش تحت شرایط تغییر اقلیم: سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه از مدل HadCM3 برای ماه‌های مختلف سال نیز نشان‌دهنده بیشترین تغییرات دمایی در ماه‌های ژوئن، آگوست و فوریه می‌باشد که نشان‌دهنده گرم‌تر شدن ماه‌های گرم سال و حتی گرم‌تر شدن ماه فوریه در دوره‌های آتی می‌باشد که این پدیده‌ها نیز بر روی زمان گل‌دهی گیاهان، ایجاد تنش آبی در فصول تابستان تأثیر خواهد گذاشت. مقایسه میانگین دماهای حداکثر (بیشینه) و حداقل (کمینه) در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HadCM3 حوضه آبخیز گرگانرود نیز نشان‌دهنده گرم‌تر شدن ماه‌های گرم سال و تأیید موضوع موردبحث را دارد. نتایج نشان می‌دهند که هم دمای حداکثر و هم دمای حداقل ایستگاه‌ها در دوره آینده افزایش خواهد یافت. در تمامی ایستگاه‌ها با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده به‌وسیله مدل LARS-WG بارندگی برای سناریو بارش در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه در بعضی ماه‌ها افزایش و در بعضی ماه‌ها کاهش داشته است. به‌طوری‌که در ماه تابستان کاهش بارش و در مقابل فصل زمستان نسبت به دوره‌ی پایه بارندگی افزایش خواهد یافت.

با مطالعه وضعیت میانگین درصد تغییرات بارش برای سناریویSRA1B در ۲ دوره؛ ۲۰۴۵-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۵ نیز نشان‌دهنده تغییرات بارش از در ماه آگوست در دوره، ۲۰۴۵-۲۰۱۱ تا ۳۷/۵ درصد در ماه نوامبر همین دوره نسبت به دوره پایه را دارد. افزایش بسیار بالای تغییرات بارشی در ماه نوامبر نیز به جهت ایجاد سیلاب‌های پائیزه قابل‌بررسی و تعمق می‌باشد.

بیشترین افزایش بارش ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 با رقم ۱۰۰ میلی‌متر برای سناریوی SRA1B در ماه نوامبر می‌باشد که این رقم بیش از سه برابر بارش دور پایه در منطقه مطالعاتی می‌باشد که ازلحاظ ایجاد سیلاب‌های مهیب و آمادگی جهت مقابله با حوادث احتمالی را می‌طلبد، روند افزایش و کاهش بارندگی در ماه‌های مخصوصاً اکتبر و نوامبر و کاهش بارندگی در ماه‌های جولای و آگوست می‌باشد.

پهنه‌بندی نهایی سیلاب: در حوضه آبخیز گرگانرود بیشینه و کمینه مقادیر دبی با دوره‌های مختلف بازگشت سیل به شرح ذیل می‌باشد:

سیل ۱۰ ساله: حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله مربوط به ایستگاه پارک جنگلی گلستان واقع در زیر حوضه مادرسو با ۳۶۷ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه‌های گرمابدشت و امامزاده در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود با ۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۴).

سیل ۲۵ ساله: حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۲۵ ساله مربوط به ایستگاه پارک جنگلی گلستان و تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۵۵۶ و ۵۱۷ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود با ۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۵).

سیل ۵۰ ساله: حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله مربوط به ایستگاه تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۱۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود با ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۶).

سیل ۱۰۰ ساله: حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله مربوط به ایستگاه تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۲۷۷۹ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود با ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۷).

با عنایت به آنچه آمد می‌توان بیان نمود که در مجموع، بیشترین مقادیر دبی با دوره‌های مختلف بازگشت سیل (۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله)، مربوط به زیرحوضه مادرسو بوده و کمترین مقادیر این دبی نیز مربوط به زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود می‌باشد. به‌طورکلی افزایش بارش و رواناب‌های حدی دلیل بر پرآب شدن منطقه نیست. علی‌رغم افزایش رواناب، دبی پایه کاهش و روزهای خشک به دلیل تبخیر بالا افزایش یافته است. ازاین‌رو افزایش رواناب نشان از افزایش وقایع حدی دارد که منجر به سیل در منطقه می‌گردد.

۴-نتیجه‌گیری

با توجه به وسعت و توپوگرافی حوضه رودخانه گرگانرود که توان بالایی را در تولید رواناب دارد و همچنین تبدیل کاربری‌های زمین از مرتع به کشاورزی و از بین رفتن پوشش گیاهی، زمینه مناسبی را برای تشدید سیلاب‌ها فراهم کرده است. بی‌شک یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب و افزایش دبی سیلاب‌های استان گلستان در دهۀ اخیر، تغییر کاربری اراضی و عدم تناسب کاربری‌های فعلی با توانایی اراضی است. قرارگیری

روستاها و همچنین زمین‌های کشاورزی در حریم رودخانه‌ی گرگانرود لزوم بررسی در رابطه با تغییر اقلیم، تولید رواناب و سیلاب را توجیه می‌کند. بر همین اساس کاهش و مهار نسبی خطرات سیلاب یکی از چالش‌های عمده مدیریت در منطقه است. لذا یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز گرگانرود خواهد بود.

میزان کاهش رواناب در ماه‌های گرم سال و اوایل پاییز و اواخر بهار می‌باشد. البته کاهش در فصل گرم روند یکنواخت‌تری را دنبال می‌کند. در سناریوهای مختلف استثناهایی نیز وجود دارد. در اواخر زمستان و اوایل بهار افزایش دیده می‌شود. دلیل این افزایش به‌طور مستقیم با افزایش دما و افزایش بارش‌های حدی در دوره‌آتی مرتبط است. افزایش دما باعث افزایش نرخ ذوب برف در منطقه خواهد شد و به‌مرورزمان منابع آب موجود در ارتفاعات و مناطق سرد ذوب‌شده که منجر به سیلاب در منطقه می‌گردد.

با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی به‌طور مستقیم محیط طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین افزایش رشد جمعیت انسانی در پهنه گرگانرود در چند سال آینده به حدود دو برابر خواهد رسید، این ناهنجاری‌های اقلیمی و به‌تبع آن سیلاب‌ها در آینده نیاز غذایی استان گلستان را تهدید خواهد کرد. تغییر اقلیم بر کارکردها و خدمات اکوسیستمی مراتع حوضه آبخیز گرگانرود به‌صورت کمی و کیفی اثرگذار است. باوجودآنکه علل واقعی تغییرپذیری اقلیمی به‌طور کامل شناخته نشده است، لیکن فرضیه‌هایی به‌عنوان عوامل مؤثر در تغییرات اقلیم مطرح‌شده‌اند که نتیجه تمام این فرضیه‌ها، تغییر پارامترهای درجه حرارت و بارندگی است.

نتایج این تحقیق در خصوص اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی با نتایج بحری و دستورانی (Bahri & Dastorani, 2017) و در بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیل در حوضه‌ی رودخانه با چهار مدل اقلیمی تحت سناریو RCP8.5،RCP4.5 و برای شبیه‌سازی رواناب‌های سالانه حداکثر از مدل SWAT با نتایج اقبال و همکاران (Iqbal et al., 2018) و همچنین با استفاده از سناریوهای اقلیمی و مدل SWAT با نتایج گودرزی و فتحی فر (Goodarzi & Fatehifar, 2019) و نیز خوش‌روش و همکاران (Khosh Ravesh et al., 2018) همخوانی دارد.

پیشنهاد می‌شود با توجه به این‌که کلیه مدل‌های اقلیمی دارای درصدی از خطا در شبیه‌سازی‌ها هستند که با روش‌های مختلف نظیر ریزمقیاس نمایی می‌توان این خطاها و عدم قطعیت ناشی از آن‌ها را کاهش داد لیکن

در مورد آشکارسازی و نسبت‌دهی با توجه به اینکه شبیه‌سازی‌ها مربوط به اثرات جداگانه‌ای چون گازهای گلخانه‌ای، آئروسل و یا تغییرپذیری درونی اقلیم می‌باشند و داده مشاهداتی مشابه یا معادلی برای آن‌ها وجود ندارد لذا ریزمقیاس نمایی یا تصحیح خطای موجود به سهولت امکان‌پذیر نیست. این موضوع در برنامه مطالعات آتی نگارنده بوده و علاقه‌مندان، پژوهش در این خصوص را مدنظر قرار دهند.

یادداشت:

این مقاله برگرفته از رساله دکتری آقای عبدالحافظ پناهی به راهنمایی اول دکتر غلامرضا جانباز قبادی و راهنمایی دوم دکتر صدرالدین متولی و مشاور دکتر شهریار خالدی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور است که در تاریخ ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ دفاع نهایی شده است. رساله مذکور حامی مالی نداشته است.

References

Aghel poor, P., & Nadi, M. (2019). Evaluating SARIMA Model Accuracy in Modeling and Long-Term Forecasting of Average Monthly Temperature in Different Climates of Iran. *Journal of Climate Research*, *1397*(35), 113-126. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_83484.html

Asgari, S., & Safari, A. (2018). Investigation of flood capability in Jafarabad basin. *Applied Researches in Geographical Sciences*, *18*(50), 77-90. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.50.77

Bahri, M., & Dastorani, M. T. (2017). Evaluation of the Impacts of Climate andLand Use Changes on Hydrological Responses of EskandariBasin in the Future Decade. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *6*(2), 37-57. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v6i2.56262

Confesor, R. B., & Whittaker, G. W. (2007). Sensitivity analysis and interdependence of the SWAT model parameters. In *2007 ASAE Annual Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. https://doi.org/10.13031/2013.23224

Feloni, E., Mousadis, I., & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, *13*, e12563. https://doi.org/10.1111/jfr3.12563

Ghasemiayan, H., & Najafi, E. (2019). Flood Hazard Zoning in Kouhdasht City Using Hierarchical and Fuzzy Analysis Model. *Geography and Human Relationships*, *2*(3), 403-417. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453851.1398.2.3.24.6

Goodarzi, M., & Fatehifar, A. (2019). Flood risk zoning due to climate change under RCP 8.5 scenario using hydrologic model SWAT in Gis (Azarshahr basin). *Applied Researches in Geographical Sciences*, *19*(53), 99-117. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jgs.19.53.99

Imani, T., Dalghandi, M., Emamgholizadeh, S., & Ganji -noroozi, Z. (2022). Effects of climate change on floods volume and peak discharge (Case Study: Qaran Talar sub-catchmaent). *Iranian Journal of Ecohydrology*, *9*(1), 259-272. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2022.333410.1576

Iqbal, M. S., Dahri, Z. H., Querner, E. P., Khan, A., & Hofstra, N. (2018). Impact of climate change on flood frequency and intensity in the Kabul River Basin. *Geosciences*, *8*(4), 114-130. https://doi.org/10.3390/geosciences8040114

Jia, J., Wang, X., Hersi, N. A., Zhao, W., & Liu, Y. (2019). Flood-Risk zoning based on analytic hierarchy process and fuzzy variable set theory. *Natural Hazards Review*, *20*(3), 04019006. https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000329

Kastridis, A., Kirkenidis, C., & Sapountzis, M. (2020). An integrated approach of flash flood analysis in ungauged Mediterranean watersheds using post-flood surveys and unmanned aerial vehicles. *Hydrological Processes*, *34*(25), 4920-4939. https://doi.org/10.1002/hyp.13913

Khajuee, F., Khodashenas, S. R., & Mosaedi, A. (2021). The effect of human interventions on bed and right of way of Faroub Roman river and its flood characteristics. *Iranian journal of Ecohydrology*, *8*(2), 369-379. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2021.309921.1383

Khosh Ravesh, M., Mir Naseri, M., & Pasarkello, M. (2018). Change Detection of Precipitation Trend of Northern Part of Iran using Mann- Kendall Non-Parametric Test. *Journal Watershed Management Res*earch, *8*(16), 223-231. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.8.16.223

Kim, V., Tantanee, S., & Suparta, W. (2020). GIS-based flood hazard mapping using HEC-RAS model: A case study of lower Mekong river, Cambodia. *Geographia Technica*, *15*(1), 16-26. https://doi.org/10.21163/gt_2020.151.02

Lu, Z., Zou, S., Xiao, H., Zheng, C., Yin, Z., & Wang, W. (2015). Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *79*, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.11.003

Meteorological organization of Golestan province. (2019). Statistics and data of meteorological stations. [In persian]

Młyński, D., Wałęga, A., Stachura, T., & Kaczor, G. (2019). A new empirical approach to calculating flood frequency in ungauged catchments: A case study of the upper Vistula basin, Poland. *Water*, *11*(3), 601-622. https://doi.org/10.3390/w11030601

Nafarzadegan, A. R., Mohammadifar, A. A., Vagharfard, H., & Foruzanfard, M. (2019). Combination of Multi-criteria Decision-making Models and Regional Flood Analysis Technique to Prioritize Sub-watersheds for Flood Control (Case study: Dehbar Watershed of Khorasan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *8*(2), 27-45. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.76607

Soltani, A., Galeshi, S., & Zeinali, E. (2000). Management and Planning Organization of Golestan province. [In Persian]

Yodying, A., Seejata, K., Chatsudarat, S., Chidburee, P., Mahavik, N., Kongmuang, C., & Tantanee, S. (2019). Flood hazard assessment using fuzzy analytic hierarchy process: A case study of

Bang Rakam model in Thailand. In *Proceedings of the 40th Asian Conference on Remote Sensing, Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea*, 14-18. https://www.researchgate.net/publication/336890938

Zaree, A., Asadi, E., Ebrahimi, A., Jafari, M., & Malekian, A. (2019). Study of temperature and precipitation changes under climate changes scenarios in rangelands of ChaharMahal-va-Bakhtiyari. *Journal of Rangeland, 12*(4), 426-436. [In persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.20080891.1397.12.4.5.5

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.214-246 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.86464.1456 Open access

Projection changes of extreme precipitation with different return periods in Iran based on the ensemble approach of 10 CMIP6 models in the near future

Sakineh Khansalari[a], Seyede Atefeh Mohammadi[b], Zahra Ghassabi[a*], Hasan Salehi[c]

[a] *Assistant Professor in Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran.*
[b] *Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran.*
[c] *Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province Meteorological Administration, Yasuj, Iran.*

Received: 20 January 2024 ***Revised: 6 April 2024*** ***Accepted: 11 May 2024***

Abstract

In the current study, changes in the amount of extreme precipitation with different return periods for the period 2026–2050 were analyzed using the weighted combination of 10 CMIP6 models under different scenarios. The spatial and temporal ranking of the historical simulation performance of the 10 CMIP6 models in Iran was used to determine the weights for each model. Subsequently, a rank-based weighting method was employed to project extreme precipitation levels in the study area.

For extreme precipitation analysis, the best statistical distribution was selected for each station based on historical data. In 84% of the stations, the Log-Pearson Type 3 distribution was identified as the best fit using the chi-square test for both the historical period (1990–2014) and future scenarios.

A comparison between the results of extreme precipitation for the historical and future periods revealed that the percentage of change in projected extreme precipitation was notably higher under the SSP2-4.5 scenario compared to the other two scenarios. Moreover, with longer return periods, the percentage increase in extreme precipitation was greater, and the spatial extent of its occurrence also expanded. The greatest increases in projected extreme precipitation, exceeding 25%, were observed in the SSP1-2.6 scenario in Gorgan, Babolsar, Bojnord, Arak, Isfahan, and Zahedan stations. In the SSP2-4.5 scenario, the largest increases were recorded in Gorgan, Sanandaj, Hamedan, Arak, Kashan, Isfahan, Shiraz, Fasa, Minab, Bushehr, Bandar Abbas, Bandar Lengeh, and Abu Musi stations. Under the SSP5-8.5 scenario, the greatest increases occurred in Bojnord, Birjand, Arak, Kashan, and Semnan stations.

A significant increase in extreme precipitation was consistently observed in Arak station across all three scenarios. For the 200-year return period, extreme precipitation at Arak station increased by approximately 70% under the SSP1-2.6 and SSP2-4.5 scenarios, and by about 50% under the SSP5-8.5 scenario.

Keywords: Extreme Precipitation Events, Climate Projection Models, Return Period Analysis, CMIP6 Models, Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), Statistical Downscaling**.**

[*] .Corresponding author: Zahra Ghassabi Email: z-ghassabi@gmail.com Tel:+989125246850

How to cite this Article: Khansalari, S., Mohammadi, S. A., Ghassabia Z., & Salehi, H. (2024). Projection changes of extreme precipitation with different return periods in Iran based on the ensemble approach of 10 CMIP6 models in the near future. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3),, 214-246.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۲۴۶-۲۱۴

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.86464.1456 دسترسی آزاد

پیش‌نگری تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران بر اساس رویکرد همادی ده مدل CMIP6 در آینده نزدیک

سکینه خان‌سالاری- استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

سیده عاطفه محمدی- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

زهرا قصابی[1]- استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

حسن صالحی- اداره کل هواشناسی استان کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج، ایران

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۱۰/۳۰ تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۱/۱۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۲/۲۲**

چکیده

در پژوهش حاضر تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۶ با ترکیب وزنی ۱۰ مدل CMIP6 در سناریوهای مختلف مطالعه شد. طبق رتبه‌بندی مکانی و زمانی ظرفیت‌های شبیه‌سازی تاریخی ۱۰ مدل CMIP6 در ایران، وزن‌های مربوط به هر یک از مدل‌ها به دست آمد. سپس با استفاده از روش وزن‌دهی مبتنی بر رتبه، پیش‌نگری مقدار بارش فرین در منطقه موردمطالعه انجام شد. در ادامه بارش‌های فرین در بهترین توزیع آماری منطبق بر داده‌ها برای هر یک از ایستگاه‌ها که در ۸۴ درصد ایستگاه‌ها توزیع log-Pearson type3 با آزمون کای-اسکوئر انتخاب گردید. در دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و آینده در هر سه سناریو و دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. مقایسه پیش‌نگری بارش‌های فرین با دوره تاریخی نشان داد که درصد تغییرات مقدار بارش فرین پیش-نگری شده در سناریو SSP2-4.5، نسبت به دو سناریو دیگر بیشتر است. همچنین به سمت دوره بازگشت‌های طولانی‌تر درصد افزایش مقدار بارش پیش‌نگری شده افزایش و منطقه رخداد آن نیز گسترش می‌یابد. بیشترین افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده (بیشتر از ۲۵ درصد) در سناریو خوش‌بینانه در ایستگاه‌های گرگان، بابلسر، بجنورد،

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۲۴۶۸۵۰ Email:z.ghassabi@gmail.com

اراک، اصفهان و زاهدان، در سناریو میانه در ایستگاه‌های گرگان، سنندج، همدان، اراک، کاشان، اصفهان، شیراز، فسا، میناب، بوشهر، بندرعباس، بندرلنگه، ابوموسی و در سناریو بدبینانه در ایستگاه‌های بجنورد، بیرجند، اراک، کاشان و سمنان مشاهده شد. افزایش مقدار بارش فرین بیش از ۲۵ درصد در ایستگاه اراک در هر سه سناریو (حدود ۷۰ درصد در سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5، حدود ۵۰ درصد در سناریوی SSP5-8.5 در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله) مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: رویدادهای بارش شدید،مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی،تحلیل دوره بازگشت،مدل‌های CMIP6، مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک، ریزگردانی آماری.

۱-مقدمه

سیل به‌عنوان یک واقعه اجتناب‌ناپذیر است که سالانه در نقاط مختلف جهان، جان و مال بسیاری از مردم بر اثر این رویداد طبیعی به خطر می‌افتد. وقوع این رویداد طبیعی، اندازه و تکرار آن ناشی از عوامل متعددی است که گرمایش جهانی سبب افزایش رویداد آن در مناطق مختلف جهان شده است.

درک و پیش‌نگری بارش‌های فرین به‌عنوان یکی از عوامل رخداد سیل برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم، سازگاری و آسیب‌پذیری از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که رویدادهای بارش فرین در قرن گذشته بیشتر شده‌اند و در قرن بیست و یکم نیز بیشتر اتفاق خواهند افتاد (برای مثال Peng et al., 2018; Dike, Lin & Ibe, 2020; Lee, Paek, Park & Boo, 2020; IPCC, 2020; Tang, Hu & Duan, 2021). دلیل اصلی رخداد این بارش‌های فرین افزایش دما است. وقتی دما افزایش می‌یابد، رطوبت ویژه اشباع جوّ بیشتر می‌شود و بنابراین طبق رابطه کلازیوس-کلاپیرون (Ruckstuhl, Philipona, Morland & Ohmura, 2007)، هوا می‌تواند حاوی مقدار بیشتری بخارآب باشد. بر اساس استدلال‌های نظری، میزان رطوبت جوّ به میزان ۷ درصد بر درجه کلوین در گرمایش جهانی بر طبق رابطه کلازیوس-کلاپیرون افزایش می‌یابد که منجر به بارش فرین شدیدتر می‌شود (Allen & Ingram, 2002; Trenberth et al, 2007; Zhang & Zhou; 2019). درواقع هنگامی‌که شرایط رخداد بارش ایجاد می‌شود، هوای اشباع بیشتر، منجر به بارش سنگین‌تر می‌شود (Berg, Moseley & Haerter, 2013).

مدل‌های اقلیمی جهانی به‌عنوان ابزارهای کارآمدی برای پیش‌نگری تغییرات آتی در اقلیم متوسط و فرین هستند (Chen, Sun, Chen & Zhou, 2012; Chen, 2013). مدل‌های اقلیمی یکی از ابزارهای اولیه برای محققان برای درک چگونگی تغییر آب‌وهوا در گذشته و در آینده است. این مدل‌ها فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی جو، زمین و اقیانوس‌ها را با جزئیات بسیار شبیه‌سازی می‌کنند. مدل‌های اقلیمی با توسعه همه جانبه‌ای که داشته‌اند اما همچنان عدم قطعیت زیادی دارند و برای کاهش این عدم قطعیت میانگین همادی چند مدل برای پیش‌نگری ازجمله پیش‌نگری دما و یا بارش استفاده می‌شود (Sarabi, Dastorani & Zarrin, 2020; Sarabi, Dastorani & Zarrin, 2021; Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021a; Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022a; Zareian, 2022; Khansalari & Mohammadi, 2023).

مدل‌های CMIP6 بهترین عملکرد را در تخمین بارش و تغییرات مکانی-زمانی آن در مناطق خشک و بسیار خشک کشور ایران از خود نشان می‌دهند. باوجوداین ارزیابی عملکرد تخمین‌های بارش از مدل‌های مختلف CMIP6در مناطق اقلیمی مختلف ایران نشان می‌دهد که هر یک از مدل‌های CMIP6 به نظر می‌رسد که برای یک منطقه اقلیمی خاص، مناسب‌تر باشد (Yazdandoost, Moradian, Izadi & Aghakouchak, 2021). در رابطه با کاربست مدل CMIP6 در پیش‌نگری بارش فرین زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022a)، به بررسی روزهای همراه با بارش سنگین در ایران با استفاده از سه مدلEC-Earth3 ، EC-Earth3-CC و EC-Earth3-Veg با روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد بارش سنگین در ایران تحت شرایط تغییر اقلیم آینده افزایش خواهد داشت. زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021b) به مطالعه شدت بارش شدید در ایران بر اساس مجموعه پنج مدل CMIP6 (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRIESM2-0, UKESM1-0-LL) پرداخته‌اند و جهت ادغام نتایج حاصل از چندین مدل، از روش وزن‌دهی مستقل استفاده شده است که در بین این مدل‌ها، مدل MPI-ESM1-2-HR بالاترین عملکرد را نشان می‌دهد. همچنین زرین و همکاران (Zarrin, Dadashi-Roudbari & Hassani, 2022c) بر اساس مجموعه همان پنج مدل CMIP6 در آینده، پیش-نگری می‌کند که آستانه‌های بارش برای هر دو شاخص R10mm و R20mm در دهه‌های آینده در سواحل دریای خزر افزایش خواهد یافت ولی شاخص‌های بارش برای R95p در مناطق غربی و جنوب غربی وR99p

در مناطق جنوبی ایران کاهش خواهند داشت. همچنین تغییرات در شاخص‌های بارش فرین در حوزه دریاچه ارومیه با استفاده از ۱۶ مدل CMIP5 توسط جوان و همکاران (Javan, Movaghari & Park, 2023) موردبررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان دادند که بارش میانگین حوضه تا پایان قرن ۲۱ کاهش و شاخص روزهای خشک متوالی افزایش خواهد یافت. بااین‌حال، سایر شاخص‌های بیشینه بارش یک‌روزه و پنج‌روزه، روزهای بسیار مرطوب، روزهای متوالی مرطوب و بارش روزهای مرطوب نسبت به دوره مرجع کاهش خواهد یافت. همچنین خوانسالاری و محمدی (Khansalari & Mohammadi, 2023) پیش‌نگری بارش فرین در کشور ایران را با استفاده از پنج مدل CMIP6 (MPI-ESM1-2-HR، EC-Earth3، EC-Earth3-Veg، GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0) موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش مقدار بارش فرین بر افزایش تعداد روزهای وقوع بارش فرین تقدم دارد؛ به‌بیان‌دیگر این بارش‌های فرین در تعداد روزهای کمتری رخ خواهند داد که خود اعلام‌خطری برای رخداد بارش‌های سیل‌آسا می‌باشد.

برای پیش‌نگری دوره بازگشت بارش فرین روزانه در ایران از داده‌های مشاهداتی و کاربست یک مدل اقلیمی و یا میانگین همادی چند مدل و یا بررسی کارایی پایگاه داده بارش همادی–وزنی چند منبعی (MSWEP: Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation) و کاربست آن در تعیین دوره‌های بازگشت و بررسی احتمال رخداد بارش سالانه در ایران نیز مطالعاتی انجام شده است که این مطالعات در مقایسه با بررسی بارش فرین بسیار کم است (Hong, Javan, Shin & Park, 2021; Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022b, Azizi & Nejatian, 2022). هونگ و همکاران (Hong et al., 2021) برای پیش‌نگری بارش فرین در ایران از داده‌های مشاهداتی و مدل همادی CMIP6 استفاده نموده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در ایران با دوره بازگشت ۲۰ ساله، سطح بارش بیشینه روزانه در سه سناریوی SSP245، SSP370 و SSP585 تا سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۱۵/۶، ۲۳/۲ و ۲۸/۷ درصد افزایش می‌یابد. همچنین زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022b) پژوهشی با هدف بررسی کارایی پایگاه داده بارش همادی–وزنی چند منبعی (MSWEP: Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation) و کاربست آن در تعیین دوره‌های بازگشت و بررسی احتمال رخداد بارش سالانه در ایران انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این پایگاه داده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بهترین کارایی و در پهنه پرباران و کوهستانی کمترین کارایی را دارد. همچنین بیشینه مقدار بارش محتمل در دوره‌های ۱ تا ۱۵ ساله در سواحل شمالی و بیشینه شدت آن در سواحل جنوبی ایران اتفاق می‌افتد. در این مطالعه احتمال رخداد بارش در ایران بین ۲/۰۳ تا ۳۲/۰۲ درصد بیان شده است. همچنین عزیزی و نجاتیان (Azizi & Nejatian, 2022) به بررسی شدت- مدت و دوره بازگشت شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI با مدل EC-EARTH در دشت ورامین پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شدت خشکسالی در آینده نسبت به دوره پایه بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI به ترتیب ۸ و ۲۸ درصد افزایش دارد. همچنین دوره بازگشت خشکسالی‌های شدید تحت سناریوی RCP8.5 بر اساس شاخص SPEI در دوره‌های پایه و آتی به ترتیب ۸ و ۶ سال است که نشان دهنده کاهش دوره بازگشت خشکسالی‌های شدید و افزایش سال‌های خشک در آینده است.

با توجه به تغییر اقلیم و رویه افزایش دمای جهانی، درحالی‌که بسیاری از مناطق به‌احتمال‌زیاد خشک‌تر می‌شوند، مطالعه دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش‌های فرین اهمیت زیادی دارند؛ اگرچه دوره‌های خشک طولانی‌تر این رویدادهای منفرد را از هم جدا می‌کنند (Mann & Kump, 2015). با توجه به افزایش دوره خشکی و کوتاه شدن دوره وقوع بارش و رخداد این بارش‌ها به‌صورت فرین نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت جهت حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آب در دسترس در زمان رخداد فرین‌ها و کاهش خطرات بارش فرین مانند سیل‌های گسترده است. در این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) در ایران بر اساس رویکرد همادی مدل‌های CMIP6 در آینده نزدیک، از روش وزن‌دهی نوین برای اختصاص به مدل‌های مختلف به‌کار رفته در پیش‌نگری بارش فرین و از شاخص‌های مناسب به‌منظور تعیین بارش‌های فرین در نقاط مختلف ایران استفاده شده است؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر تعیین مقدار بارش فرین در دوره بازگشت‌های مختلف و تغییرات آن نسبت به دوره تاریخی تا اواسط قرن ۲۱ با ترکیب وزنی ۱۰ مدل مورداستفاده از مدل‌های CMIP6 و تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 است.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه موردمطالعه

ایران، واقع در منطقه‌ای با اقلیم گذرای بین مناطق خشک و نیمه‌خشک، تغییرات قابل‌توجهی در الگوهای بارش به‌ویژه از نظر مکانی و زمانی نشان می‌دهد. تنوع کوهساری کشور که شامل رشته‌کوه‌ها، فلات‌ها و دشت‌ها می‌شود، بر اقلیم محلی و سامانه‌های جوی تأثیر می‌گذارد و منجر به تفاوت‌های بارز در توزیع بارش می‌گردد. مطالعات اخیر بر شدت و فراوانی فزاینده‌ی رویدادهای بارش شدید تأکید کرده‌اند که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و نوسانات جوی قرار دارند. با توجه به اینکه ایران به‌شدت در برابر تأثیرات شرایط جوی شدید، ازجمله سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها آسیب‌پذیر است، درک تغییرات مقدار بارش‌های شدید برای مدیریت مؤثر منابع آب و کاهش خطرات ناشی از بلایای طبیعی ضروری است. این مطالعه با استفاده از یک رویکرد همادی و به کارگیری ده مدلCMIP6 به پیش‌بینی تغییرات در مقادیر بارش شدید با دوره‌های بازگشت مختلف می‌پردازد. نتایج این تحقیق به‌منظور ارائه بینش‌هایی در مورد چالش‌های آب‌شناسی آینده ایران و کمک به درک بهتر تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آب‌شناسی منطقه‌ای و اطلاع‌رسانی به سیاست‌گذاران در استراتژی‌های سازگاری با اقلیم خواهد بود.

۲-۲ داده‌های مورداستفاده

با توجه به عدم قطعیت مدل‌ها (Hawkins & Sutton, 2011) برای افزایش سطح قابلیت اطمینان، در این بررسی از روش همادی چند مدلی (MME[1]) برای پیش‌نگری اقلیمی استفاده شده است؛ بنابراین در این مطالعه از مجموعه داده‌های تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و پیش‌نگری (۲۰۲۶-۲۰۵۰) بارش ۱۰ مدل از مدل‌های CMIP6[2] استفاده شده است که مشخصات مدل‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توسعه همه‌جانبه مدل‌های اقلیمی، همچنان این مدل‌ها عدم قطعیت زیادی دارند و برای کاهش این عدم قطعیت میانگین همادی چند مدل برای پیش‌نگری متغیرهای هواشناسی استفاده می‌شود؛ بنابراین انتخاب مناسب این مدل‌ها برای منطقه

[1] Multi Model Ensemble

[2] https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/

موردمطالعه با توجه معیارهای مختلف و افزایش تعداد مدل‌های دخالت داده شده در تحقیق از اهمیت بسیاری برخوردار است. در انتخاب مدل‌ها در این مطالعه، به ۳ مورد تفکیک افقی مدل، حساسیت اقلیمی و نتایج مطالعات پیشین توجه شده است.

۱. بر اساس تعریف تفکیک‌های افقی متنوع در مطالعه (Lin & Yu, 2022) که شامل تفکیک افقی بالا (کمتر از ۱۴ کیلومترمربع، ۳ مدل)، تفکیک افقی متوسط (۱۴ تا ۴۰ کیلومترمربع، ۵ مدل) و تفکیک افقی پایین (بیشتر از ۴۰ کیلومترمربع، ۲ مدل)، سعی شده است که ترکیبی از تمام تفکیک‌های افقی استفاده شود.

۲. حساسیت اقلیمی "Climate Model Sensitivity"به معنای تغییر دما در پاسخ به تغییر در ترکیب گازهای گلخانه‌ای در جو زمین است. این مفهوم در علوم اقلیمی به‌عنوان "حساسیت دما به افزایش دی‌اکسید کربن" نیز شناخته می‌شود. حساسیت اقلیمی معمولاً به دو نحو اندازه‌گیری می‌شود:

الف: (TCR - Transient Climate Response): این معیار نشان‌دهنده تغییر دما در دوران کوتاه‌مدت است که این دوره معمولاً به مدت چند دهه تا یک قرن است.

ب: (ECS - Equilibrium Climate Sensitivity): این شاخص نشان‌دهنده تغییر دمای مدل‌های اقلیمی به عدم تعادل بلندمدت دما در پاسخ به افزایش دی‌اکسید کربن است. درواقع، ECS نشان‌دهنده تغییر دمای نهایی و ثابتی است که بعد از دوره بلندمدت اتفاق می‌افتد.

مقادیر TCR و ECS برای هر مدل اقلیمی میزان حساسیت آن مدل به افزایش دی‌اکسید کربن را نمایش می‌دهند. افزایش دی‌اکسید کربن از انشعاب‌های انسانی مانند سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی منشأ می‌گیرد و باعث افزایش دما و تغییرات اقلیمی جهانی می‌شود. حساسیت اقلیمی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده و ارزیابی تأثیر افزایش دی‌اکسید کربن اهمیت دارد. به‌عنوان‌مثال، اگر مدل اقلیمی نشان دهد که افزایش دی‌اکسید کربن در جو زمین تغییرات دمایی بسیار بزرگی ایجاد می‌کند، حساسیت اقلیمی این مدل به افزایش دی‌اکسید کربن بالا است؛ به‌عبارت‌دیگر، مدل اقلیمی در این حالت بسیار حساس به تغییر دی‌اکسید کربن است. حساسیت اقلیمی مدل‌ها یک مشخصه مهم در ارتباط با توانایی مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات

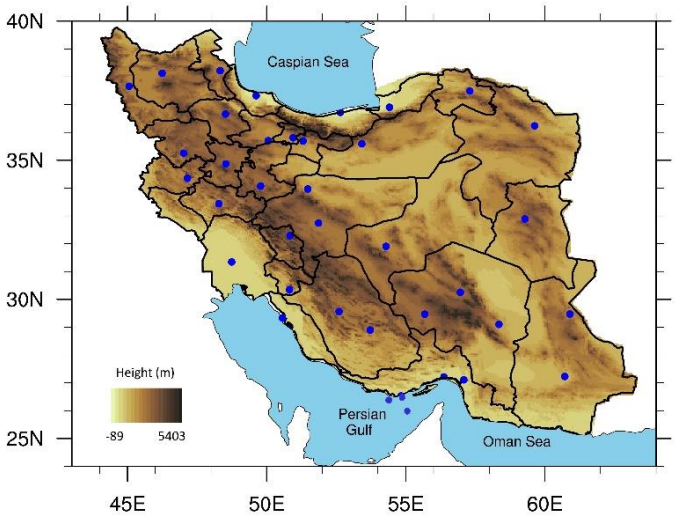
اقلیمی در آینده است. مدل‌هایی که به‌درستی حساسیت‌های اقلیمی را نمایان می‌کنند می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری ارائه دهند.

میل و همکاران (Meehl et al., 2020) به بررسی در مورد حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) و پاسخ اقلیمی گذرا (TCR) در مدل‌های سیستم زمین CMIP6 پرداخته‌اند. مدل‌های مورد ذکر در جدول ۱ در متن مقاله مورد داوری، با تفکیک افقی و حساسیت اقلیم ترازمند مختلف (ECS) انتخاب شده‌اند. بر اساس مطالعه پیشین از نظر حساسیت اقلیمی، هفت مدل MPI-ESM1-2-HR، GFDL-ESM4، MRI-ESM2-0، INM-CM5-0، MIROC6، MPI-ESM1.2-LR و NorESM2-MM با حساسیت اقلیمی کم (با حساسیت اقلیمی کمتر از میانگین ۳۹ مدل موردمطالعه) و سه مدل EC-Earth3، EC-Earth3-Veg و CanESM5 با حساسیت اقلیمی زیاد (با حساسیت اقلیمی بیشتر از میانگین ۳۹ مدل موردمطالعه) انتخاب مناسبی برای کل مجموعه CMIP6 هستند. با توجه به حجم زیاد محاسبات سعی شده است انتخاب مناسبی از مدل‌ها با تفکیک افقی و حساسیت اقلیمی مختلف انجام شود.

۳. در انتخاب مدل‌های مذکور همچنین به نتایج مطالعات اخیر (Tang et al., 2021; Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021b; Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022a; Zarrin et al., 2022c; Khansalari & Mohammadi, 2023) نیز توجه شده است.

همچنین به‌منظور ارزیابی و تعیین وزن هر یک از این مدل‌ها در این مطالعه از مجموعه داده‌های بارش دیدبانی شده و داده‌های تاریخی مدل‌های مورداستفاده CMIP6 در بازه زمانی مشترک (۱۹۹۰–۲۰۱۴) استفاده شده است. منطقه موردمطالعه (شکل ۱) کشور ایران واقع در جنوب‌غرب آسیا و تقریباً بین ۲۶ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۲ درجه طول جغرافیایی می‌باشد. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی موردمطالعه برای تعیین دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش‌های فرین تا اواسط قرن ۲۱ با ترکیب وزنی ۱۰ مدل مورداستفاده از مدل‌های CMIP6 و تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و کوهساری منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است. انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس وجود دوره آماری داده‌های دیدبانی ایستگاه‌ها در دوره

تاریخی مدل‌های CMIP6 (۲۰۱۴-۱۹۹۰) و حداکثر عدم وجود داده در ایستگاه مورد نظر برابر با ۱۰ درصد صورت گرفته است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های همدیدی موردمطالعه به همراه کوهساری منطقه

Fig.1. Location of the synoptic stations studied, along with the mountainous areas of the region

جدول ۱- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورداستفاده

Table 1 - Specifications of the CMIP6 models used

ردیف (Row)	نام مدل (Model name)	resolution (تفکیک افقی و تعداد تراز قائم) and number of vertical levels)	موسسه سازنده (Manufacturing company)
1	MPI-ESM1-2-HR	0.9375*0.9375 ۹۵ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 95 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	مرکز داده‌های اقلیمی آلمان German Climate Data Center (Deutsches Klimarechenzentrum)
2	EC-Earth3	0.7031*0.7031 ۹۱ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 91 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	اتحادیه‌ای از چندین شرکت تجاری (۱۲ کشور اروپایی) Consortium of Multiple Commercial Companies (12 European Countries)
3	EC-Earth3-Veg	0.7031*0.7031 ۹۱ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 91 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	اتحادیه‌ای از چندین شرکت تجاری (۱۲ کشور اروپایی) Consortium of Multiple Commercial Companies (12

European Countries)			
اداره ملی اقیانوسی و جوی، آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی آمریکا National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	1*1 ۴۹ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 49 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	GFDL-ESM4	4
موسسه تحقیقات هواشناسی ژاپن Japan Meteorological Research Institute (MRI)	1.125* 1.125 ۸۰ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 80 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	MRI-ESM2-0	5
مرکز کانادایی مدل‌سازی و تحلیل اقلیم، محیط‌زیست و تغییر اقلیم کانادا Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), Environment and Climate Change Canada	2.8125 *2.8125 ۴۹ تراز، بالاترین تراز: ۱ هکتوپاسکال 49 Elevation, The highest elevation: 1Hpa	CanESM5	6
موسسه ریاضیات عددی، آکادمی علوم روسیه Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences (INM RAS)	1.5 *2 ۷۳ تراز، بالاترین تراز سیگما: ۰/۰۰۰۲ 73 Elevation, The highest Sigma: 0.0002	INM-CM5-0	7
علوم و فناوری‌های دریایی-زمینی آژانس ژاپن، موسسه تحقیقات جوی و اقیانوسی دانشگاه توکیو ژاپن، موسسه ملی مطالعات زیست‌محیطی ژاپن و مرکز RIKEN برای علوم محاسباتی ژاپن Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Atmosphere and Ocean Research Institute at the University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies (NIES), and RIKEN Center for Computational Science, Japan	1.4063*1.4063 ۸۱ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۰۴ کتوپاسکال 81 Elevation, The highest elevation: 0.004 Kpa	MIROC6	8
موسسه هواشناسی ماکس پلانک آلمان Max Planck Institute for Meteorology of Germany	1.875* 1.875 ۴۷ تراز، بالاترین تراز: ۰/۰۱ هکتوپاسکال 47 Elevation, The highest elevation: 0.01Hpa	MPI-ESM1.2-LR	9
اتحادیه مدل‌سازی اقلیم نروژ Norwegian Climate Modelling Consortium	0.9375 * 1.25 ۳۲ تراز، بالاترین تراز: ۳ هکتوپاسکال 32 Elevation, The highest elevation: 3 Hpa	NorESM2-MM	10

۲-۳ روش مطالعه

الف: محاسبه شاخص‌های بارش فرین

میانگین بارش ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی بسیار کمتر از میانگین جهانی است. میزان بارش ۳۰۰ میلی متر در مناطق خشک به‌عنوان حداقل بارش برای کشت دیم عنوان شده است. بیش از دو سوم مساحت ایران دارای میانگین بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است، اما هسته‌های بارش بالای ۱۰۰۰ میلی‌متر در منطقه زاگرس و دامنه‌های شمالی البرز نیز وجود دارد (Alijani, O'Brien & Yarnal, 2008). با توجه به دامنه وسیع میانگین بارش در کشور انتخاب یک آستانه بارش فرین در کل کشور سؤال‌برانگیز است؛ بنابراین در این مطالعه، آستانه بارش فرین با استفاده از صدک‌ها، به روش (Zhai, Zhang, Wan & Pan, 2005) محاسبه می‌شود. بر اساس این آستانه بارش فرین، چهار شاخص بارش فرین (جدول ۲) که توسط کارگروه ETCCDI[1] ارائه و توسط سازمان جهانی هواشناسی، کمیسیون اقلیم‌شناسی و توصیه‌های برنامه تغییر اقلیم و پیش‌بینی توسعه یافته است، مورداستفاده قرار می‌گیرد. این چهار شاخص فرین R95p، R95d، AEPI و R95pT به ترتیب مجموع بارش فرین بر حسب واحد میلی‌متر، تعداد روزهایی که در سال موردبررسی مقدار بارش در آن‌ها از آستانه بارش فرین آن سال بیشتر باشد، شدت مطلق بارش فرین بر حسب میلی‌متر بر روز (نسبت شاخص اول به شاخص دوم) و نسبت بارش فرین به بارش سالانه در روزهای بارانی (بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر) بر حسب در صد، متغیرهای آماری اساسی هستند که بارش فرین را توصیف می‌کنند.

جدول ۲- معرفی مختصر چهار شاخص بارش فرین در این مطالعه (Tang et al., 2021)

Table 2 - Brief introduction of the four extreme precipitation indices used in this study (Tang et al., 2021**).**

شاخص (Index)	نام توصیفی شاخص (Descriptive Name of Index)	واحد (Unit)
R95p	Precipitation due to very wet days	mm
R95d	Extreme precipitation days	day

[1] Expert Team on Climate Change Detection and Indices

AEPI	Absolute intensity extreme precipitation Index	mm/d
R95pT	Extreme precipitation to total precipitation of very wet days	٪

برای ارزیابی کمّی ۱۰ مدل استفاده شده CMIP6، برای بازتولید تغییرات فضایی در شاخص‌های بارش فرین از طرح تیلور با بررسی همبستگی الگو، تفاوت ریشه میانگین مربعات (RMS) و نسبت انحراف معیار (Taylor, 2001) و برای ارزیابی کمّی مدل‌های CMIP6 برای بازتولید تغییرات زمانی تاریخی، از امتیاز مهارت تغییرپذیری بین‌سالانه توصیف‌شده توسط چن و همکاران (Chen, Jiang & Li, 2011) مطابق رابطه (۱) استفاده می‌شود.

رابطه (۱)

$$\mathrm{IVS} = \left(\frac{STD_m}{STD_o} - \frac{STD_o}{STD_m}\right)^2$$

که در این رابطه، STDm و STDo به ترتیب انحراف معیارهای بین‌سالانه شبیه‌سازی‌های مدل و مشاهدات هستند.

ب: رتبه‌بندی و وزن‌دهی هر مدل مورداستفاده از CMIP6

با توجه به قابلیت‌های شبیه‌سازی مکانی (نمودار تیلور) و زمانی (مقادیر IVS)، هر یک از شاخص‌های بارش فرین برای رتبه‌بندی مدل‌های CMIP6 استفاده می‌شوند (Tang et al., 2021; Khansalari & Mohammadi, 2023). بر این اساس، سنجه رتبه‌بندی کل MR (Jiang, Li, Xu & Li, 2015) به‌صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$MR = 1 - \frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n} rank_i \qquad (۲)$$

در این فرمول n تعداد شاخص‌های بارش فرین، m تعداد مدل‌ها و $rank_i$ رتبه مدل برای i امین شاخص بارش فرین است. هر چه عملکرد مدل بهتر باشد، رتبه مدل ($rank_i$) مقدار کمتری دارد. بنابراین؛ هر چه مقدار MR به ۱ نزدیک‌تر باشد، مهارت شبیه‌سازی بالاتر است. برای هر مدل CMIP6، دو مقدار MR (یکی با توجه به نمودار تیلور و دیگری بر اساس مقادیر IVS) به دست می‌آید. سپس برای هر مدل، S_i محاسبه می‌شود که مجموع رتبه‌های دو مقدار MR است. ازاین‌رو وزن متناظر هر مدل به روش چن و همکاران (Chen همکاران2011) در رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$R_i = \frac{\sum_{i=1}^{M} S_i}{S_i} \quad (۳)$$

$$W_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{M} R_i} \quad (۴)$$

که در آن M تعداد کل مدل‌ها است. مدل‌هایی که مهارت‌های شبیه‌سازی بهتری دارند، مقادیر R_i بزرگ‌تری را دارا هستند. با استفاده از R_i، می‌توان وزن هر مدل (W_i) را با استفاده از معادله ۴ به دست آورد که درواقع W_i نرمال شده R_i است.

ریشه میانگین مربعات اختلاف (RMSD[1]) تغییرات پیش‌بینی شده، برای اندازه‌گیری عدم قطعیت پیش‌نگری استفاده می‌شود (Chen et al., 2011) اگر P مقدار پیش‌بینی مدل iام و W وزن متناظر با آن (محاسبه شده با استفاده از فرمول ۴) باشد، عدم قطعیت پیش‌نگری از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شود:

$$WMME = \frac{\sum_i W_i P_i}{\sum_i W_i} \quad (۵)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_i W_i (P_i - WMME)^2}{\sum_i W_i}} \quad (۶)$$

[1] Root-Mean-Square Difference

ج: دوره بازگشت

حداکثر بارش ۲۴ ساعته یکی از عناصر اساسی در مطالعات سیلاب‌ها و همچنین طراحی تأسیسات آبی می‌باشد. بر این اساس، برای محاسبه آن در دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب توزیع آماری مناسب ضروری است. در بررسی‌های اقلیمی سعی می‌شود داده‌های اندازه‌گیری و ثبت شده با توابع توزیع تئوری برازش داده شود تا بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت دارد به‌عنوان تابع توزیع احتمال برگزیده شود (Alizadeh, 2015). در این پژوهش برای دوره آماری ۲۵ ساله (دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ و دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۶) در ایستگاه‌های دیدبانی کشور ایران، مجموعه آمار به‌دست‌آمده از ترکیب وزنی مبتنی بر رتبه ۱۰ مدل از CMIP6، به کمک نرم‌افزار تحلیل فراوانی آب‌شناسیِ Easy Fit با چندین نوع توزیع آماری شامل توزیع‌های Exponential، Weibull، Normal، Lognormal(3p)، Lognormal، Gamma و Log-Pearson type3 به‌منظور برآورد بهترین توزیع، برازش داده شد. همچنین ارزیابی معنی‌داری توزیع‌های به دست آمده با استفاده از آزمون کای اسکوئر (Chi-Squared) انجام شد (Alijani & Afshar Manesh, 2015; Asadi & Akbari Azirani, 2021). در مطالعات مختلف با استفاده از آزمون‌های نکویی، میزان انطباق تابع توزیع با داده‌های مشاهداتی تعیین می‌گردد. اگر میزان تطابق در حد قابل قبولی بود، آن توزیع به‌عنوان توزیع برگزیده پذیرفته می‌شود .لازم به ذکر است که هیچ توزیع آماری نمی‌تواند دقیقاً بر داده‌های مشاهده‌ای برازش خوبی داشته باشد و انتخاب یکی به‌عنوان بهترین توزیع با توجه به مقایسه نسبت به سایر توزیع‌ها است (Shahabfar & Qiyami, 2001).

رابطه آزمون کای اسکوئر به‌صورت رابطه (۷) می‌باشد:

$$k^2 = \sum \frac{(p_{ei} - p_{oi})^2}{p_{ei}} \quad (۷)$$

که k^2 تابعی از درجه آزادی و درصد اطمینان و p_{ei} و p_{oi} به ترتیب مقدار بارش تخمین زده شده و مشاهداتی می‌باشند. لازم به ذکر است در این پژوهش درصد اطمینان ۹۵ ٪ در نظر گرفته شد. برای محاسبه

دوره بازگشت بارش‌ها، از نرم‌افزار Hyfran-plus استفاده شد. دوره بازگشت به برآورد احتمال روی‌دادن یک پدیده مانند سیل یا تغییرات دبی رودخانه گفته می‌شود. معمولاً برآورد دوره بازگشت بر پایه اندازه‌گیری آماری داده‌های تاریخی به‌منظور دست‌یابی به میانگین زمان تکرار پدیده در یک دوره زمانی است. دوره بازگشت تعداد سال‌هایی است که به‌طور متوسط بین وقوع دو حادثه مشابه وجود دارد. اگر دوره بازگشت T (سال) و احتمال وقوع P باشد، رابطه (۸) است (Alizadeh, 2015).

(۸)

$$T = \frac{1}{P}$$

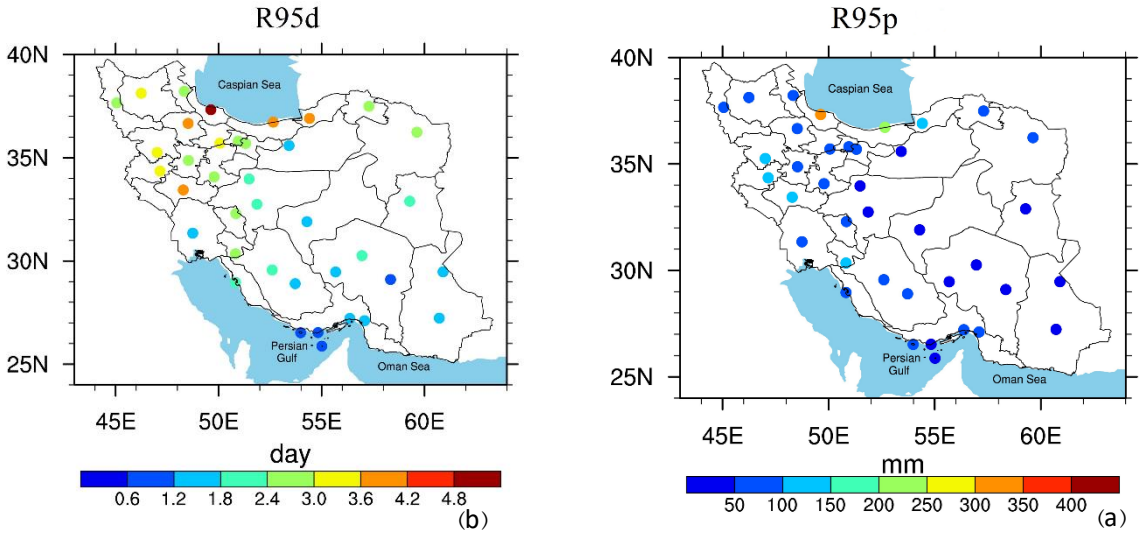
بنابراین احتمال ۱۰ درصد یعنی دوره بازگشت ۱۰ سال (هر ۱۰ سال یکبار) و یا احتمال ۹۸ درصد یعنی دوره بازگشت ۱/۰۲ سال (در هر ۱۰۲ سال ۱۰۰ بار).

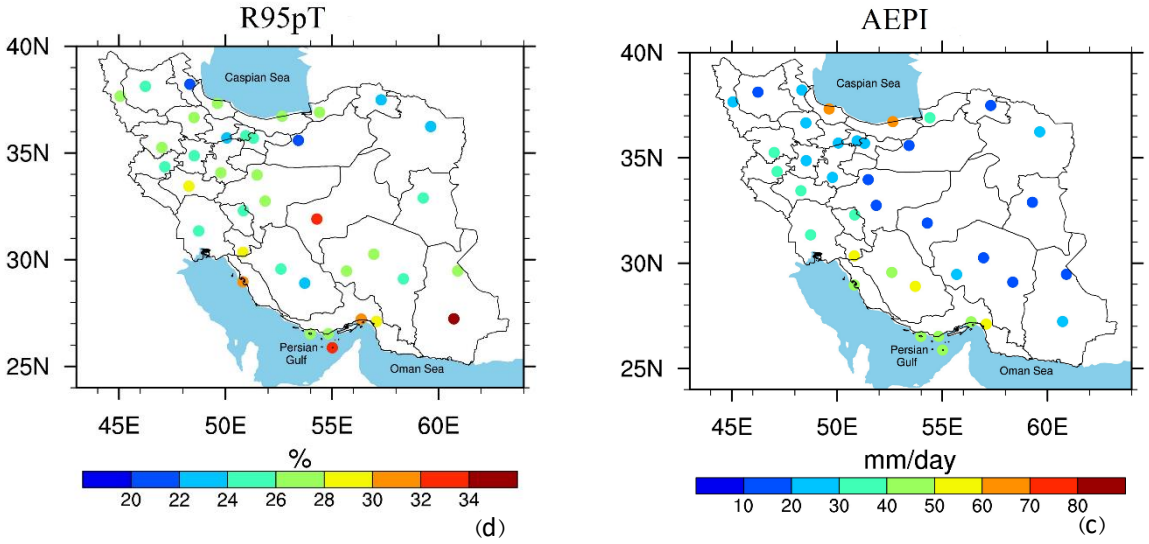
۳- نتایج و بحث

۳-۱- توزیع مکانی میانگین چهار شاخص بارش فرین در دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۹۰

شکل ۲ توزیع مکانی میانگین سالانه چهار شاخص بارش فرین در ایران را که در بخش روش کار به آن‌ها اشاره شد، طی دوره تاریخی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۲(a)، شاخص R95p همراه با کوهساری ایران تغییر می‌کند. بیشترین مقادیر شاخص R95p در سواحل دریای خزر به‌ویژه نواحی غربی و جنوبی مشاهده می‌شود که بارش فرین بیش از ۴۰۰ میلی‌متر است. همچنین میزان بارش فرین در دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس و سواحل شرقی دریای خزر بیش از ۱۰۰ میلی‌متر است. در حقیقت بیشترین رخداد بارش فرین در بادسوی دو رشته‌کوه مهم ایران (البرز و زاگرس) رخ می‌دهد. در بادسوی این رشته‌کوه‌های مهم در ایران که محل ورود سامانه‌های جوّی به کشور است با صعود بسته هوا در شیب این رشته‌کوه‌ها فرآیند سرد شدن و اشباع بهتر رخ می‌دهد و منجر به تشکیل ابرهای همرفتی و رخداد بارش بیشتر می‌گردد. همچنین طبق نتایج زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022b) با کاهش عرض

جغرافیایی از شمال به جنوب و کاهش ارتفاعات از غرب به شرق رخداد بارش کاهش می‌یابد. در شکل (b) ۲ ، مقادیر شاخص R95d نشان داده شده است. بر این اساس میانگین سالانه تعداد روزهای همراه با بارش فرین، در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز و شمال غرب و مناطقی از غرب ایران بیشتر از ۳ روز است. بیشترین بزرگی این شاخص (بیش از ۵ روز) در امتداد سواحل غربی و جنوبی دریای خزر در دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ مشاهده شده است. بیشترین مقدار شدت بارش فرین نیز در این دوره آماری در سواحل جنوبی و غربی دریای خزر و پس از آن در منطقی از جنوب و جنوب غرب کشور (بیش از ۵۰ میلی‌متر بر روز) حاصل شده است (شکل ۲c). همچنین نسبت بارش فرین به بارش سالانه در روزهای بارانی (بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر) بر حسب در صد (شکل ۲d)، در بیشتر مناطق کشور بیش از ۲۰ درصد است.





شکل ۲- توزیع فضایی میانگین سالانه شاخص‌های بارش فرین برای دوره تاریخی: ۲۰۱۴-۱۹۹۰، a) R95p، b) R95d، c) AEPI، d) R95pT

Fig. 2. Spatial distribution of the annual average of the extreme precipitation indices for the historical period: 1990-2014. a) R95p, b) R95d, c) AEPI, d) R95pT

۳-۲- وزن‌دهی مدل‌های مورداستفاده CMIP6 بر اساس رتبه‌بندی مکانی و زمانی

در جدول ۳ رتبه‌بندی مکانی ۱۰ مدل مورداستفاده CMIP6 برای هر یک از چهار شاخص بارش فرین با توجه به سه جنبه نمودار تیلور، شامل همبستگی الگو، نسبت انحراف استاندارد فضایی و ریشه میانگین مربعات اختلاف نرمال شده متمرکز و همچنین رتبه‌بندی زمانی بر اساس امتیاز IVS برای اندازه‌گیری مقدار شباهت تغییرپذیری بین‌سالانه ارائه شده است.

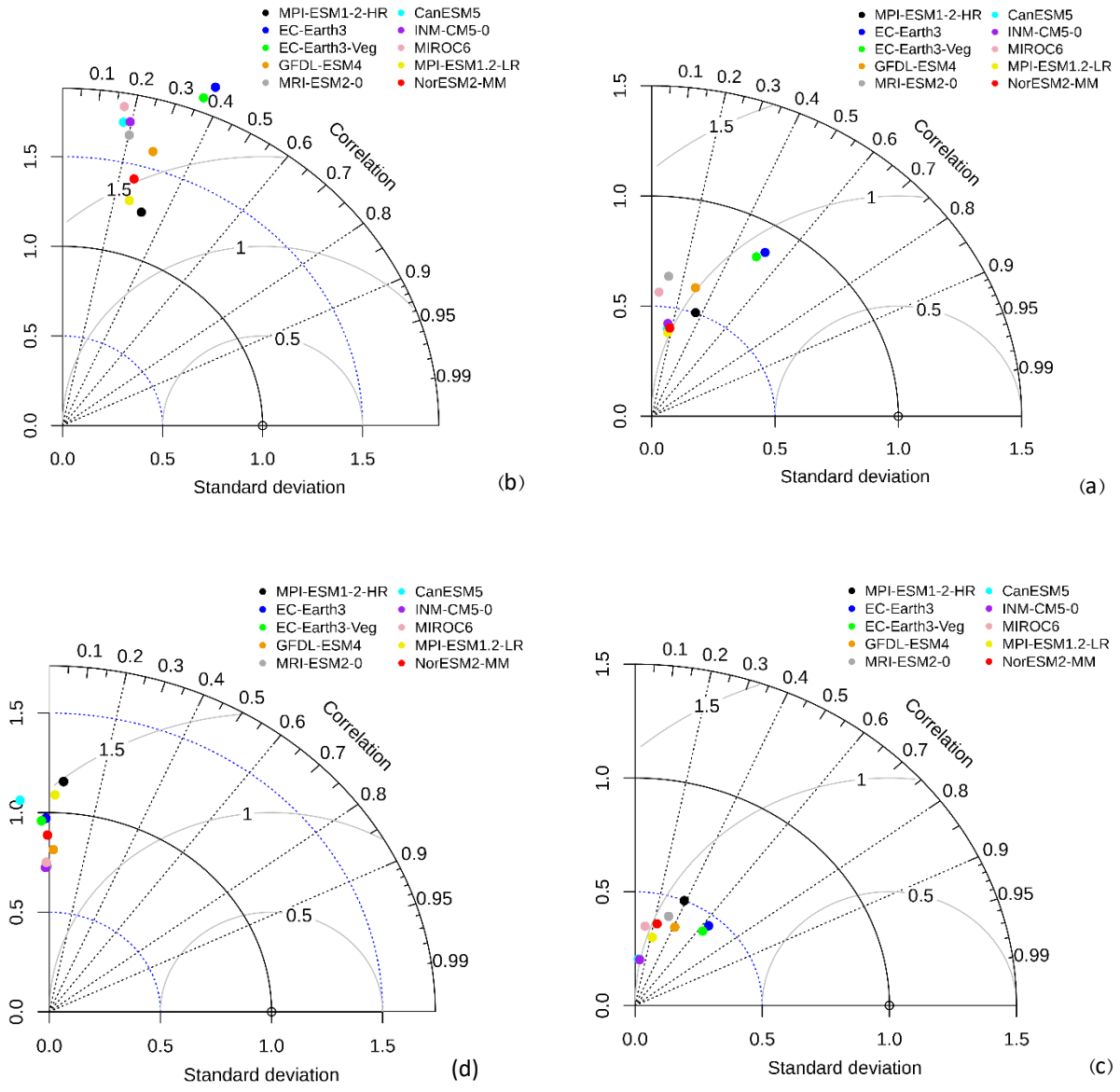
جدول ۳- مقادیر آماره‌های تیلور و امتیاز IVS، برای هر شاخص بارش فرین، رتبه‌ها و وزن‌های مربوط به ۱۰ مدل مورداستفاده CMIP6 (جدول ۱) با توجه به عملکرد جامع آن‌ها با در نظر گرفتن نمودار تیلور و تغییرپذیری بین‌سالانه در کشور ایران برای دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۹۰. خانه‌های قرمزرنگ نشان‌دهنده مدل با وزن بزرگ‌تر از ارزش مدل‌های هم‌وزن (۰/۱) است.

Table 3 - Values of the Taylor statistics and IVS scores for each extreme precipitation index, along with the rankings and weights corresponding to the 10 CMIP6 models used (Table 1), based on their overall performance considering the Taylor diagram and interannual variability in Iran for the historical period 1990-2014. Red cells indicate models with weights greater than the value of equally weighted models (0.1).

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Model number
0.4069	0.3848	0.5644	0.4261	0.4010	0.6390	0.6097	0.8388	0.8742	0.5026	**R95p_STD_ratio**
1.4213	1.2986	1.8063	1.7281	1.7199	1.6546	1.5942	1.9598	2.0365	1.2541	**R95d_STD_ratio**
0.3693	0.3075	0.3508	0.2025	0.2044	0.4134	0.3741	0.4218	0.4543	0.4999	**AEPI_STD_ratio**
0.8873	1.0892	0.7506	0.7247	1.0701	0.7304	0.8144	0.9596	0.9721	1.1578	**R95pT_STD_ratio**
1.0092	1.0091	1.1220	1.0247	1.0166	1.1270	1.0079	0.9246	0.9188	0.9468	**R95p_CNRMSE**
1.5181	1.4202	1.9085	1.8187	1.8296	1.7516	1.6234	1.8516	1.9017	1.3355	**R95d_CNRMSE**
0.9891	1.0039	1.0200	1.0065	1.0366	0.9584	0.9168	0.8128	0.8082	0.9493	**AEPI_CNRMSE**
1.3425	1.4598	1.2608	1.2484	1.5474	1.2457	1.2752	1.4107	1.4038	1.4868	**R95pT_CNRMSE**
0.1799	0.1679	0.0522	0.1535	0.1578	0.1075	0.2913	0.5056	0.5259	0.3538	**R95p_R**
0.2511	0.2573	0.1711	0.1957	0.1768	0.2017	0.2836	0.3597	0.3753	0.3141	**R95d_R**
0.2343	0.2189	0.1113	0.0863	0.0616	0.3190	0.4128	0.6299	0.6361	0.3872	**AEPI_R**
-0.0091	0.0235	0.0182	0.0238	0.1232	0.0132	0.0221	0.0368	0.0158	0.0554	**R95pT_R**
2.85	3.09	1.76	4.19	2.95	1.32	1.19	0.71	0.87	1.37	**R95p_IVS**
1.09	0.57	1.86	2.04	1.29	1.42	0.90	1.16	1.30	0.53	**R95d_IVS**
11.84	6.35	5.10	10.67	13.58	4.11	4.27	7.52	6.48	2.44	**AEPI_IVS**
0.27	0.35	0.57	0.90	0.36	0.82	0.39	0.39	0.46	0.30	**R95pT_IVS**
0.6000	0.5750	0.1250	0.1500	0.0750	0.4500	0.7000	0.5770	0.7500	0.6750	**MR_Taylor**
0.4750	0.5250	0.3250	0.0500	0.3000	0.4250	0.6500	0.5500	0.4500	0.7750	**MR_IVS**
4	5	9	8	10	7	2	5	1	3	**Rank of Taylor**
5	4	8	10	9	7	2	3	6	1	**Rank of IVS**
9	9	17	18	19	14	4	8	7	4	**S**
12.1111	12.1111	6.4118	6.0556	5.7368	7.7857	27.2500	13.6250	15.5714	27.2500	**R**
0.0904	0.0904	0.0479	0.0452	0.0428	0.0581	0.2035	0.1017	0.1163	0.2035	**W**

در شکل ۳ نمودار تیلور چهار شاخص فرین برای ۱۰ مدل مورداستفاده نشان داده شده است. در این نمودار مقادیر ضریب همبستگی با امتداد شعاع دایره روی قوس ربع دایره، مقادیر انحراف معیار بر روی شعاع ربع دایره و مقادیر RMSD بر روی شعاع دوایر متحدالمرکز با مرکز دایره توخالی مشخص می‌شوند. همچنین مقادیر دقیق هر آماره در این جدول نشان داده شده است. با توجه به مقادیر MR فضایی و زمانی هرچه مقدار MR به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده مهارت بیشتر شبیه‌سازی مدل برای شاخص‌های بارش فرین است. بر این اساس مدل EC-Earth3 با MR_taylor برابر با ۰/۷۵ (جدول ۳) و با تفکیک افقی ۰/۷۰۳۱۰×۰/۷۰۳۱۰ و ۹۱ تراز (جدول ۱) بهترین مهارت در شبیه سازی الگوی فضایی شاخص‌های بارش فرین را دارد که مدل مذکور، بیشترین تفکیک افقی شبیه‌سازی را در بین ۱۰ مدل مورداستفاده داراست. از دیدگاه شبیه‌سازی زمانی مدل MPI-ESM1-2-HR و GFDL-ESM4 به ترتیب با MR_IVS برابر با ۰/۷۷۵۰ و ۰/۶۵ (جدول ۳)

مناسب‌تر از سایر مدل‌های موردمطالعه هستند. زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021b) نیز در پیش‌نگری بارش فرین با پنج مدل CMIP6 که سه مدل آن مشترک با پژوهش حاضر است مدل MPI-ESM1-2-HR را بهترین مدل معرفی نموده‌اند که در تطابق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تیلور چهار شاخص بارش فرین برای ۱۰ مدل مورداستفاده CMIP6 برای دوره تاریخی ۱۹۹۰-۲۰۱۴، (a) R95p، (b) R95d، (c) AEPI، (d) R95pT

Fig. 3. Taylor diagram of the four extreme precipitation indices for the 10 CMIP6 models used for the historical period 1990-2014. a) R95p, b) R95d, c) AEPI, d) R95pT

پس از محاسبه رتبه ۱۰ مدلِ CMIP6 توسط MR ها بر اساس نمودار تیلور و IVS، سپس وزن متناظر آن‌ها با استفاده از رابطه ۴، محاسبه شد. بر این اساس وزن مربوط به هر مدل در جدول ۳ ارائه شده است که در آن خانه‌های قرمزرنگ نشان می‌دهد که وزن مدل‌های مشخص شده، بزرگ‌تر از مقدار وزن مدل‌ها در حالتی است که وزن هر یک از ۱۰ مدل برابر در نظر گرفته می‌شود (۰/۱). به بیان دیگر مدل‌های مشخص شده تأثیر بیشتری در پیش‌نگری احتمالی آینده خواهند داشت.

۳-۳- نتایج محاسبه دوره بازگشت بارش‌های فرین

با استفاده از آزمون نکویی برازش کای اسکوئر تابع توزیع احتمالاتی بیشینه بارش ۲۴ ساعته در دوره‌ی تاریخی و دوره آتی با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم (بر اساس کمترین خطای آزمون)، توزیع‌های ارائه شده در جدول ۴ برازش بهتری در مقایسه با سایر توزیع‌های مورد آزمون در ایستگاه‌های موردمطالعه را نشان داد و به‌عنوان بهترین توزیع آماری منطبق بر داده‌ها در ایستگاه‌های مورد نظر برای ادامه کار انتخاب شد.

جدول ۴- توزیع‌های منتخب در ایستگاه‌های موردمطالعه

Table 4 - Selected distributions at the studied stations

تابع توزیع **Distribution Function**	ایستگاه **Station**
Log-Pearson type 3	اردبیل، تبریز، ارومیه، رشت، زنجان، سنندج، قزوین، همدان، کرمانشاه، بابلسر، کرج، تهران، اراک، خرم‌آباد، گرگان، سمنان، اصفهان، کاشان، شهرکرد، دوگنبدان، اهواز، مشهد، یزد، کرمان، سیرجان، بم، شیراز، بوشهر، بندرعباس، میناب، زاهدان، ایرانشهر
gamma	بجنورد، بیرجند، فسا
Exponential	بندرلنگه، کیش
Weibull	ابوموسی

با توجه به تعداد زیاد نمودارها و جداول، درجه مناسب بودن و شاخص آماری آزمون کای اسکوئر در ایستگاه اردبیل به‌عنوان نمونه از تابع توزیع با بیشترین عضو (Log-Pearson type 3)، در دوره تاریخی و آینده

(سه سناریو) در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج مندرج در این جدول، توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ برای ایستگاه اردبیل در دوره تاریخی (۱۹۹۰–۲۰۱۴) و آینده (۲۰۲۶–۲۰۵۰) برای هر سه سناریو به دلیل کمترین مقدار خطا و مجموع کمترین رتبه انتخاب شد. در جدول ۵ ستون اول انواع توابع توزیع را نشان می‌دهد که در مطالعات آب‌شناسی به‌صورت‌های گوناگون با برازش داده‌ها بر آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند (Alizadeh, 2015). درجه مناسب بودن، رتبه هر توزیع را پس از برازش بر روی داده‌ها نشان می‌دهد و شاخص آماری، میزان خطا در برآورد توزیع را نشان می‌دهد که هرچه کوچک‌تر باشد مقدار خطا کمتر خواهد بود. بر این اساس با توجه به جدول ۱، طبق مقادیر شاخص آماری، کمترین خطا در دوره تاریخی و در دوره آینده و در هر سه سناریو مربوط به تابع توزیع Log-Pearson 3 است.

جدول ۵- درجه مناسب بودن و شاخص آماری آزمون کای اسکوئر در ایستگاه اردبیل در دوره تاریخی و آینده (سه سناریو)

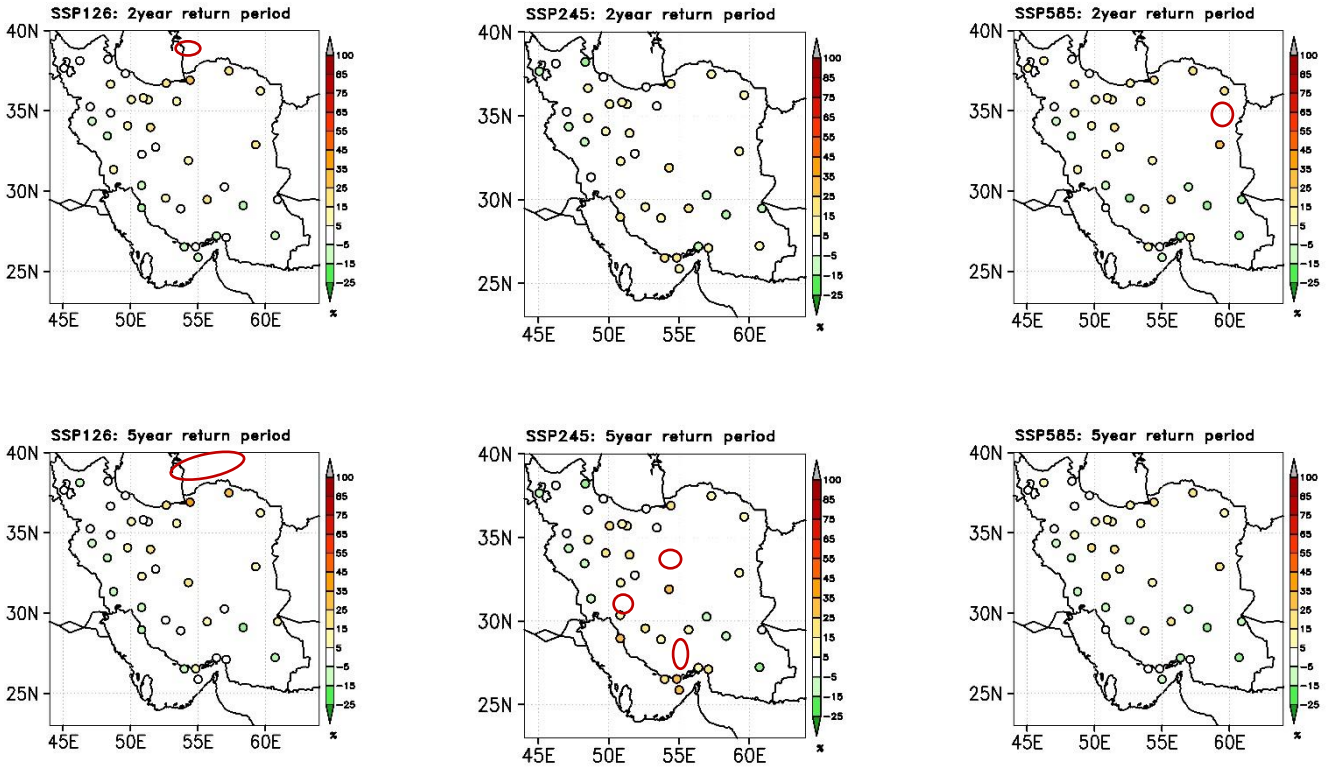
Table 5 - Goodness of fit and Chi-square statistical index for the Ardabil station during the historical and future periods (three scenarios).

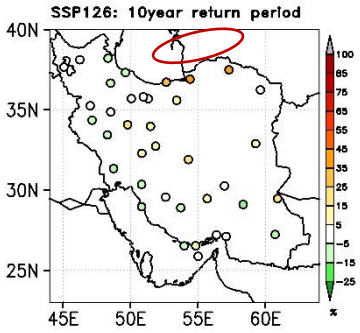
دوره آینده 2026–2050 **Future period**						دوره تاریخی *1990*–2014 **Historical period**		تابع توزیع **Distribution Function**
SSP5-8.5		**SSP2-4.5**		**SSP1-2.6**				
شاخص آماری Statistical Index	**درجه مناسب بودن** Goodness of Fit	**شاخص آماری** Statistical Index	**درجه مناسب بودن** Goodness of Fit	**شاخص آماری** Statistical Index	**درجه مناسب بودن** Goodness of Fit	**شاخص آماری** Statistical Index	**درجه مناسب بودن** Goodness of Fit	
3.67	1	2.52	1	1.71	1	5.03	1	Log-Pearson 3
4.13	2	3.12	2	2.36	2	7.51	2	Lognormal (3P)
8.13	4	10.81	4	6.02	4	7.97	3	Lognormal
7.55	3	8.98	3	3.34	3	11.09	4	Gamma (3P)
22.55	7	27.1	7	17.23	7	12.03	5	Weibull
18.60	5	25.48	6	6.92	5	17.11	6	Weibull (3P)
21.26	6	20.87	5	13.92	6	28.20	7	Gamma
23.61	8	31.32	8	24.29	8	41.03	8	Normal
29.72	9	54.83	9	26.17	9	59.03	9	Exponential (2P)
185.72	10	299.94	10	221.43	10	232.78	10	Exponential

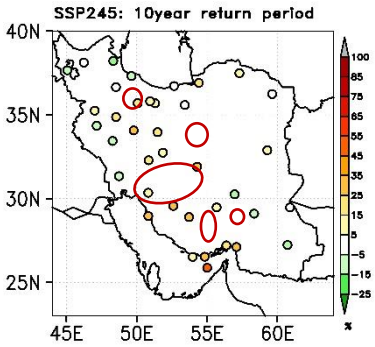
در این مرحله از مطالعه با توجه به تعریف دوره بازگشت که فاصله زمانی بین رویدادهای با بزرگی یکسان است، بارش‌های فرین در توزیع‌های منتخب با استفاده از نرم‌افزار Hyfran-plus در هر ایستگاه و در دوره‌ی

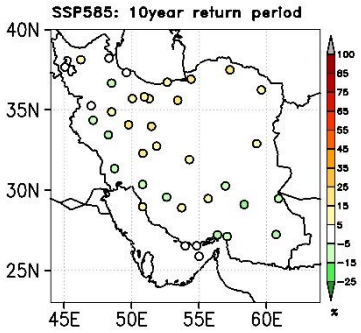
تاریخی و دوره آینده در هر سه سناریو SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 با دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله) محاسبه شد. با توجه به هدف اصلی این پژوهش و همچنین انبوه اطلاعات و توزیع‌های مختلف مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به دوره تاریخی در شکل ۴، درصد تغییرات مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی در هر یک از ایستگاه‌های موردمطالعه در هر سه سناریو و همه دوره بازگشت‌ها ترسیم شده است. همچنین در این شکل، در هر دوره و سناریو که مقدار این کمیت بیشتر از ۲۵ درصد باشد، ایستگاه مورد نظر با خط قرمزرنگ مشخص شده است و در شکل ۵ نمودار تغییرات این کمیت در دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه مشخص شده ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ در سناریو خوش‌بینانه در سواحل شرقی دریای خزر و ایستگاه بجنورد در شمال‌شرق کشور، ایستگاه‌های اراک و اصفهان از مرکز کشور و همچنین ایستگاه زاهدان در جنوب‌شرق کشور بیشترین درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به دوره تاریخی مشاهده می‌شود. در مطالعه زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022a) بیشینه افزایش روزهای همراه با بارش سنگین در سواحل دریای خزر عنوان شده است و همچنین زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022b) نشان دادند که بیشینه بارش محتمل در دوره‌های بازگشت ۱ تا ۱۵ ساله در سواحل شمالی کشور اتفاق می‌افتد. بررسی دقیق‌تر ۶ ایستگاه ذکر شده (شکل ۵a) نشان می‌دهد که بیشترین شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی مربوط به ایستگاه‌های زاهدان و اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله این درصد افزایش به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد. در سناریو میانه (شکل ۴)، نسبت به دو سناریو دیگر در حالت کلی درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی بیشتر است. بیشترین مقادیر افزایش در رشته‌کوه زاگرس و سواحل جنوبی کشور (سنندج، همدان، اراک، کاشان، اصفهان، شیراز، فسا، میناب، بوشهر، بندرعباس، بندرلنگه، ابوموسی) و گرگان (شمال‌شرق کشور) واقع هستند. بر اساس شکل ۵(b) ، بیشترین شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی مربوط به ایستگاه‌های ابوموسی و اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله این درصد افزایش به‌ترتیب به حدود ۸۰ و ۶۸ درصد می‌رسد. در ایستگاه‌های جنوبی کشور (بندرعباس، بندرلنگه، بوشهر و میناب) از دوره

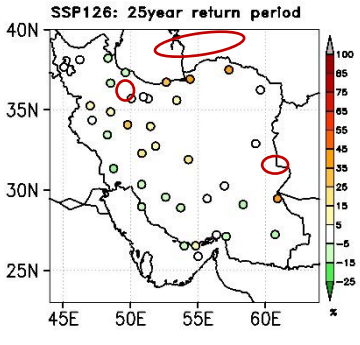
بازگشت ۱۰ سال به بعد شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده در دوره بازگشت‌های طولانی‌تر کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است کمترین در صد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی، در سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) حاصل شده است. بیشینه این افزایش مقدار بارش فرین در دوره آینده (۲۰۲۶–۲۰۵۰) مربوط به ایستگاه‌های بجنورد، بیرجند و ایستگاه‌های اراک، کاشان و سمنان واقع در مناطق مرکزی کشور است. در این سناریو شیب تغییرات (شکل ۵c) نسبت به سایر سناریوها نیز کمتر است و بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله درصد افزایش مقدار بارش فرین نسبت به دوره تاریخی به حدود ۵۰ درصد می‌رسد.

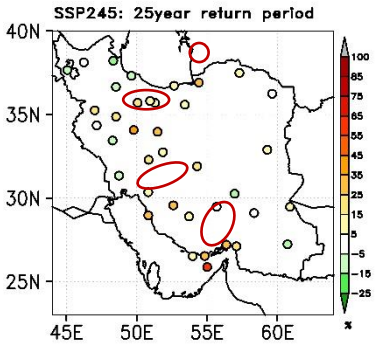


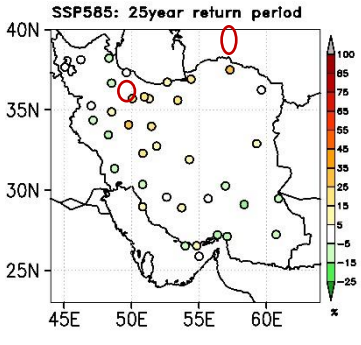

SSP126: 10year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

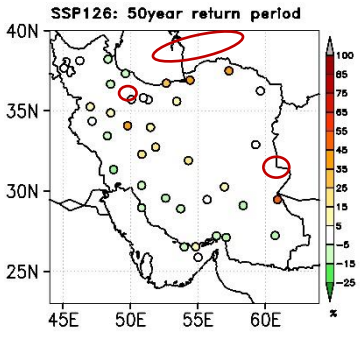

SSP245: 10year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

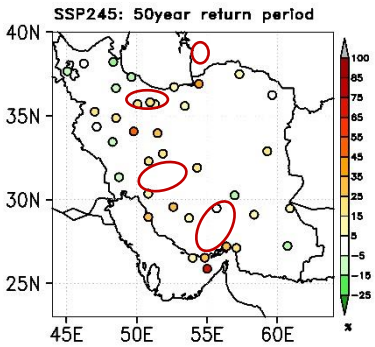

SSP585: 10year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

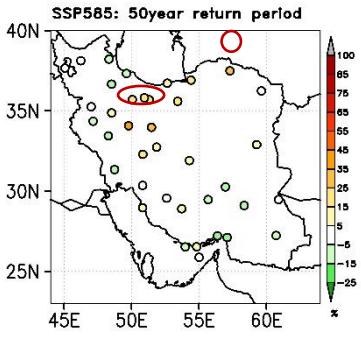

SSP126: 25year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

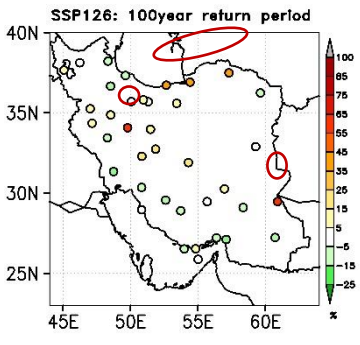

SSP245: 25year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

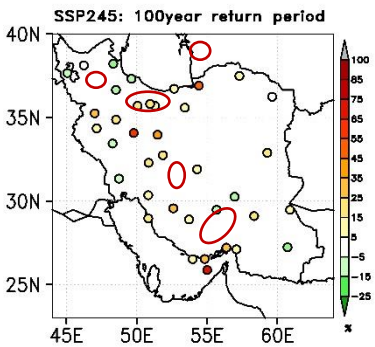

SSP585: 25year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

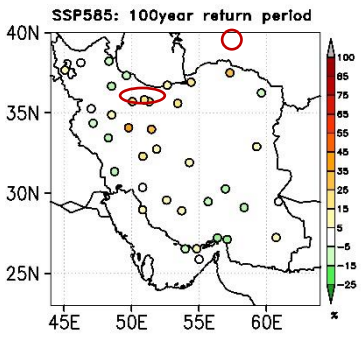

SSP126: 50year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

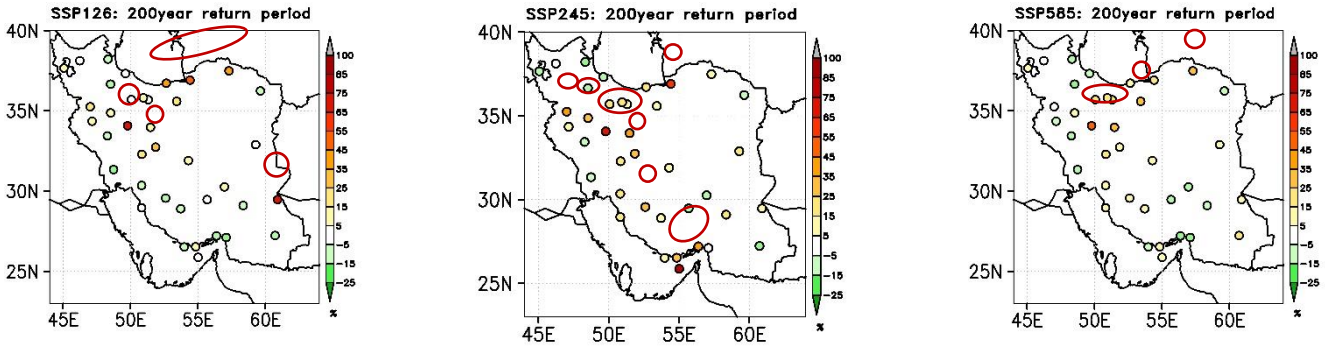

SSP245: 50year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%


SSP585: 50year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%


SSP126: 100year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

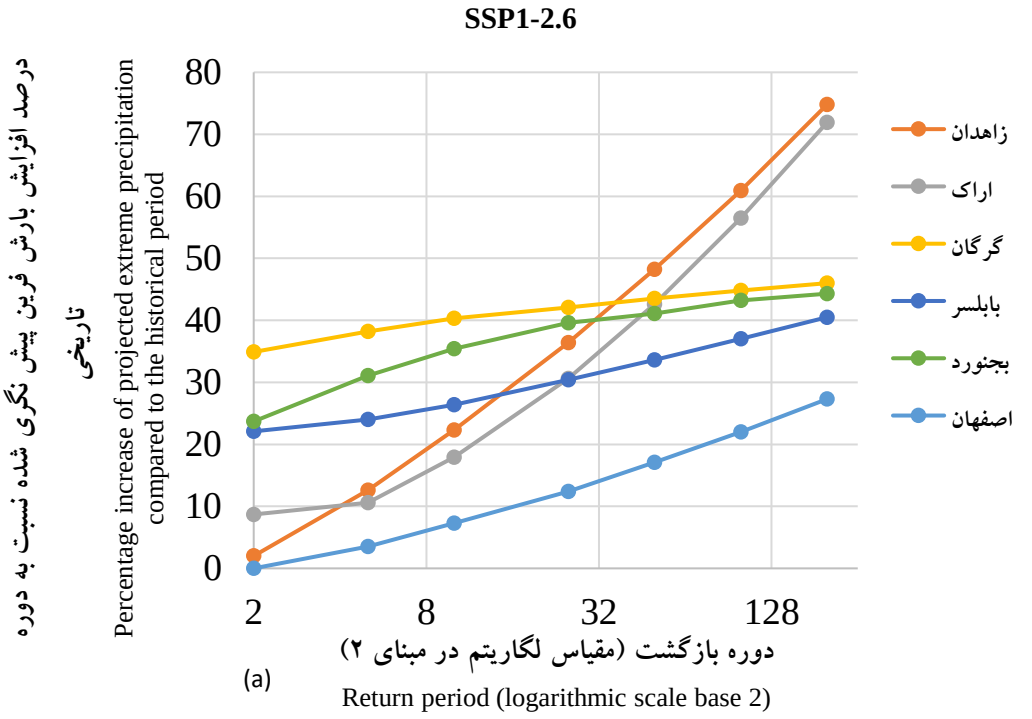

SSP245: 100year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%


SSP585: 100year return period
40N
35N
30N
25N
45E
50E
55E
60E
100
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
%

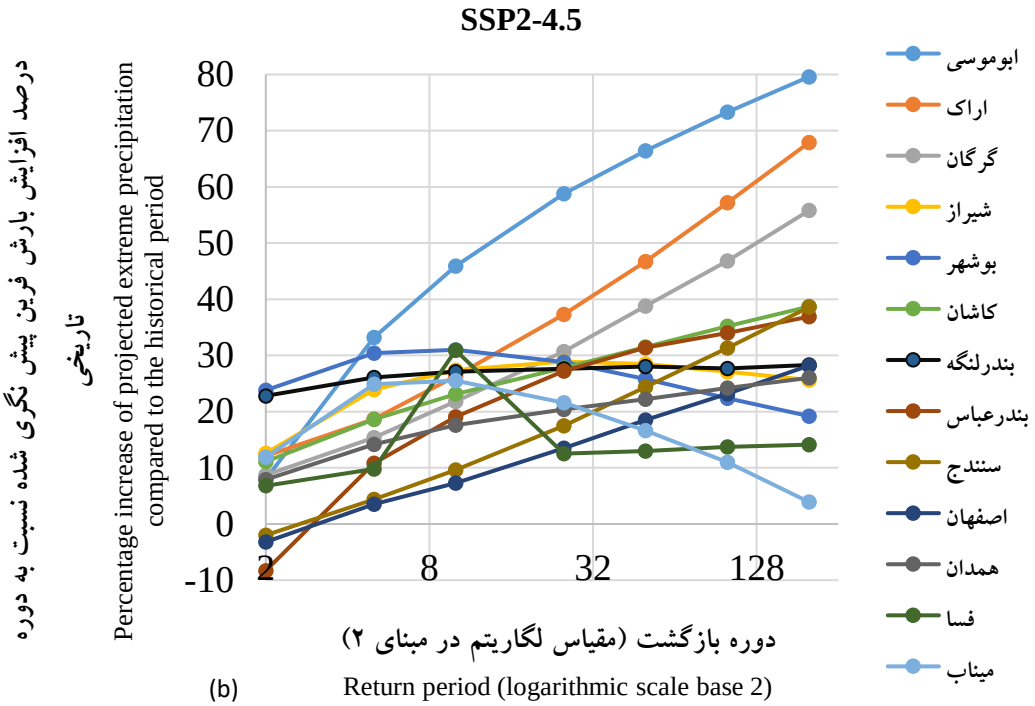


شکل ۴- درصد تغییرات مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی در هر یک از ایستگاه‌های موردمطالعه در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال، ایستگاه‌های مشخص شده با خط بسته قرمزرنگ دارای درصد افزایش بیش از ۲۵ درصد هستند.

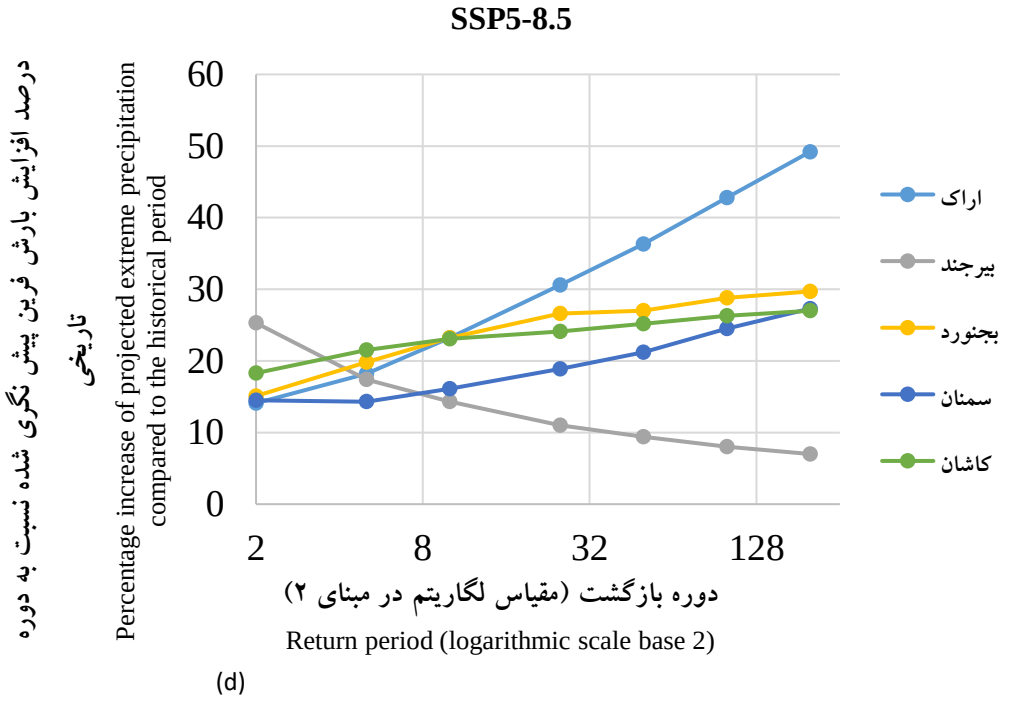
Fig. 4. Percentage changes in the projected extreme precipitation amounts compared to historical extreme precipitation at each of the studied stations under the SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years. Stations marked with a solid red line indicate a percentage increase of more than 25%.


SSP1-2.6
درصد افزایش بارش فرین پیش نگری شده نسبت به دوره تاریخی
Percentage increase of projected extreme precipitation compared to the historical period
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
8
32
128
دوره بازگشت (مقیاس لگاریتم در مبنای ۲)
Return period (logarithmic scale base 2)
زاهدان
اراک
گرگان
بابلسر
بجنورد
اصفهان

(a)


SSP2-4.5
درصد افزایش بارش فرین پیش نگری شده نسبت به دوره تاریخی
Percentage increase of projected extreme precipitation compared to the historical period
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
2
8
32
128
دوره بازگشت (مقیاس لگاریتم در مبنای ۲)
Return period (logarithmic scale base 2)
ابوموسی
اراک
گرگان
شیراز
بوشهر
کاشان
بندرلنگه
بندرعباس
سنندج
اصفهان
همدان
فسا
میناب

(b)



شکل ۵- نمودار تغییرات کمیت ترسیم شده در شکل ۴ در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال و در سناریو a) SSP1-2.6، b) SSP2-4.5، c) SSP5-8.5 برای ایستگاه‌های مشخص شده در شکل ۴.

Fig. 5. Chart of changes in the quantity plotted in Figure 4 for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years under scenarios a) SSP1-2.6, b) SSP2-4.5, and c) SSP5-8.5 for the stations indicated in Figure 4.

۴-نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش‌های فرین تا اواسط قرن ۲۱ با ترکیب وزنی ۱۰ مدل مورداستفاده از مدل‌های CMIP6 و تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آزمون نکویی برازش کای اسکوئر تابع توزیع احتمالاتی بیشینه بارش ۲۴ ساعته در دوره‌ی تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۵۰) تحت سناریوهای تغییر اقلیم خوش-بینانه، میانه و بدبینانه (بر اساس کمترین خطای آزمون)، بهترین توزیع آماری منطبق بر داده‌ها برای هر یک از

ایستگاه‌های موردمطالعه انتخاب شد که در ۸۴ درصد ایستگاه‌ها توزیع log-Pearson type3 به‌عنوان بهترین تابع توزیع انتخاب گردید. نتایج بررسی بارش‌های فرین حاصل در هر ایستگاه و مقایسه آن‌ها در دوره آینده و تاریخی نشان می‌دهد درصد تغییرات مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی، در سناریو SSP2-4.5، نسبت به دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه بیشتر است و در سناریو بدبینانه نسبت به سایر سناریوها کمترین درصد تغییرات مشاهده می‌شود. همچنین در سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، بیشترین درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به دوره تاریخی در ایستگاه گرگان و بابلسر واقع در سواحل شرقی دریای خزر و ایستگاه بجنورد در شمال‌شرق کشور و ایستگاه‌های اراک و اصفهان واقع در مرکز کشور و همچنین ایستگاه زاهدان در جنوب‌شرق کشور مشاهده می‌شود که نتایج بیشینه مقدار بارش فرین در سواحل دریای خزر در تطابق با مطالعات زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022a; 2022b) است. در مطالعه زرین و داداشی رودباری (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2022b) بیشینه شدت بارش در دوره‌های بازگشت ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ ساله در سواحل جنوبی کشور، زاگرس مرتفع و سواحل دریای خزر عنوان شده است؛ که در مقایسه با مطالعه حاضر بیشینه افزایش بارش فرین در سواحل جنوبی کشور در دوره بازگشت‌های طولانی‌تر مشاهده می‌شود. در سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، بیشترین شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی مربوط به ایستگاه‌های زاهدان و اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله این درصد افزایش به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد. در سناریو میانه (SSP2-4.5)، بیشترین مقادیر افزایش در ایستگاه‌های سنندج، همدان، اراک، کاشان، اصفهان، شیراز، فسا و برخی مناطق سواحل جنوبی کشور شامل ایستگاه‌های میناب، بوشهر، بندرعباس، بندرلنگه، ابوموسی و نیز در گرگان واقع در شمال‌شرق کشور مشاهده می‌شود. همچنین در این در سناریو، بیشترین شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده نسبت به مقدار بارش فرین در دوره تاریخی مربوط به ایستگاه‌های ابوموسی و اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله این درصد افزایش به ترتیب به حدود ۸۰ و ۶۸ درصد می‌رسد. در سناریو میانه (SSP2-4.5)، در ایستگاه‌های سواحل جنوبی کشور شامل بندرعباس، بندرلنگه، بوشهر و میناب از دوره بازگشت ۱۰ سال به بعد شیب درصد افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده در دوره بازگشت‌های طولانی‌تر کاهش می‌یابد. در سناریو

بدبینانه (SSP5-8.5)، بیشینه افزایش مقدار بارش فرین مربوط به ایستگاه‌های بجنورد، بیرجند، اراک، کاشان و سمنان است. در این سناریو شیب تغییرات نسبت به سایر سناریوها نیز کمتر است و بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه اراک است که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله درصد افزایش مقدار بارش فرین نسبت به دوره تاریخی به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در بین ایستگاه‌های موردبررسی افزایش مقدار بارش فرین نسبت به دوره تاریخی با درصد افزایش بیش از ۲۵ درصد در ایستگاه اراک در هر سه سناریو، در ایستگاه‌های اصفهان و گرگان در سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و در ایستگاه بجنورد در سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 و کاشان در سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 تأیید شده است.

در پژوهش حاضر دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش‌های فرین در دوره ۲۰۲۶–۲۰۵۰ با ترکیب وزنی ۱۰ مدل مورداستفاده از مدل‌های CMIP6 با در نظر گرفتن مهارت‌های شبیه‌سازی مدل در هر دو الگوی فضایی و تنوع بین‌سالانه و تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به خطرات رویدادهای بارش فرین ممکن است در آینده این بارش‌های فرین در اکثر مناطق موردمطالعه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یابد؛ بنابراین لازم است تلاش‌های بیشتری در کارهای آینده برای بهبود روش وزن‌دهی و انتخاب مدل‌های بیشتر انجام شود. همچنین با توجه به دستاورد این پژوهش لازم است تا در هر منطقه تعداد بیشتری ایستگاه موردبررسی قرار گیرد به‌خصوص در مناطقی مانند استان مرکزی که در این منطقه هر سه سناریو افزایش مقدار بارش فرین را نسبت به دوره تاریخی در دوره بازگشت‌های مختلف نشان داد.

References

Alijani, B., & Afshar Manesh, H. (2015). Statistical analysis of long-term precipitation data for fitting an appropriate statistical distribution (Case study: Iran). *Zagros Quarterly Journal of Geography and Urban Planning*, 7(25), 73-95. [In Persian] https://sanad.iau.ir/Journal/zagros/Article/937845

Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94, 107-124. https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y

Alizadeh, A. (2015). *Principles of Applied Hydrology* (40th ed.). Mashhad: Imam Reza University Press. [In Persian]

Allen, M. R., & Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*, *419*(6903), 224-232. https://doi.org/10.1038/nature01092

Asadi, A., & Akbari Azirani, T. (2021). Analysis of variations the beginning and ending of precipitations with tending models in western south of Iran. *Sustainable Development of Geographical Environment*, *3*(4), 99-107. [In Persian] https://doi.org/10.52547/SDGE.3.4.99

Azizi, H., & Nejatian, N. (2022). Evaluation of the climate change impact on the intensity and return period for drought indices of SPI and SPEI (study area: Varamin plain). *Water Supply*, 22(4), 4373-4386. https://doi.org/10.2166/ws.2022.056

Berg, P., Moseley, C., & Haerter, J. O. (2013). Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, *6*(3), 181-185. https://doi.org/10.1038/ngeo1731

Chen, H. (2013). Projected change in extreme rainfall events in China by the end of the 21st century using CMIP5 models. *Chinese Science Bulletin*, *58*, 1462-1472. https://doi.org/10.1007/s11434-012-5612-2

Chen, H., Sun, J., Chen, X., & Zhou, W. (2012). CGCM projections of heavy rainfall events in China. *International Journal of Climatology*, *32*(3), 441-450. https://doi.org/10.1002/joc.2278

Chen, W., Jiang, Z., & Li, L. (2011). Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B scenario using 28 AOGCMs. *Journal of Climate*, *24*(17), 4741-4756. https://doi.org/10.1175/2011JCLI4102.1

Dike, V. N., Lin, Z. H., & Ibe, C. C. (2020). Intensification of summer rainfall extremes over Nigeria during recent decades. *Atmosphere*, *11*(10), 1084. https://doi.org/10.3390/atmos11101084

Hawkins, E., & Sutton, R. (2011). The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate dynamics*, *37*, 407-418. https://doi.org/10.1007/s00382-010-0810-6

Hong, J., Javan, K., Shin, Y., & Park, J. S. (2021). Future projections and uncertainty assessment of precipitation extremes in Iran from the CMIP6 ensemble. *Atmosphere*, *12*(8), 1052. https://doi.org/10.3390/atmos12081052

IPCC. (2020). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change***.** Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/

Javan, K., Movaghari, A., & Park, J. S. (2023). Projected changes in extreme precipitation indices over the Lake Urmia basin in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, *14*(8), 2564-2582. https://doi.org/10.2166/wcc.2023.447

Jiang, Z., Li, W., Xu, J., & Li, L. (2015). Extreme precipitation indices over China in CMIP5 models. Part I: Model evaluation. *Journal of Climate*, *28*(21), 8603-8619. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0099.1

Khansalari, S., & Mohammadi, S. A. (2023). Projection of extreme precipitation over Iran based on the ensemble approach of CMIP6 models in the near future (2026-2050) with rank-based

weighting. *Journal of the Earth and Space Physics*, *49*(3), 727-746. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.351711.1007476

Lee, Y., Paek, J., Park, J. S., & Boo, K. O. (2020). Changes in temperature and rainfall extremes across East Asia in the CMIP5 ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*, 143-155. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03180-w

Lin, Q. J., & Yu, J. Y. (2022). The potential impact of model horizontal resolution on the simulation of atmospheric cloud radiative effect in CMIP6 models. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, *33*(1), 21. https://doi.org/10.1007/s44195-022-00021-3

Loucks, D. P., Stedinger, J. R., & Haith, D. A. (1981). *Water Resource Systems Planning and Analysis*. Prentice-Hall.

Mann, M. E., & Kump, L. R. (2015). *Dire predictions: Understanding climate change*. Pearson.

Meehl, G. A., Senior, C. A., Eyring, V., Flato, G., Lamarque, J. F., Stouffer, R. J., … & Schlund, M. (2020). Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models. *Science Advances*, *6*(26), eaba1981. https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1981

Peng, Y., Zhao, X., Wu, D., Tang, B., Xu, P., Du, X., & Wang, H. (2018). Spatiotemporal variability in extreme precipitation in China from observations and projections. *Water*, *10*(8), 1089. https://doi.org/10.3390/w10081089

Ruckstuhl, C., Philipona, R., Morland, J., & Ohmura, A. (2007). Observed relationship between surface specific humidity, integrated water vapor, and longwave downward radiation at different altitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *112*(D3). https://doi.org/10.1029/2006JD007850

Sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, *3*(1), 63-83. doi: 10.22034/jmas.2021.278862.1129. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jmas.2021.278862.1129

Sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2021). The Impact of Future Climate Change on Hydrological Response in Torogh Dam Watershed, Mashhad. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, *3*(4), 310-330. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jmas.2021.297763.1149

Shahabfar, A., & Qiyami, A. (2001). Evaluation of goodness-of-fit methods for statistical distribution functions and the use of time series for annual rainfall prediction in Mashhad. In *Proceedings of the First National Conference on Water Crisis Management Strategies, Zabol, Iran*. [In Persian] https://civilica.com/doc/81273/

Tang, B., Hu, W., & Duan, A. (2021). Future projection of extreme precipitation indices over the Indochina Peninsula and South China in CMIP6 models. *Journal of Climate*, *34*(21), 8793-8811. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0946.1

Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *106*(D7), 7183-7192. https://doi.org/10.1029/2000JD900719

Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., ... & Zhai, P. (2007). Observations. surface and atmospheric climate change. Chapter 3. https://cig.uw.edu/publications/observations-surface-and-atmospheric-climate-change/

Yazdandoost, F., Moradian, S., Izadi, A., & Aghakouchak, A. (2021). Evaluation of CMIP6 precipitation simulations across different climatic zones: Uncertainty and model intercomparison. *Atmospheric Research, 250*, 105369. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105369

Zareian, M. (2022). Effects of climate change on temperature and precipitation in yazd province based on combined output of CMIP6 models. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 26(2), 91-105. [In Persian] http://dx.doi.org/10.47176/jwss.26.2.31501

Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. (2022b). Investigating Precipitation Return Period and its Probability of Occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *10*(4), 209-227. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.71102.1079

Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021b). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, *144*, 643-660. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03568-2

Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022a). Technical Note: Assessing the Effect of Climate Change on Heavy Precipitation in Iran Based on a CMIP6 Ensemble Model. *Journal of Water and Sustainable Development*, *8*(4), 119-124. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9

Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. A. (2021a). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias-corrected multi-model ensemble. *Journal of the Earth and Space Physics*, *47*(3), 561-578. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.319270.1007295

Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A., & Hassani, S. (2022c). Future changes in precipitation extremes over Iran: Insight from a CMIP6 bias-corrected multi-model ensemble. *Pure and Applied Geophysics*, *179*, 441-464. https://doi.org/10.1007/s00024-021-02904-x

Zhai, P., Zhang, X., Wan, H., & Pan, X. (2005). Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, *18*(7), 1096-1108. https://doi.org/10.1175/JCLI-3318.1

Zhang, W., & Zhou, T. (2019). Significant increases in extreme precipitation and the associations with global warming over the global land monsoon regions. *Journal of Climate*, *32*(24), 8465-8488. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0662.1

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.247-279 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82117.1356 Open access

Assessment of the impact of drought on the vegetation cover in Lorestan Province using advanced infrared images

Samad khosravi Yeganeh[a], Mustafa Karampour[b*], Behrouz Nasiri[b]

[a] *Ph.D. student in climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran.*

[b] *Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.*

Received: 25 April 2023 ***Revised: 28 August 2023*** ***Accepted: 13 September 2023***

Abstract

The Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) is one of the key instruments on the National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) polar-orbiting satellite, Suomi NPP, which was successfully launched on October 28, 2011. VIIRS represents a new generation of moderate-resolution imaging capabilities, succeeding the AVHRR at NOAA and MODIS on the Terra and Aqua satellites. It provides operational environmental monitoring and supports numerical weather prediction through its 22 radiometric imaging bands, ranging from 0.41 to 12.5 micrometers.

To examine the impact of precipitation on vegetation cover in Lorestan Province, the monthly mean Standardized Precipitation Index (SPI) was calculated using rainfall data from seven meteorological stations in the province. Additionally, weekly-averaged infrared images from the Suomi NPP sensor over the period 2013 to 2021 (April 1 to the end of July) were analyzed to assess the state of vegetation cover.

The results indicated that the correlation between the SPI and the vegetation indices NDVI, VCI, TCI, and VHI were 0.037, 0.048, 0.174, and 0.150, respectively. Among these indices, the TCI index exhibited the highest correlation with SPI, making it a suitable method for combining remote sensing data with meteorological station data to monitor vegetation cover conditions in Lorestan Province.

The findings also revealed that vegetation experienced varying degrees of drought each year, with the most severe drought occurring in 2021 across most regions of the province, particularly in the central, southern, and northeastern areas. In contrast, drought conditions were less severe in 2013, 2015, and 2018, while vegetation cover showed better conditions in 2016, 2018, 2019, and 2020.

Keywords: Remote Sensing, Drought Monitoring,Vegetation Indices, Standardized Precipitation Index (SPI), VIIRS Satellite Data , Lorestan province.

[*] .Corresponding author Mustafa Karampour Email: karampoor.m@lu.ac.ir Tel:+989163618907

How to cite this Article: khosravi Yagane, S., & karampour, M, Nasiric, B. (2024). Evaluation of the effect of drought on the vegetation of Lorestan province using advanced infrared images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 247-279.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۲۷۹-۲۴۷

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82117.1356 دسترسی آزاد

ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان لرستان با استفاده از تصاویر پیشرفته مادون‌قرمز

صمد خسروی یگانه-دانشجوی دکتری آب‌وهوا شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

مصطفی کرم پور[1]- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

بهروز نصیری-دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۲/۵ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۶/۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۶/۲۲**

چکیده

مجموعه رادیومتر تصویربرداری مادون‌قرمز مرئی (VIIRS) یکی از ابزارهای کلیدی روی فضاپیمای سازمان ملی امریکا در مدار قطبی (Suomi NPP) است که با موفقیت در ۲۸ اکتبر ۲۰۱۱ پرتاب شد که نسل جدیدی از قابلیت‌های تصویربرداری با وضوح متوسط عملیاتی پس از AVHRR در NOAA ، MODIS در ماهواره‌های Terra و Aqua را امکان‌پذیر می‌کند. VIIRS نظارت عملیاتی محیطی و پیش‌بینی عددی آب‌وهوا با ۲۲ باند تصویربرداری رادیومتریک با طول موج‌های ۰/۴۱ تا ۱۲/۵ میکرومتر را پوشش می‌دهند. به‌منظور آشکارسازی تأثیر بارش بر پوشش گیاهی استان لرستان، میانگین ماهانه شاخص استاندارد بارش SPI با استفاده از داده‌های بارش ۷ ایستگاه هواشناسی استان محاسبه شد. سپس با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز به‌صورت میانگین هفتگی در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۳ (اول آوریل تا پایان ژولای) اخذ شده از سنجنده Suomi NPP به بررسی وضعیت پوشش گیاهی پرداخته شد. نتایج نشان داد میزان همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، VCI، TCIو VHI به ترتیب ۰/۰۰۳۷، ۰/۰۰۴۸، ۰/۱۷۴ و ۰/۱۵۰ است. شاخص TCI همبستگی بیشتری با شاخص SPI داشته و به‌عنوان یک روش ترکیبی از سنجش‌ازدور و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی برای بررسی شرایط پوشش گیاهی در استان لرستان مناسب است. پوشش گیاهی همه‌ساله با درجات مختلفی از خشکسالی روبه‌رو بوده و شدیدترین خشکسالی پوشش گیاهی در ۲۰۲۱ در بیشتر مناطق استان به‌ویژه قسمت‌های مرکزی، جنوبی و شمال شرقی استان رخ‌داده است. در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ خشکسالی پوشش گیاهی با شدت کمتری رخ‌داده و در ۲۰۱۶،۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ پوشش گیاهی در شرایط مطلوب‌تری قرار داشته است.

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۶۱۸۹۰۷

Email:karampoor.m@lu.ac.ir

واژگان کلیدی: سنجش از دور، پایش خشکسالی، شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص بارش استاندارد شده ، داده‌های ماهواره‌ای VIIRS ،استان لرستان.

۱- مقدمه

خشکسالی را به‌عنوان یک پدیده، می‌توان بخشی از اقلیم هر منطقه از سطح کره‌ی زمین، محسوب کرد. این پدیده به‌کندی شروع شده و دارای ماهیتی پنهانی است. در مواقعی که مدت‌زمان وقوع آن طولانی می‌شود، خسارت‌های ناشی از آن نیز در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره به‌تدریج ظاهر می‌شود. خسارات و آثار ناشی از این پدیده در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین‌لرزه بسیار زیاد و فراگیرتر است. به‌منظور مدیریت خشکسالی، کسب اطلاعات از دوره‌ی زمانی قبل از وقوع، هنگام وقوع و پس‌ازآن اهمیت زیادی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات بسیاری برای بررسی و پایش خشکسالی صورت گرفته و از روش‌های مختلف خصوصاً روش‌های آماری، جهت بررسی آن استفاده شده است؛ اما بسیاری از این مطالعات دقت لازم را نداشته و هر یک از این روش‌ها مشکلات خاص خود را دارند. برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص جهت تعیین دقیق دوره‌های تر و خشک بسیار ضروری است. شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای نقشه‌برداری زمین‌های کشاورزی، بررسی بارش، تخمین اثرات آب‌وهوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فرآوری چراگاه، شرایط خشکسالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (Dabrowska-Zielinska, Kogan, Ciolkosz, Gruszczynska & Kowalik, 2002). یکی از مؤثرترین شاخص‌ها، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI است (Jensen, 1996). زمانی که خشکسالی هم‌زمان با فصل رشد است، موجب عدم تعادل زیست‌محیطی خواهد شد که پارامترهای بیولوژیک مانند پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghulam, Li, Qin & Tong, 2007). خشکسالی‌ها همواره به چهار دسته هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی و اقتصادی طبقه‌بندی می‌شوند(Wilhite & Glantz, 1985). محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی و تشخیص شدت خشکسالی‌ها ارائه داده‌اند. برخی شاخص‌های بالم و مولی (BMDI)، شاخص بارش استاندارد شده

(SPI) و شاخص ناهنجاری بارش (RAI) تنها بر اساس داده‌های هواشناسی پایه‌گذاری شده است (Bhalme, Reddy, Mooley & Ramana Murty, 1981; McKee, Doesken & Kleist, 1993; Van-Rooy, 1965).

اساس بسیاری از شاخص‌های خشکسالی کشاورزی همچون شاخص رطوبت محصول (CMI) و شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI) همچنین استفاده از داده‌های رطوبت خاک و تبخیر و تعرق است (Narasimhan & Srinivasan, 2005 Palmer, 1965). درحالی‌که شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی همچون شدت خشکسالی پالمر (PDSI) براساس مدل تعادل آبی طراحی شده‌اند (Shafer & Dezman, 1982; Weghorst, 1996). در چند دهه اخیر نیز با پیشرفت‌هایی که در تولیدات سنجش‌ازدور ماهواره‌ای حاصل شده است، مطالعات زیادی با استفاده از این تولیدات برای ارزیابی اثرات خشکسالی انجام شده است (Ghulam et al., 2007; Peters, 2002; Tadesse, Brown & Hayes, 2005; Wan, Wang & Li, 2004).

بین بازتاب موج‌کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) و محتوای آب رابطه منفی وجود دارد که علت آن مربوط به ناحیه جذب می‌باشد(Hunt Jr & Rock, 1989; Tucker & Sellers, 1986) و بین مادون‌قرمز نزدیک و میزان آب درون برگ رابطه عکس وجود دارد (Ceccato, Flasse, Tarantola, Jacquemoud & Grégoire, 2001; Gao, 1996). از کاربرد شاخص‌های گیاهی برای بررسی خشکسالی چند دهه می‌گذرد و هنوز هم در سطح وسیعی استفاده می‌شود (Akbari, 2003). در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI و شاخص پیشرفته پوشش گیاهی EVI هر دو از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای ارائه نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شوند. به‌ویژه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است. اساس این شاخص بر این مبنا است که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نیز نور مادون‌قرمز نزدیک را منعکس سازد. مقدار این شاخص و شاخص‌های دیگر پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند که اطلاعات کلیدی و مهمی در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی ارائه می‌دهند. از طرف دیگر شاخص EVI جزئیات کاملی را در رابطه با تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی فراهم می‌نماید و نیز بسیاری از مسائلی که ایجاد ناخالصی در شاخص NDVI به وجود می‌آورند (Pettorelli et al., 2005; Matsushita, Yang, Chen, Onda & Qiu, 2007). با توجه

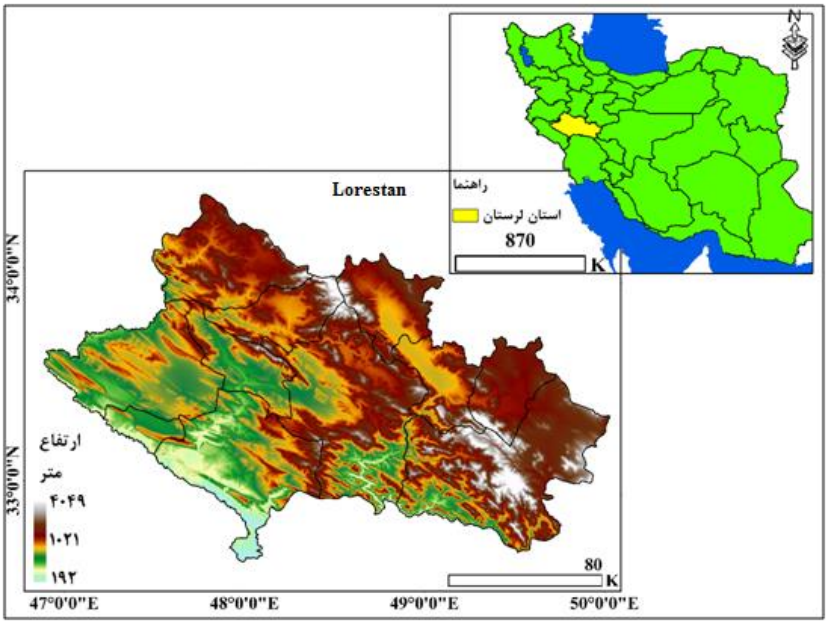
به روند تغییر اقلیم و کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ در جهان و بالأخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از قبیل ایران تبدیل شده است. ازاین‌رو پایش و ارزیابی آن امری مهم است. در مقابل روش‌های سنتی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی هستند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی موردتوجه محققان واقع شده است؛ اما استفاده از این تکنیک و نتایج حاصل از آن همچنان نیاز به ارزیابی و واسنجی برای مناطق مختلف دارد. شاخص‌های پوشش گیاهی روش‌های پر کاربردی برای پایش خشکسالی از طریق داده‌های ماهواره‌ای به شمار می‌روند. مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی و شاخص مورداستفاده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و درنتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص‌ها از نظر صحت داده‌ها با شرایط گیاه و درنتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از هر شاخص گیاهی در هر منطقه استفاده نمود و نتایج مشابهی را انتظار داشت؛ بنابراین به‌منظور پایش زمانی و مکانی خشکسالی در استان لرستان جدیدترین تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر مادون‌قرمز) مورداستفاده قرار گرفته است. در ایران به دلیل بحث‌های مرتبط با خشکسالی به دلایل موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و در طرح‌های مقابله با خشکسالی و سیستم‌های پایش خشکسالی از نظر کمیت و کیفیت قطعاً باید در اولویت قرار گیرد. بررسی تأثیر بارش به‌عنوان مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار بر پوشش گیاهی در هر منطقه بسیار ضروری است. در این تحقیق سعی شده است که با یک روش جدید و انتخاب چند شاخص متفاوت در دوره زمانی میانگین هفتگی، شرایط پوشش گیاهی در استان لرستان رصد و شرایط آن موردبررسی قرار گیرد. با عنایت به اینکه گسترش روش‌های نوین و استفاده از تکنیک جدید سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی، وجود دارد. نواقص موجود در داده‌های عناصر جوی و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، دلایلی هستند که لزوم توجه به روش‌های نوین با قابلیت داده‌پردازی و مدل‌سازی بالا و بازخوانی داده‌های نقاط مختلف را نشان می‌دهند. به‌طوری‌که در سال‌های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی علاوه بر شاخص‌ها و روش‌های آماری، محصولات

سنجنده‌های ماهواره‌ای یک نقش مهم در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می‌نماید؛ بنابراین برای اعمال مدیریت صحیح، علمی و منطقی، پایش این تغییرات به‌صورت هفتگی و یا روزانه ضروری است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه موردمطالعه

مطابق (شکل ۱) محدوده‌ی مطالعاتی این پژوهش استان لرستان است که در غرب کشور ایران بین ٤٦ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی واقع‌شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲ مواد و روش‌ها

در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز سنجنده Suomi NPP اخذشده از سایت earth data.nasa.gov با بهره‌گیری از شاخص‌هایNDVI ، VCI، TCI و VHI به بررسی وضعیت خشکسالی پوشش

گیاهی در استان لرستان پرداخته شود. دوره موردمطالعه ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مربوط به اول آوریل تا انتهای ژولای (هفته ۱۳ تا ۲۶ میلادی) به‌صورت میانگین هفتگی است. محاسبه شاخص استاندارد بارش SPI با استفاده از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی الیگودرز، دورود، خرم‌آباد، بروجرد، نورآباد، کوهدشت و ازنا انجام شده تا وضعیت بارش به‌خوبی تحلیل شده و ماه‌های خشک و مرطوب از یکدیگر تفکیک شوند. سپس ضریب همبستگیSPI با هریک از شاخص‌هایNDVI ، VCI، TCI و VHI محاسبه گردید. در تصاویر مادون‌قرمز، باندهای M دارای قدرت تفکیک ۷۵۰ و باندهای I ۳۷۵ متر هستند. مشخصات باندهای تصاویر مادون‌قرمز در (جدول ٤) ذکرشده است. شاخص NDVI (رابطه ۱) از باندهای (NIR=I2) و (Red=I1) محاسبه‌شده است. ازآنجایی‌که NDVI و دمای روشنایی (BT) مؤلفه‌های آب‌وهوا و اقلیم محیط را در سیگنال سلامت پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌کنند، به‌منظور برآورد خشکسالی ناشی از آب‌وهوا مورداستفاده قرار گرفت. a به میزان ۰/۵ یک ضریب ثابت است (Ehrlich & Holdren, 1971; Hui, 2006; Kogan, 1995) .

NDVImax نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار سالم یا نرمال که از نظر عددی ۱۰۰ تخمین زده می‌شود. VHI شاخصی برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی در مقیاس بسیار سالم تا خیلی ضعیف و شرایط میانی مانند عادی، کمی بالاتر یا پایین‌تر از عادی و تنش را مشخص می‌کند. شاخص وضعیت گیاهی مبتنی بر NDVI (VCI)، دمای مبتنی بر (BT) شاخص وضعیت TCI و VCI-TCI ترکیبی از سلامت گیاهیVHI به‌صورت روابط ۱ تا ۳ محاسبه شده است. میزان هر یک از شاخص‌ها از صفر، استرس شدید، به ۱۰۰(بسیار سالم) تغییر می‌کند. طبق یک اصل: اگر پوشش گیاهی بسیار سبز، شاخص‌های (رطوبت، حرارتی و ترکیبی) بسیار سالم به مقدار (۱۰۰) و چنانچه میزان سبزینگی پوشش گیاهی در بازه بسیار کم قرار گیرد، وضعیت پوشش گیاهی از حالت عادی خارج و دچار تنش می‌گردد (Kogan, 1995; 1997; 2000).

جدول ۱ طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌های موردمطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

$$NDVI = (NIR-Red)/((NIR + Red)) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$VCI = 100 \times (NDVI - NDVI_{min})/(NDVI_{max} - NDVI_{min})$$ رابطه (۲)

$$TCI = 100 \times (BT_{max} - BT)/(BT_{max} - BT_{min})$$ رابطه (۳)

$$VHI = a \times VCI + (1 + a) \times TCI$$ رابطه (٤)

جدول ۱ و ۲ طبقه‌بندی خشکسالی هریک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر هر یک از شاخص‌های مورد بررسی در (جدول ٤) بیان‌شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی درجات خشکسالی شاخص‌های VCI,TCI,VHI

Table 1- Drought Classification Based on VCI,TCI,VHI

VCI,TCI,VHI Value	10 <	10-20	20-30	30-40	40-60	60>
شرایط خشکسالی	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملایم	نرمال	غیر خشکسالی
Drought Conditions	Extremely Severe	Severe	Moderate	Mild	Normal	Non- Drought

جدول ۲- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی شاخص NDVI

Table 2- Drought Classification Based on NDVI

NDVI Value	0<	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	≥ 0.6
خشکسالی	خشکی شدید	خشکی	نرمال	ترسالی	غیر خشکسالی
Drought	Severe Drought	Drought	Normal	Extremely Wet	Non-Drought

شاخص استانداردشده بارش

شاخص بارندگی استانداردشده، توسط مک کی و همکاران (McKee et al., 1993) از دانشگاه ایالتی کلرادو، در سال ۱۹۹۳ تدوین شده است. این شاخص، بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هرماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص تقسیم بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی محاسبه می‌گردد. این شاخص از طریق معادله ٥ قابل‌محاسبه است.

رابطه (۵)

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x}$$

که در آن X_i میانگین بارندگی در هرماه $\bar{X}$ میانگین بارش در دوره موردنظر و S_x انحراف معیار مقدار بارش است. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در (جدول ۳) ارائه‌شده‌اند، تقسیم‌بندی شده است.

جدول ۳- طبقه‌بندی شرایط خشکسالی SPI

SPI Value	**≥ 0.2**	**1.5-1.99**	**0.1-1.49**	**-0.99-0.99**	**-0.1- -1.49**	**-1.5- -1.99**	**≤ -2**
شرایط خشکسالی Drought Conditions	ترسالی بسیار شدید Extremely Severe Extremely Wet	ترسالی شدید Severe Extremely Wet	ترسالی متوسط Moderate Extremely Wet	نرمال Normal	خشکسالی متوسط Moderate Drought	خشکسالی شدید Severe Drought	خشکسالی بسیار شدید Extremely Severe Drought

Table 3- Drought Classification Based on SPI

جدول ٤- مشخصات باندهای تصاویر VIIRS

Table 4- Band characteristics of images VIIRS

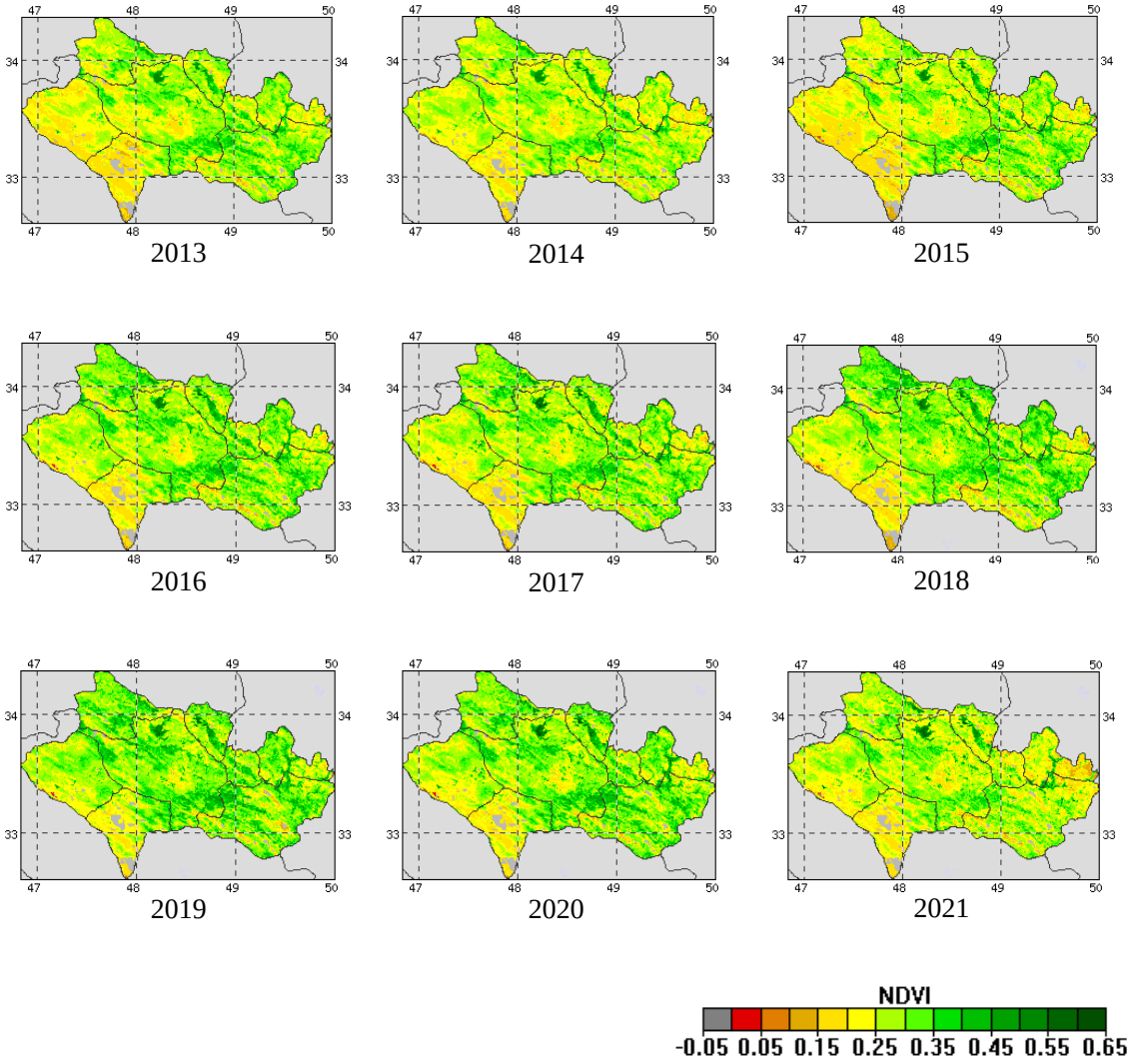
باندها **Bands**	**محدوده طیفی (میکرومتر)** **Spectral Range**	**موارد استفاده اولیه** **Primary Applications**
M1	0.402-0.422	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols
M2	0.436-0.454	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols
M3	0.478-0.498	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols
M4	0.545-0.565	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols
I1	0.600-0.680	تصویرسازی پدیده‌ها Phenomenon Visualization
M5	0.662-0.682	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols

M6	0.739-0.754	تصحیح اتمسفری Atmospheric Correction
I2	0.846-0.885	شاخص پوشش گیاهی
M7	0.846-0.885	رنگ اقیانوس و آئروسل‌ها Color of Oceans and Aerosols
M8	1.230-1.25	اندازه ذرات ابرها Cloud Partical Size
M9	0.371-1.386	تشخیص نوع ابرها Cloud Type Detection
I3	1.580-1.640	نقشه دوبعدی برف 2D Snow Map
M10	1.580-1.640	کسر (حذف) برف Snow Removal
M11	2.225-2.275	ابرها Clouds
I4	3.550-3.930	تصاویر ابرها Cloud Image
M12	3.600-3.840	دمای سطح آب اقیانوس‌ها Sea Surface Temp.
M13	3.973-4.128	دمای سطح آب اقیانوس‌ها و آتش‌سوزی‌ها Sea Surface Temp. and Wildfires
M14	8400-8.700	خواص برتر ابرها Superior Properties of clouds
M15	10.263-11.263	دمای سطح آب اقیانوس‌ها Sea Surface Temp.
I5	10.500-12.400	تصاویر ابرها Cloud Image
M16	11.538-12.488	دمای سطح آب اقیانوس‌ها Sea Surface Temp.
DNB	0.500-0.900	آلودگی نوری Light Pollution

۳- نتایج و بحث

بر اساس آمار بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان لرستان می‌توان گفت که در فصل تابستان (ژولای، اوت و سپتامبر) در محدوده مطالعاتی بارش رخ نمی‌دهد و تنها در فصول پاییز، زمستان و بهار شاهد بارش هستیم؛ بنابراین سال آبی در استان لرستان به‌طور تقریبی از دهه سوم سپتامبر آغاز و تا دهه دوم و سوم ژوئن هرسال ادامه دارد. اگر در این استان پوشش گیاهی دچار خشکسالی شود، بهترین پایه زمانی برای پایش آن از اول آوریل تا انتهای ژوئن است، به‌عبارت‌دیگر اگر پوشش گیاهی در دیگر ماه‌های سال دچار خشکسالی شود، بارش در دیگر ماه‌های سال می‌تواند خشکسالی پوشش گیاهی را جبران کند و کمبود

بارش تأثیر چشمگیری بر روی پوشش گیاهی نخواهد داشت؛ بنابراین انتخاب پایه زمانی برای بررسی خشکسالی رخ داده بر روی پوشش گیاهی اول ماه آوریل (هفته ۱۳) تا انتهای ماه ژوئن (هفته ۲۶ میلادی) مناسب است. در این نوشتار، برای تشخیص تأثیر بارش بر شرایط پوشش گیاهی، شاخص SPI، از آمار بارندگی ماهانه میلادی، مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی واقع در استان لرستان محاسبه‌شده و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در فصل تابستان استان لرستان یک‌فصل خشک را طی می‌کند و ماه اوت خشک‌ترین ماه سال است. گفتنی است که به دلیل حجم زیاد اشکال تولیدشده هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی، فقط ارائه نقشه شاخص‌های هفتگی در (هفته ۲۶ میلادی هرسال) امکان‌پذیر بود. نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از سنجنده S-NPP JPSS که از نوع تصاویر مادون‌قرمز برای یک دوره زمانی ۹ ساله از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ برای منطقه موردمطالعه تهیه شد. در این تصاویر به‌روشنی وضعیت پوشش گیاهی در سال‌های مختلف قابل‌مشاهده است. با توجه به این تصاویر به‌طورکلی وضعیت نرمال و غیر نرمال پوشش گیاهی در طول این بازه‌ی زمانی، در سراسر منطقه مطالعاتی از وضعیت کاملاً متفاوتی برخوردار بوده است. پوشش گیاهی در ۲۰۱۳، ۲۰۱٤ و ۲۰۲۱ دچار خشکسالی شده و در ۲۰۱٦ و ۲۰۱۸ پوشش گیاهی در وضعیت نرمالی قرار داشته است. براساس خروجی‌ها مشخص گردید میزان شاخص NDVI در قسمت‌های جنوبی و شرقی استان که شامل پل‌دختر و کوهدشت است، نسبت به دیگر مناطق زودتر کاهش پیدا می‌کنند (شکل ۲). تجزیه‌وتحلیل بارش در مناطق فوق‌الذکر نشان داد که بارش کمتری نسبت به قسمت‌های استان داشته‌اند که این امر تأثیر زیادی بر تنش وارد شده بر پوشش گیاهی افزوده است. دوره بارش در این مناطق بسیار کوتاه بوده و حتی می‌توان گفت در دوره موردمطالعه در ماه‌های آوریل و می‌بارش چندانی نداشته‌اند. در سال‌های که بارش شرایط بهتری نداشته در بعضی مناطق مرکزی و شمال غربی محدوده مطالعاتی شرایط شاخص NDVI نیز دچار تنش شده که خروجی گرافیکی تغییرات سالانه شاخص سلامت پوشش این امر را اثبات می‌نماید. همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۹ مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال ۲۰۲۱ محسوب می‌گردد.

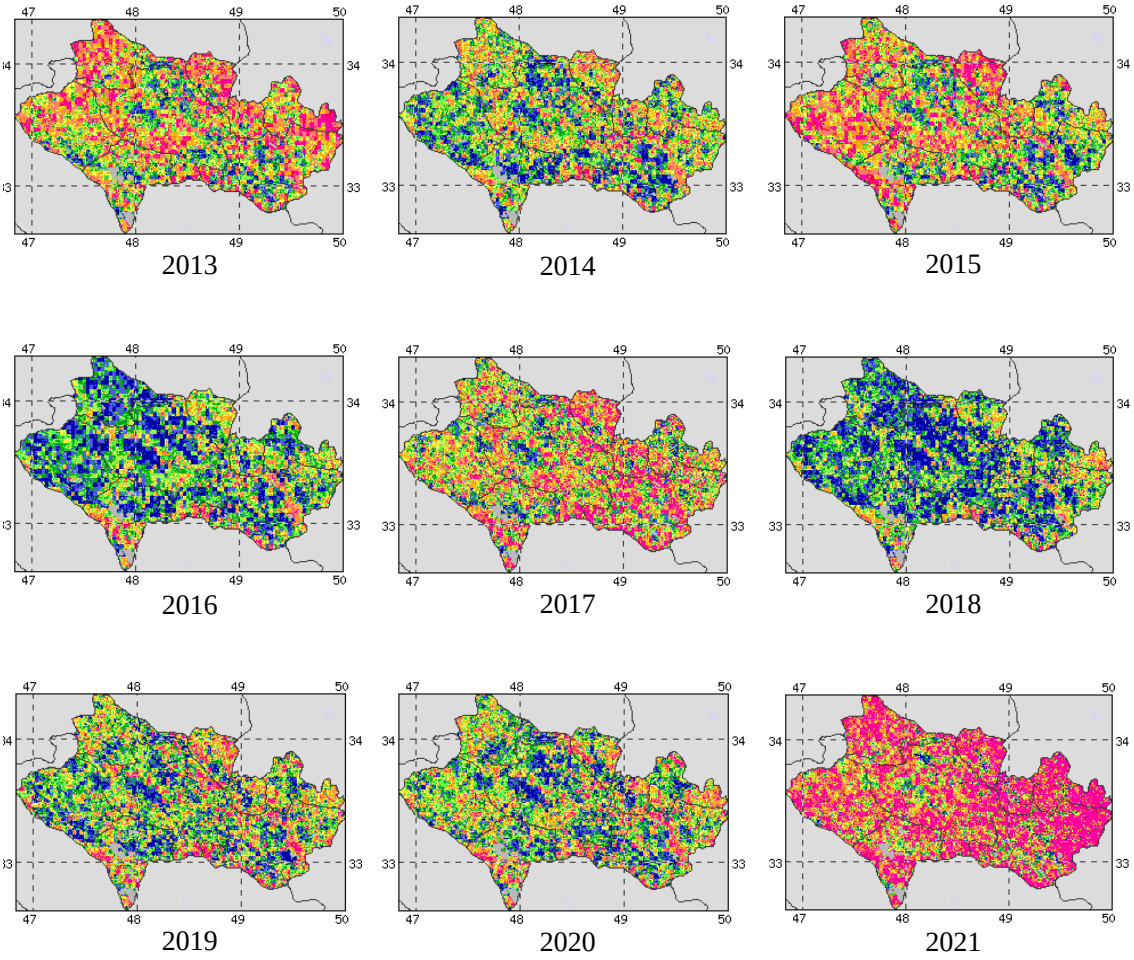


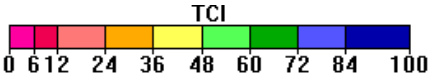
شکل ۲- میانگین هفتگی شاخص NDVI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

Fig. 2. Weekly average of NDVI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده شاخصTCI (شکل ۳) بیانگر رخداد خشکسالی شدید در هفته ۲۶ سال ۲۰۲۱ بوده است. میانگین هفتگی این شاخص در هفته‌های ۲۰ تا ۲۶ به ترتیب ۸/۹۸، ۹/۰۵، ۹/۲۳، ۱۰/۱۱، ۱۱/۶۷، ۱۴/۴۳، ۲۰/۷۷ بوده است. خروجی این شاخص نشان‌دهنده خشکسالی شدید در بیشتر مناطق غربی، جنوبی و شمال شرقی و هم‌چنین مناطق مرکزی منطقه مطالعاتی است، که این ارقام،

خشکسالی شدید را در دوره موردمطالعه نشان می‌دهد. براساس این شاخص در سال‌هایی که خشکسالی به وقوع پیوسته علاوه بر کمبود بارش کوتاه بودن دوره بارش نیز تأثیر زیادی در تشدید خشکسالی داشته که نمونه آن در سال ۲۰۲۱ اثبات شده است. تحلیل شاخص SPI نشان داد که در سال ۲۰۲۱ ماه‌های آوریل، می و ژوئن کمترین بارش را داشته است. ازآنجایی‌که این ماه‌ها، جزئی از دوره سال آبی هرسال است، کمبود بارش در این ماه‌ها تأثیر زیادی بر پوشش گیاهی دارد. تأثیر کمبود بارش زمانی تشدید می‌شود که بارش اندک چند ماه متوالی ادامه داشته است. در دوره موردمطالعه میزان همبستگی شاخص TCI با شاخص SPI ، ۰/۱۷٤ است که نسبت به دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی از بالاترین میزان همبستگی برخوردار بوده است. در دوره موردمطالعه شاخص TCI در سطح استان لرستان شرایط یکنواختی نداشته است (شکل ۳).

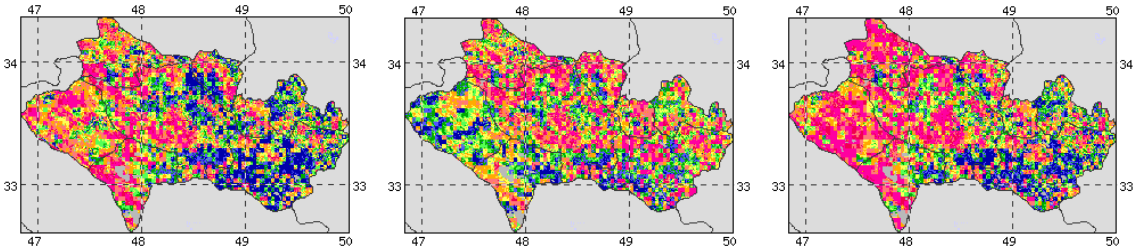


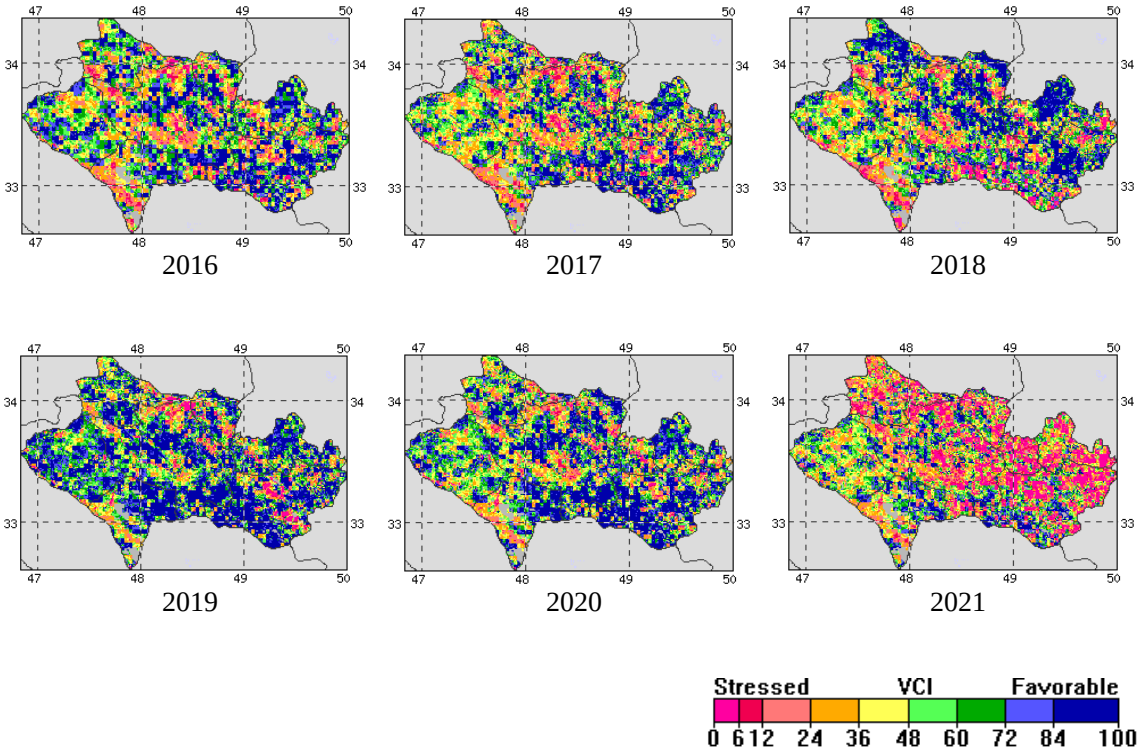


شکل ۳- میانگین هفتگی شاخص TCI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

Fig. 3. Weekly average of TCI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

بر اساس نتایج حاصل شده از تصاویر طبقه‌بندی شده شاخص VCI (شکل ٤) می‌توان ملاحظه نمود که شرایط شاخص VCI در استان لرستان از شرایط کاملاً متفاوتی برخوردار بوده، به‌گونه‌ای که وضعیت این شاخص در استان از نظر تغییرات منطقه‌ای زیاد محسوس نبوده است. در سال ۲۰۲۱ که خشک‌ترین وضعیت این شاخص است. طبق نتایج عددی شاخص مذکور مشخص گردید که از هفته ۱۳(میلادی) اول آوریل تا اواخر ژوئن روند نزولی بوده است (جدول ٤). از هفته ۲۰ تا ۲٦ در سال ۲۰۲۱ کمترین میزان این شاخص را داشته، که این امر نشان‌دهنده خشکسالی شدید است. در زمانی که خشکسالی در این شاخص رخ‌داده از اول آوریل شرایط یکسانی نداشته و روند مقادیر نزولی آغاز شده است. هم‌چنین مشخص گردید که مرطوب‌ترین سال از نظر این شاخص در سال‌های ۲۰۱٦ و ۲۰۱۸ است. از نظر تغییرات مکانی نوسان این شاخص در بیشتر قسمت‌های جنوبی و غربی استان نسبت به دیگر قسمت‌ها بسیار زیاد است. خشک‌ترین یا به عبارتی خشکسالی شدید این شاخص در سال ۲۰۲۱ کمتر از میانگین هفتگی ۳۷ بوده که نسبت به دوره موردمطالعه بی‌سابقه است.



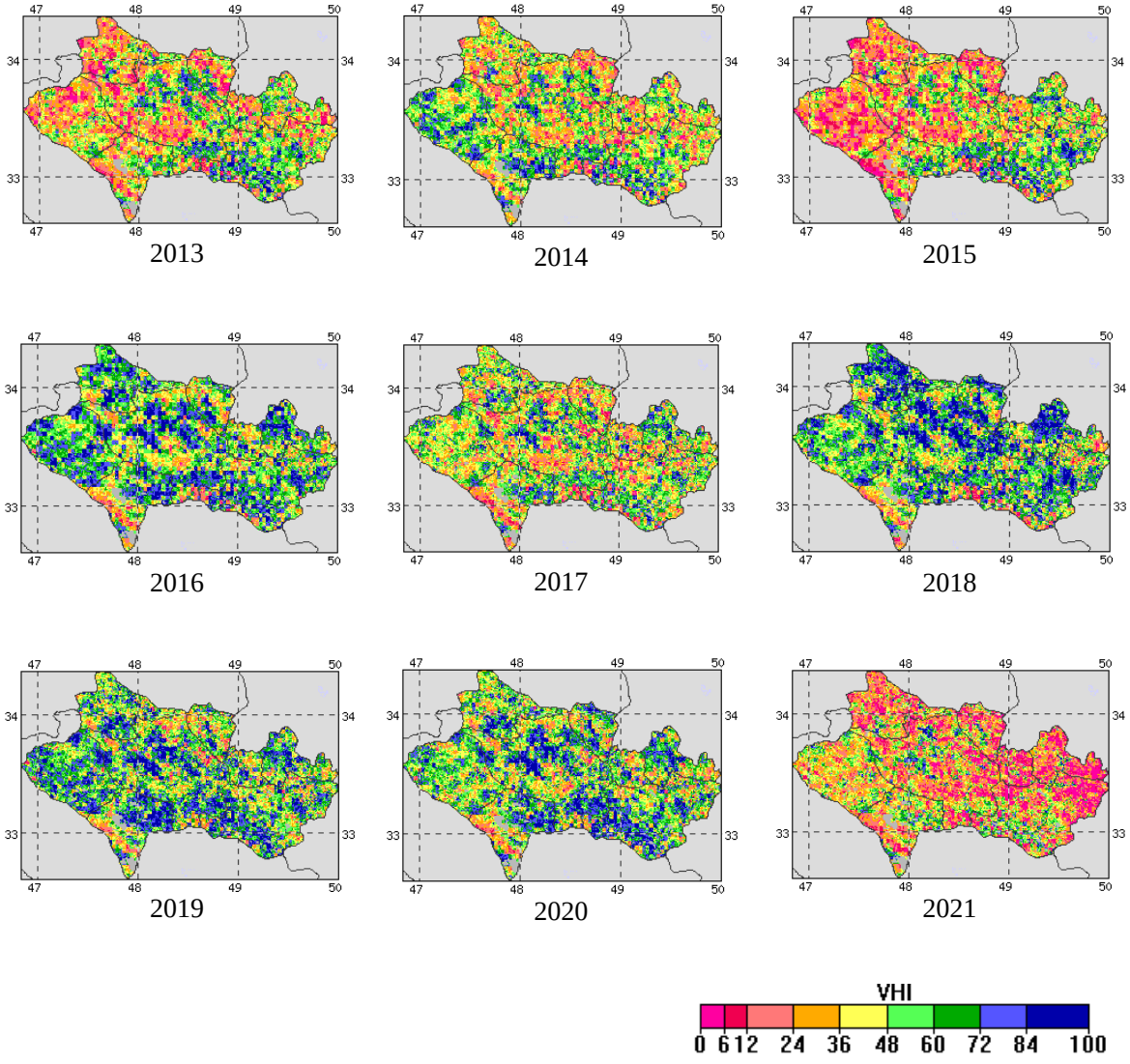


شکل ٤- میانگین هفتگی شاخص VCI استان لرستان (هفته ٢٦) اول جولای (٢٠٢١-٢٠١٣)

Fig. 4. Weekly average of VCI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

بر اساس نتایج حاصل شده از تصاویر طبقه‌بندی شده (شکل ٥) می‌توان بیان کرد در سال‌هایی که پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده است، مقادیر این شاخص به‌خوبی با شاخص استخراج شده Drought Risk در استان لرستان همخوانی داشته است. همان‌طور که میزان شاخص VHI در (جدول ٥) نشان می‌دهد در ٢٠١٣، ٢٠١٤، ٢٠١٥، ٢٠٢١ پوشش گیاهی در استان لرستان دچار خشکسالی و از حالت نرمال خارج‌شده است و مقادیر آن به سمت خشکسالی تغییر کرده است. مقادیر حاصل شده از شاخص VHI به‌خوبی این نتیجه را تائید می‌کند. براساس نتایج حاصل شده مربوط به این شاخص خشکسالی شدید آن در سال ٢٠٢١ با میانگین هفتگی کمتر از ٣١ بوده که نسبت به دوره موردمطالعه پایین‌ترین میزان است. در سال ٢٠٢١ خشکسالی این شاخص از هفته ١٣ تا هفته ٢٦ ادامه داشته است. چنانچه با جزئیات بیشتری این شاخص بررسی گردد می‌توان گفت که بالاترین میزان خشکسالی شدید این شاخص در هفته‌های ١٧، ١٨ و ١٩ به ترتیب با میانگین

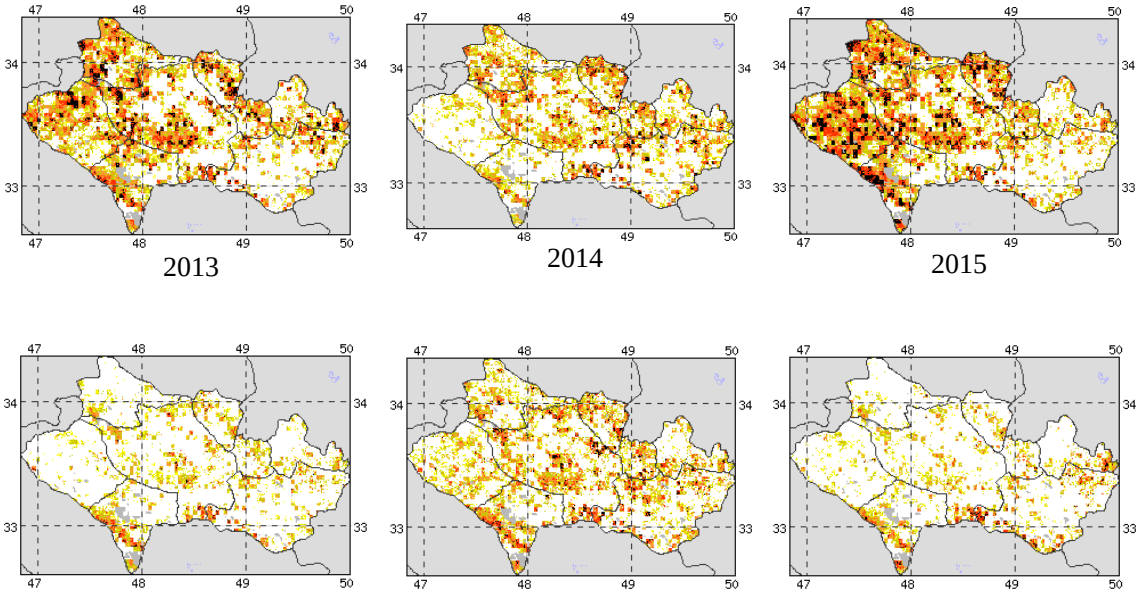
هفتگی ۸/۲۹، ۸/۲۶ و ۸/۵۷ است که این میزان نسبت به‌تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی کمترین میزان را داشته که خشکسالی بسیار شدید این شاخص محسوب می‌گردد.

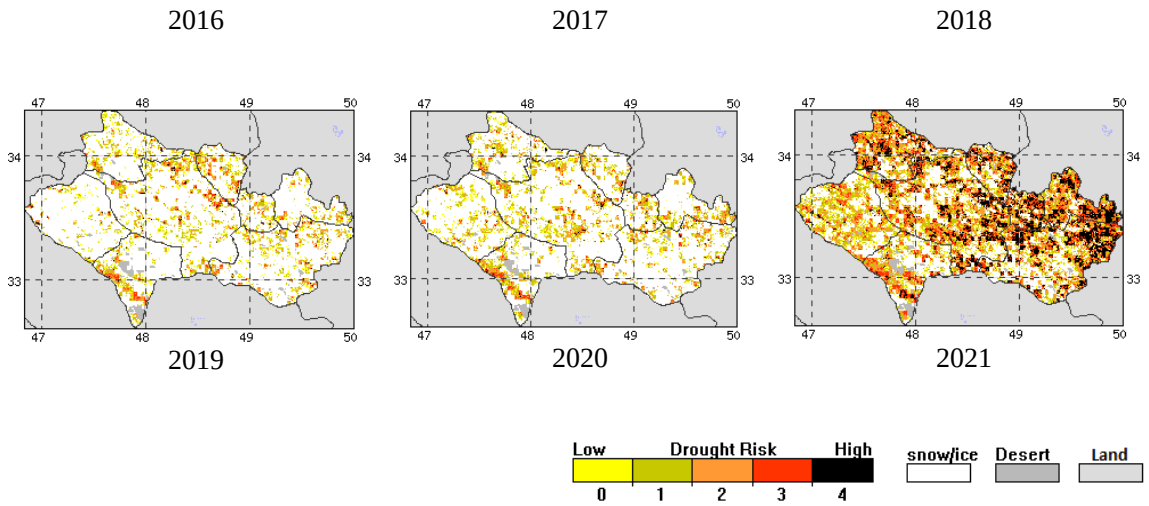


شکل ۵- میانگین هفتگی شاخص VHI استان لرستان (هفته ۲۶) اول جولای (۲۰۲۱-۲۰۱۳)

Fig.5. Weekly average of VHI index of Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

مطابق خروجی شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (شکل ٦) که از ترکیب شاخص‌های VCI و TCI در استان لرستان استخراج شده، بیانگر خشکسالی پوشش گیاهی در دوره موردمطالعه است. نوسان این شاخص در هرسالی با سال دیگر ازلحاظ تغییرات مکانی و درجات خشکسالی پوشش گیاهی متفاوت است. در ۲۰۱۳، ۲۰۱٤،۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شدیدی گردیده است. در سال ۲۰۲۱ شدیدترین و گسترده‌ترین خشکسالی پوشش گیاهی رخ داده است. پس از تجزیه‌وتحلیل هر یک از شاخص‌ها به‌صورت هفتگی مشخص گردید که در اکثر سال‌ها در هفته ۲٦ پوشش گیاهی دچار خشکسالی شده که دلیل این امر کوتاه شدن دوره بارش و همچنین کمبود بارش در ماه‌های می و ژوئن است. درجات خشکسالی حادث‌شده، متفاوت است. نوسان خشکسالی و تغییرات زمانی آن با میزان بارش دریافتی همخوانی زیادی دارد. از نظر پراکندگی مکانی در منطقه موردمطالعه پوشش گیاهی همه‌ساله با درجه‌ای از خشکسالی مواجه شده است. در راهنمای تصاویر طبقه‌بندی شده درجه High بارنگ سیاه تنظیم شده، می‌توان خشکسالی شدید را در بیشتر مناطق استان لرستان مشاهده نمود. در سال ۲۰۲۱ بالاترین و گسترده‌ترین سطح خشکسالی پوشش گیاهی است. در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ بیشترین خشکسالی پوشش گیاهی در قسمت‌های جنوبی و غربی منطقه موردمطالعه رخ داده است.





شکل ٦- میانگین هفتگی خطر خشکسالی پوشش گیاهی استان لرستان (هفته ٢٦) اول جولای (٢٠٢١-٢٠١٣)

Fig. 6. Weekly average drought risk of vegetation in Lorestan province (week 26), July 1 (2013-2021)

نتایج حاصل از پردازش تصاویر و طبقه‌بندی میزان هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی در قالب جدول ارائه شده است. میزان عددی شاخص‌های مربوط به شرایط پوشش گیاهی به‌صورت میانگین هفتگی محاسبه‌شده است (جدول ٥)؛ زیرا هرچه بازه زمانی بررسی شرایط پوشش گیاهی کوتاه‌تر باشد، بهتر می‌توان به سایر جزئیات پی برد و تحلیل‌های دقیق‌تری انجام داد. بر اساس مندرجات (جدول ٥) می‌توان گفت در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ خشکسالی در شرایط پوشش گیاهی استان لرستان به وقوع پیوسته و در سال‌های ۲۰۱٦ و ۲۰۱۸ شرایط پوشش گیاهی در وضعیت مساعدی بوده و به‌نوعی ترسالی حاکم بوده است. از نظر تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی هرساله دچار تنش شده و چنانچه کمبود بارش دو ماهه (نسبت به بلندمدت) به‌صورت متوالی رخ دهد، خشکسالی پوشش گیاهی افزایش قابل‌توجهی می‌یابد. بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۱ که خشکسالی شدید رخ داده است از هفته ۱۳ خشکسالی آغاز شده و در هفته‌های بعدازآن میزان خشکسالی تشدید شده است.

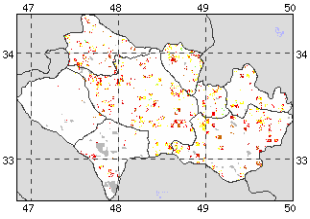
جدول ٥- میانگین هفتگی شاخص‌های پوشش گیاهی در استان لرستان

Table 5- Weekly average of vegetation indices in Lorestan province

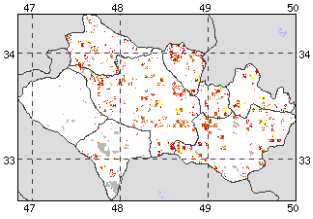
Year	Week	NDVI	VCI	TCI	VHI	Year	Week	NDVI	VCI	TCI	VHI
2013	13	212.0	42.71	12.22	77.46	2015	13	229.0	35.81	94.30	15.56
2013	14	222.0	33.68	33.27	83.47	2015	14	244.0	14.80	83.34	49.57
2013	15	229.0	03.65	86.32	94.48	2015	15	253.0	47.78	55.33	01.56
2013	16	232.0	9.60	97.40	93.50	2015	16	258.0	6.75	49.29	55.52
2013	17	234.0	59.56	57.47	08.52	2015	17	257.0	88.70	59.27	24.49
2013	18	233.0	97.52	89.53	43.53	2015	18	251.0	82.64	666.27	24.46
2013	19	231.0	76.49	95.58	36.54	2015	19	243.0	56.58	88.26	72.42
2013	20	226.0	04.47	82.61	43.54	2015	20	233.0	06.53	99.26	03.40
2013	21	22.0	31.45	88.58	1.52	2015	21	222.0	13.47	67.27	4.37
2013	22	213.0	31.44	4.55	86.49	2015	22	209.0	79.41	59.28	19.35
2013	23	203.0	26.44	75.50	5.47	2015	23	198.0	15.39	98.28	06.34
2013	24	191.0	32.42	41.48	37.45	2015	24	186.0	24.37	41.30	83.33
2013	25	18.0	17.41	5.43	34.42	2015	25	174.0	17.35	86.34	02.35
2013	26	17.0	98.41	27.37	63.39	2015	26	164.0	92.33	13.40	03.37
2014	13	2.0	92.65	34.38	13.52	2016	13	238.0	21.86	13.43	67.64
2014	14	215.0	71.65	45.41	58.53	2016	14	251.0	75.84	49	87.66
2014	15	229.0	74.66	58.42	66.54	2016	15	262.0	93.83	03.53	48.68
2014	16	242.0	57.68	66.40	62.54	2016	16	27.0	37.83	69.54	03.69
2014	17	251.0	88.68	27.38	57.53	2016	17	274.0	68.81	16.57	42.69
2014	18	252.0	47.67	49.38	98.52	2016	18	274.0	76.79	84.59	8.69
2014	19	249.0	72.64	9.39	32.52	2016	19	27.0	25.77	67.60	96.68
2014	20	241.0	49.59	85.45	68.52	2016	20	263.0	86.74	34.60	6.67
2014	21	228.0	34.53	59.51	47.52	2016	21	251.0	45.71	43.59	44.65
2014	22	217.0	27.49	54.53	41.51	2016	22	24.0	66.69	29.61	47.65
2014	23	204.0	69.45	95.51	82.48	2016	23	226.0	85.66	59.61	22.64
2014	24	191.0	47.43	07.50	77.46	2016	24	21.0	24.63	11.62	67.62
2014	25	179.0	35.41	71.49	53.45	2016	25	194.0	39.58	22.63	81.60
2017	13	162.0	25.46	85.43	05.45	2019	13	201.0	88.65	77.64	33.65
2017	14	179.0	54.46	34.47	94.46	2019	14	218.0	93.66	93.68	93.67
2017	15	194.0	92.47	71.46	32.47	2019	15	235.0	76.69	04.72	9.70
2017	16	209.0	87.49	86.44	37.47	2019	16	248.0	69.71	63.71	66.71
2017	17	222.0	87.51	42.42	14.47	2019	17	257.0	9.72	09.68	5.70
2017	18	231.0	1.53	55.41	33.47	2019	18	262.0	48.73	33.64	41.69
2017	19	236.0	86.54	24.38	56.46	2019	19	262.0	51.73	77.63	65.68
2017	20	237.0	06.56	32.35	7.45	2019	20	257.0	04.72	51.65	79.68
2017	21	232.0	36.55	66.36	02.46	2019	21	249.0	59.70	43.63	02.67
2017	22	22.50	55.56	07.36	31.46	2019	22	239.0	34.70	97.58	66.64
2017	23	217.0	78.57	4.33	59.49	2019	23	228.0	65.69	01.56	83.62
2017	24	203.0	51.55	33.37	42.46	2019	24	215.0	02.69	88.53	45.61

2017	25	19.0	65.53	88.38	26.46	2019	25	203.0	89.67	15.52	02.60
2017	26	179.0	62.52	71.38	66.45	2019	26	19.0	26.66	21.51	74.58
2018	13	207.0	69.69	02.33	35.51	2020	13	212.0	79.72	86.45	33.59
2018	14	22.0	98.67	71.41	85.54	2020	14	229.0	03.73	22.49	12.61
2018	15	229.0	13.67	37.49	25.58	2020	15	24.0	92.72	77.51	35.62
2018	16	237.0	09.65	54.58	81.61	2020	16	25.0	82.72	97.52	89.62
2018	17	242.0	18.63	01.67	1.65	2020	17	257.0	56.72	48.52	52.62
2018	18	244.0	63.61	94.71	78.66	2020	18	26.0	81.71	23.51	52.61
2018	19	244.0	04.60	89.75	97.67	2020	19	258.0	05.70	27.49	67.59
2018	20	242.0	13.59	17.78	65.58	2020	20	252.0	68.67	94.47	82.57
2018	21	237.0	2.59	42.76	81.67	2020	21	243.0	79.64	87.45	34.55
2018	22	231.0	75.60	68.75	21.68	2020	22	232.0	1.63	16.45	13.54
2018	23	222.0	96.61	45.72	18.67	2020	23	221.0	73.62	74.45	23.54
2018	24	21.0	69.61	32.68	01.65	2020	24	209.0	93.61	11.47	52.54
2018	25	197.1	62.59	2.65	41.62	2020	25	196.0	81.60	65.48	73.54
2018	26	183.0	07.56	92.63	60	2020	26	186.0	66.60	67.50	66.55
2021	13	212.0	29.73	98.17	64.45	2021	20	215.0	94.40	98.8	96.24
2021	14	225.0	35.71	01.16	68.43	2021	21	207.0	68.36	05.9	87.22
2021	15	232.0	63.68	83.13	23.41	2021	22	2.0	04.35	23.9	14.22
2021	16	235.0	4.64	11	7.37	2021	23	192.0	83.34	11.10	47.22
2021	17	234.0	28.59	29.8	79.33	2021	24	184.0	13.36	67.11	9.23
2021	18	23.0	16.53	26.8	71.30	2021	25	176.0	72.73	43.14	08.26
2021	19	222.0	5.46	57.8	45.27	2021	26	169.0	96.40	77.20	87.30

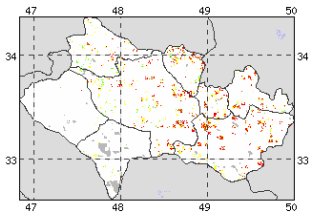
بر اساس (اشکال ۷ و ۸) که تغییرات پوشش گیاهی را در هفته‌های ٤، ۸ و هفته پایانی هرسال را نشان می‌دهد، می‌توان بیان نمود، در دوره موردمطالعه درجه خشکسالی پوشش گیاهی در هرسال با سال دیگر متفاوت است. از نظر تغییرات مکانی درجه شدت خشکسالی در هر منطقه‌ای از سطح استان رخ داده است. شدت خشکسالی و گسترده آن در هفته‌های ۸ و ۵۲ سال ۲۰۱۵ رخ داده و شدیدترین شدت و نیز وسیع‌ترین خشکسالی در هفته‌های ۸ و ۵۲ سال ۲۰۲۱ رخ داده است. خروجی حاصل از تغییرات خشکسالی نشان داد که در انتهای ماه ژانویه چنانچه پوشش گیاهی با خشکسالی روبه‌رو بوده در هفته‌های بعد باز پوشش گیاهی هرچند با افزایش بارش دریافتی، تغییری زیادی در خشکسالی پوشش گیاهی حاصل نشده است و خشکسالی ادامه یافته است.



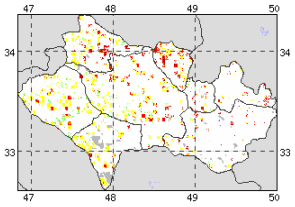
2014(week4)



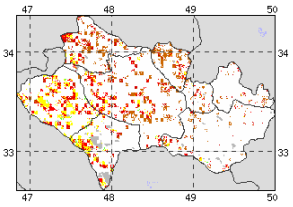
2014(week8)



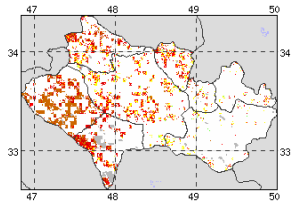
2014 (week52)



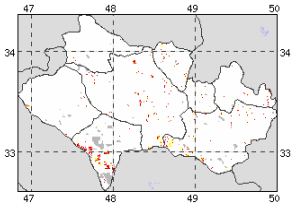
2015(week4)



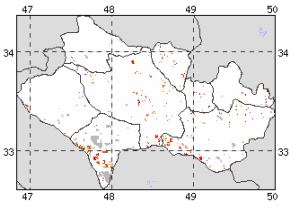
2015 (week8)



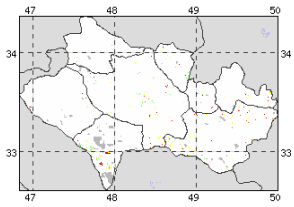
2015(week52)



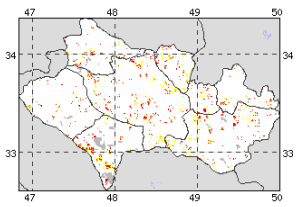
2016(week4)



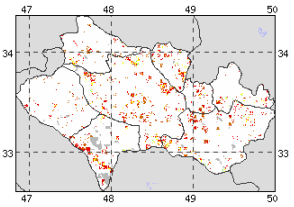
2016 (week8)



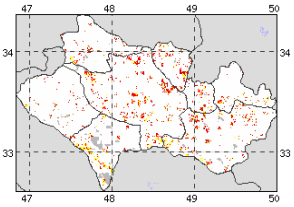
2016 (week52)



2017 (week4)



2017 (week8)

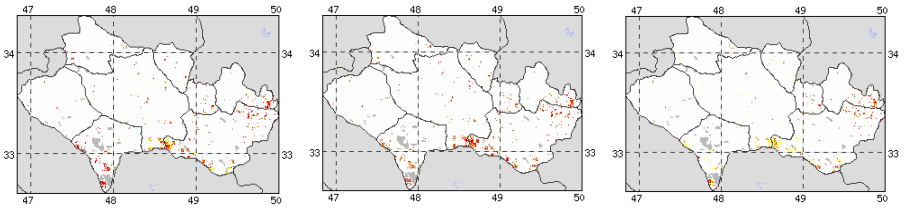


2017 (week52)

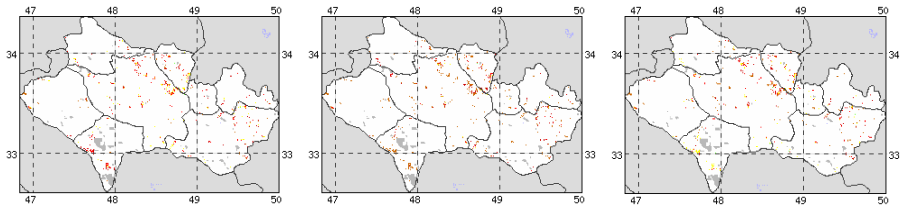
شکل ۷- تغییرات درجات خشکسالی پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig.7. Changes in vegetation drought degrees in Lorestan province

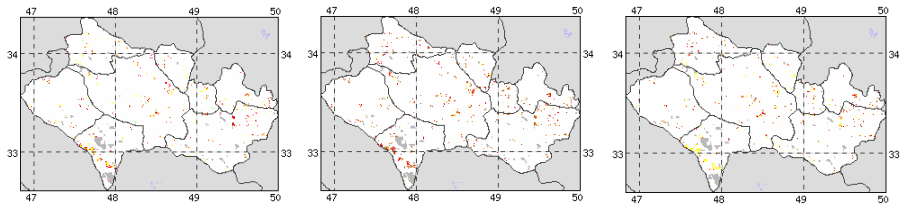
با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده سالانه شاخصVHI (شکل ۹) بیانگر خشکسالی شدید در بیشتر مناطق جنوبی، شرقی و شمال شرقی استان است. به‌گونه‌ای که میانگین این شاخص ۲۰۲۱ کمترین میزان را داشته است. در قسمت‌های زیادی از منطقه موردمطالعه در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ میزان این شاخص در پایین‌ترین میزان خود قرار داشته است. وضعیت مساعد این شاخص در سال در ۲۰۱۶ وضعیت غیر مساعد آن در سال ۲۰۲۱ مشاهده‌شده است.



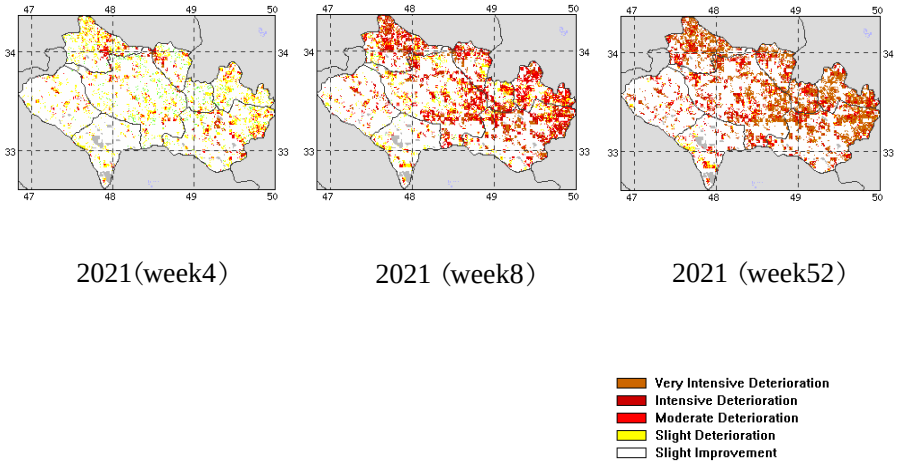
2018 (week4) 2018 (week8) 2018 (week52)



2019(week4) 2019 (week8) 2019 (week52)

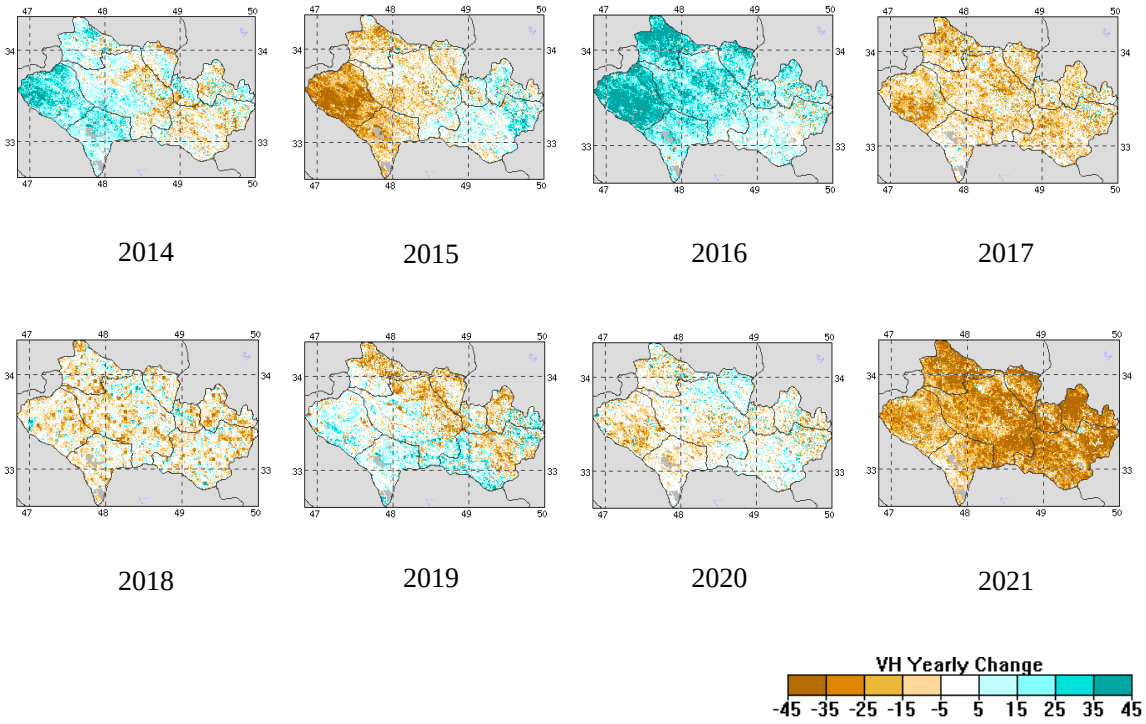


2020(week4) 2020 (week8) 2020 (week52)



شکل ۸- تغییرات درجات خشکسالی پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 8. Changes in the degree of drought of vegetation in Lorestan province

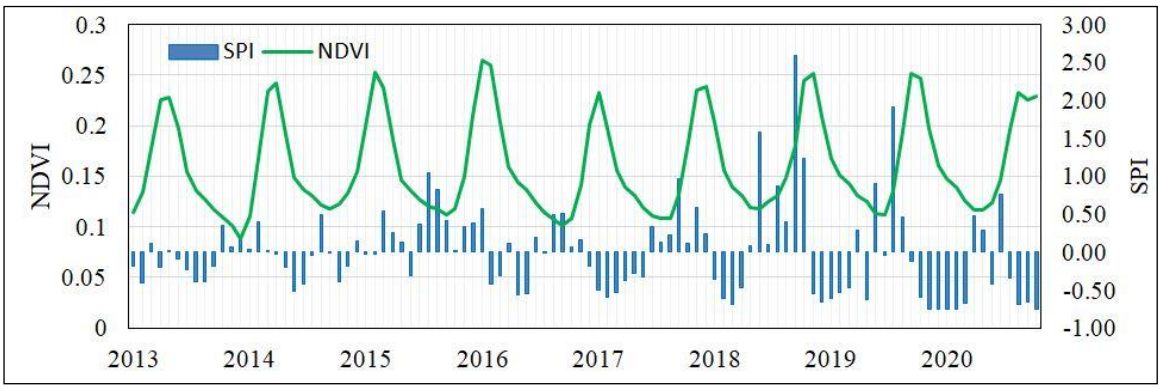


شکل ۹- تغییرات سالانه شاخص سلامت پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 9. Annual changes of vegetation health index in Lorestan province

به‌طورکلی تشخیص زمان آغاز و پایان خشکسالی مسئله بسیار مشکلی است. اصولاً تشخیص زمان خشکسالی به تعریف مورداستفاده و نوع خشکسالی وابسته است. آغاز خشکسالی زمانی است که ذخیره رطوبتی چه در محیط خاک (خشکسالی کشاورزی) و چه در مخازن آبی (خشکسالی آب‌های سطحی و زیرزمینی) خاتمه یافته باشد. در امر کشاورزی، پایان خشکسالی زمانی است که نزول باران، رطوبت موردنیاز خاک را تأمین نماید و از نظر مباحث هیدرولوژیکی زمانی که جریان رودخانه مجدداً برقرار شده و مخازن زیرزمینی مجدداً تغذیه شوند، پایان خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. زمان آغاز تا پایان خشکسالی به‌عنوان دوره تداوم خشکسالی نامیده می‌شود. هر چه قدر میزان بارندگی نسبت به شرایط متوسط کمتر باشد، به همان اندازه میزان تأثیر خشکسالی بیشتر نمایان می‌گردد. میزان استمرار حالت خشکسالی در یک منطقه نیز گویای شدت خشکسالی در همان منطقه است یعنی در شرایطی که خشکسالی تنها برای یک ماه استمرار داشته باشد احتمال دارد بارش ماه بعد میزان کمبود ماه مزبور را جبران نماید. ولی اگر ماه بعدی نیز خود نسبت به شرایط طبیعی کمبود داشته باشد به‌مراتب در شدت بخشیدن به حالت خشکسالی مؤثر خواهد بود (Lashni Zand, 2003). جهت محاسبه شاخص SPI از آمار بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان استفاده گردید. به‌منظور محاسبه و تحلیل آماری هر یک از شاخص‌های NDVI،TCI، VCI و VHI و ترسیم نمودار همبستگی و مقایسه با شاخص استاندارد بارش به‌صورت عددی استخراج شدند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص استاندارد بارش و ارقام مربوط به هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در مرحله بعد مدل رگریسیونی سطح اطمینان ۹۵ درصد ترسیم گردید (شکل ۱۰) نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه موردمطالعه در ماه‌های آوریل، می و ژوئن در سال ۲۰۲۱ است. به‌طورکلی در دوره موردمطالعه میزان شاخص SPI در ماه‌های ژولای، اوت و سپتامبر منفی است که نشان‌دهنده خشکسالی است. میانگین شاخصSPI در سال ۲۰۱۵ در ژوئن، ژولای و اوت مثبت است. ماه اوت خشک‌ترین ماه از نظر بارش در استان لرستان بر اساس شاخص SPI است. در ۲۰۱۵ میانگین SPI در اکثر ماه‌های سال مثبت است که این امر در افزایش مقادیر شاخص NDVI در سال ۲۰۱۶ به‌خوبی قابل‌مشاهده است. به‌طورکلی نمودار شاخصSPI در سال‌های اخیر در اکثر ماه‌ها منفی بوده

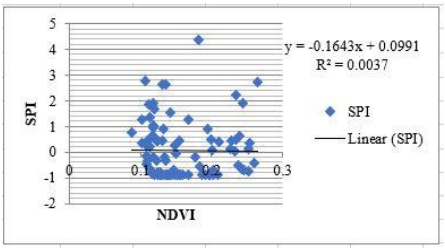
است. مثبت و منفی شاخص استاندارد بارش به ترتیب بیانگر شرایط ترسالی و خشکسالی بارش است. کمبود بارش در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به‌صورت پیوسته ادامه داشته است.

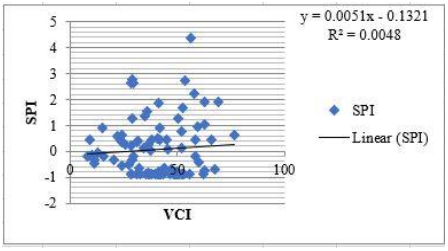


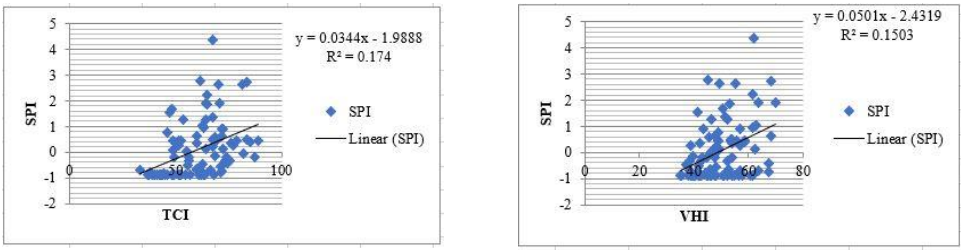
شکل ۱۰- نمودار سری زمانی میانگین ماهانه (ژانویه تا دسامبر) شاخص NDVI و SPI در استان لرستان

Fig.10. Monthly average time series graph (January to December) of NDVI and SPI index in Lorestan province

به‌منظور تفسیر بهتر شرایط بارشی و شاخص NDVI نمودار ترکیبی آن ترسیم گردید. میزان شاخصSPI در ماه‌های گرم سال منفی بوده و بیانگر خشکسالی بارش است. در سال ۲۰۱۹ بارش دریافتی در شرایط عادی قرار داشته است. کمترین میزان این شاخص در سال ۲۰۲۱ است. برای یافتن ارتباط بین شاخص SPI و هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی ضریب همبستگی آن محاسبه گردید. طبق نتایج حاصل شده می‌توان گفت که میزان همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، VCI، TCIو VHI به ترتیب ۰/۰۰۳۷، ۰/۰۰٤۸، ۰/۱۷٤ و ۰/۱۵۰ است (شکل ۱۱).



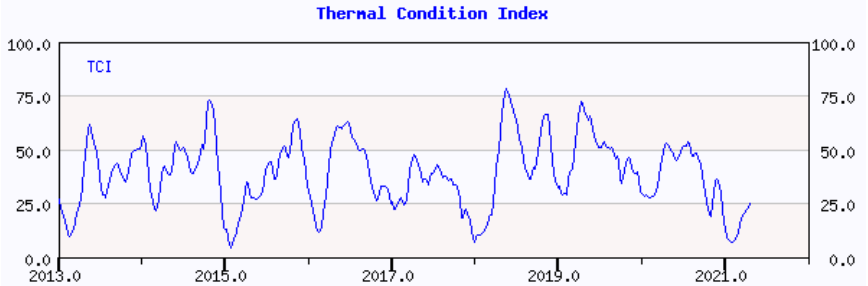


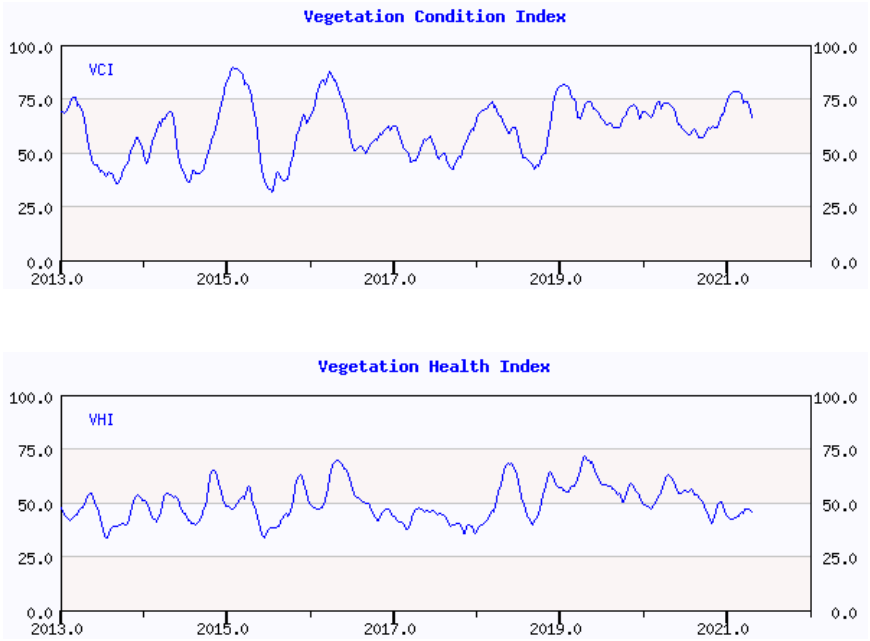


شکل ۱۱- نمودار همبستگی SPI با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی در استان لرستان

Fig. 11. Correlation diagram of SPI with each vegetation index in Lorestan province

مطابق (شکل ۱۲) که سری زمانی شاخص TCI را نشان می‌دهد، این شاخص دارای افت‌وخیز زیادی است. در سال‌های ۲۰۱۵،۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ کمترین میزان نوسان را نشان می‌دهد. در اواسط سال ۲۰۱۸ مقدار این شاخص در بازه‌ی ۷۵ قرار داشته است. روند این شاخص نشانگر آن است که در هفته‌های اولیه هرسال این شاخص روندی افزایشی داشته و در هفته‌های پایانی هرسال روند آن سیر نزولی به خود می‌گیرد. روند نزولی آن سیر خشکسالی این شاخص را اثبات می‌نماید. دلیل این امر پایان دوره بارش و کمبود بارش است. بر اساس نمودار میانگین هفتگی شاخصVCI ملاحظه می‌گردد که سری زمانی میانگین هفتگی شاخص VCI در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ روندی صعودی است و به میزان ۷۵ و حتی بالاتر از آن افزایش یافته است. این روند در سال‌های ۲۰۱٤،۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ کمترین میزان را داشته و خشک‌ترین زمان این شاخص در اواسط ۲۰۱۵ رخ‌داده است.



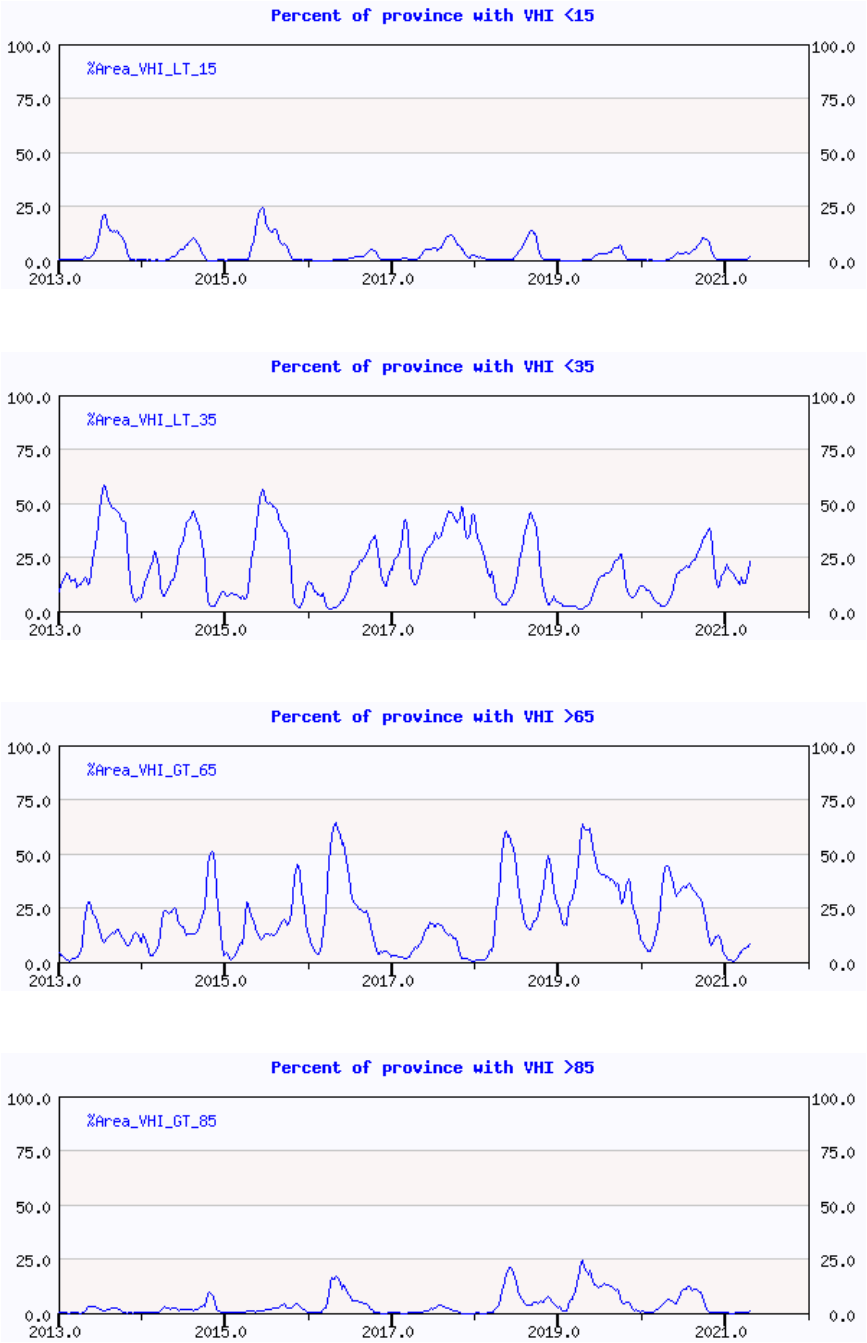


شکل ۱۲- میانگین هفتگی هر یک از شاخص‌های موردمطالعه در استان لرستان

Fig. 12. Weekly average of each of the studied indicators in Lorestan province

طبق (شکل ۱۳) میانگین هفتگی شاخص VHI در بازه‌های مختلف را نشان می‌دهد. در بازه کمتر از ۱۵ ملاحظه می‌گردد که در اواسط سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ روند این شاخص افزایشی بوده و در سال‌های دیگر این روند تقریباً ثابت و دارای افت‌وخیز کمتری است. در بازه کمتر از ۳۵ این روند در اواسط ۲۰۱۳ اواخر ۲۰۱۵ و در ۲۰۲۱ روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده شرایط خشکسالی ملایم به شدید است. در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ این روند به کمترین مقادیر در این بازه رسیده و شرایط عادی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. در بازه بیشتر از ٦٥ در سال‌های ۲۰۱٦، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به بیشترین میزان خود رسیده است. به‌عبارت‌دیگر در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱٤ و ۲۰۲۱ این شاخص در شرایط خشکسالی و تقریباً در بازه صفر قرار گرفته است. در بازه مقادیر بالاتر از ۸۵ در سال‌های ۲۰۱٦، اواسط ۲۰۱۸،۲۰۱۹ به میزان ۲۵ درصد رسیده و در سال‌های ۲۰۱۳،۲۰۱٤، ۲۰۱۵،۲۰۱٦، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ در کمترین حد خود قرار دارد. این شاخص تنها در سال ۲۰۱۹ به

بالاترین میزان خود صعود کرده که نشان‌دهنده شرایط ترسالی و عادی پوشش گیاهی این شاخص در منطقه مطالعاتی است.



شکل ۱۳- میانگین هفتگی شاخص VHI استان لرستان

Fig. 13. Weekly average of VHI index of Lorestan province

٤-نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی هر منطقه است که به‌سرعت نسبت به شرایط بارش دریافتی واکنش نشان می‌دهد. درک صحیح و کسب اطلاعات دربارهٔ وضعیت پوشش گیاهی از قبیل شرایط نرمال و یا خشکسالی رخ‌داده در هر مکانی از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزار مناسبی جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک ازجمله استان لرستان است، استفاده از روش سنجش‌ازدور توانایی خوبی در بررسی پوشش گیاهی و امکان دسترسی چند زمانه و با هزینه نسبت اندک، امکان پایش مداوم پوشش گیاهی و مقایسه آن‌ها را با زمان گذشته امکان‌پذیر می‌نماید. شرایط عادی و تنش پوشش گیاهی هر منطقه‌ای، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، به شرایط محیطی حاکم بر آن منطقه وابستگی زیادی دارد و دارای پاسخ سریع به تغییرات شرایط اقلیمی است؛ به‌طوری‌که مقدار اندکی از نزولات جوّی باعث رشد سریع و همچنین شادابی مضاعف آن‌ها می‌شود. واکنش‌های پوشش گیاهی در چنین مناطقی به‌صورت تغییر در فراوانی و شادابی گیاهان قابل‌مشاهده است که نتیجهٔ آن در میزان بازتابش طیفی آن‌ها مشخص می‌گردد. آنچه اهمیت استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و شاخص‌های محاسبه شده از آن را چند برابر می‌کند، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و هم‌چنین نبود نظم و تداوم در اطلاعات مستخرج از آن‌هاست؛ درحالی‌که این مشکل در داده‌های ماهواره‌ای کمتر به چشم می‌خورد. البته پایش مستمر و کارآمد خشکسالی مستلزم دسترسی منظم و دائمی به اطلاعات منطقهٔ موردمطالعه است و در حال حاضر این ویژگی‌ها در اطلاعات ماهواره‌ای وجود دارد. این امر سبب شده است در مطالعهٔ حاضر، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی، کارایی این داده‌ها در رابطه با شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. هدف از انجام این پژوهش، پایش خشکسالی استان لرستان براساس شاخص استاندارد شده بارش و شاخص‌های NDVI, VCI, TCI, VHI با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز بوده است. تصاویر مادون‌قرمز که به‌صورت میانگین هفتگی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۱۳ مورداستفاده گرفته است. بعد از محاسبه شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های خشکسالی همبستگی بین آن‌ها محاسبه گردید. مدل رگرسیونی نشان داد بین متغیرهای شاخص SPI با متغیرهای پوشش

گیاهی، همبستگی معنی‌دار و مستقیمی وجود دارد. براساس همبستگی با احتمال ۹۵ درصد اطمینان میزان ضریب همبستگی شاخص استاندارد بارش با شاخص NDVI، VCI، TCI و VHI به ترتیب ۰/۰۰۳۷، ۰/۰۰٤۸، ۰/۱۷٤ و ۰/۱۵۰ است. می‌توان گفت که با افزایش بارش و مثبت شدن شاخص SPI میزان پوشش گیاهی و هریک از شاخص‌های آن نیز افزایش می‌یابد. شاخصTCI همبستگی بیشتری با شاخص SPI دارد. تجزیه‌وتحلیل بارش نشان داد ماه‌های ژولای، اوت و سپتامبر در استان لرستان بسیار خشک و مقادیر شاخص استاندارد بارش به‌صورت منفی است. نمودار گرافیکی شاخص NDVI و SPI نشان داد که تغییرات زمانی بارش و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی با یکدیگر همخوانی دارند. نتایج این نوشتار نشان می‌دهد بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه شاخص TCI است. در سال‌های ۲۰۱۳،۲۰۱۵ بیشترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در مناطق غربی و مرکزی استان لرستان رخ‌داده و در ۲۰۲۱ شدیدترین شدت خشکسالی پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه به وقوع پیوسته است. تجزیه‌وتحلیل بارش ایستگاه‌های سینوپتیک نشان داد که در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و شرقی استان کمترین بارش را داشتند. تصاویر هریک از شاخص‌های موردمطالعه، تنش در پوشش گیاهی مناطق جنوبی و شرقی محدوده مطالعاتی را اثبات کرد. نتایج حاصل از این نوشتار نشان می‌دهد، بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش خشکسالی SPI و TCI است. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که خشکسالی ارتباط معناداری با تغییرات پوشش گیاهی در طول موردمطالعه داشته است.

References

Akbari, M. (2003). *Evaluation and classification of desertification using RS and GIS techniques in the arid region of northern Isfahan*. Master's thesis, Isfahan University. [In Persian]

Berhan, G., Hill, S., Tadesse, T., Atnafu, S. (2011). Using satellite images for drought monitoring: a knowledge discovery approach. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability, 7*(1), 135-153.

Bhalme, H. N., Reddy, R. S., Mooley, D. A., & Ramana Murty, B. V. (1981). Solar activity and Indian weather/climate. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Earth and Planetary Sciences, 90*, 245-262. https://doi.org/10.1007/BF03029206

Bhuiyan, C. (2008). Desert vegetation during droughts: response and sensitivity. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37*, 907-912.

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, *77*(1), 22-33. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2

Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszczynska, M., & Kowalik, W. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, *23*(6), 1109-1123. https://doi.org/10.1080/01431160110070744

Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, *171*(3977), 1212-1217. https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212

Gao, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, *58*(3), 257-266. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

Ghulam, A., Li, Z., Qin, Q., & Tong, Q. (2007). Exploration of the spectral space based on vegetation index and albedo for surface drought estimation. *Journal of Applied Remote Sensing*, *1*(1), 013529. https://doi.org/10.1117/1.2784792

Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*, *62*(3), 282-292. https://www.jstor.org/stable/27844882

Hollinger, S. E., Isard, S. A., & Welford, M. R. (1993). A new soil moisture drought index for predicting crop yields. In *Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, USA: American Meteorological Society*, 187-190.

Hui, C. (2006). Carrying capacity, population equilibrium, and environment's maximal load. *Ecological Modelling*, *192*(1-2), 317-320. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.001

Hunt Jr, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, *30*(1), 43-54. https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1

Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. New Jersey: Prentice Hall. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20001911540

Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *76*(5), 655-668. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076%3C0655:DOTLIT%3E2.0.CO;2

Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *78*(4), 621-636. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078%3C0621:GDWFS%3E2.0.CO;2

Kogan, F. N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, 75-87. https://www.researchgate.net/publication/253598539

Lashni Zand, M. (2003). Investigating the intensity, continuity, and frequency of climatic droughts in six basins located in the west and northwest of the country. In *Proceedings of the 3rd Regional Conference on Climate Change*. [In Persian] https://civilica.com/doc/12486/

Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, *7*(11), 2636-2651. https://doi.org/10.3390/s7112636

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, *17*(22), 179-183.

Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, *133*(1-4), 69-88. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.012

Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. US. *Weather Bureau Res. Paper*, *45*, 1-58.

Peters, D. P. (2002). Plant species dominance at a grassland-shrubland ecoton: an individual based gap dynamics model of herbaceous and woody species. *Ecological Modeling*, *152*(1), 5-32. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00460-4

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(9), 503-510. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011

Roswintiarti, O., Oarwati, S., & Anggraini, N. (2010). Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island. *Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype*, 121-135.

Shafer, B. A., & Dezman, L. E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO*, 164–175.

Tadesse, T., Brown, J. F., & Hayes, M. J. (2005). A new approach for predicting drought-related vegetation stress: Integrating satellite, climate, and biophysical data over the US central plains. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *59*(4), 244-253. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.02.003

Tucker, C. J., & Sellers, P. J. (1986). Satellite remote sensing of primary vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, *7*(11), 1395–1416. http://dx.doi.org/10.1080/01431168608948944

Van-Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomally index (RAI), independent of time and space, Notos, 14, 43-48.

Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(1), 61-72. https://doi.org/10.1080/0143116031000115328

Weghorst, K. (1996). The Reclamation Drought Index: guidelines and practical applications. In *North American Water and Environment Congress & Destructive Water,* ASCE, 637-342.

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, *10*(3), 111-120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.280-309 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83713.1401 Open access

Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province

Mansoureh Kouhi[a], Ebrahim Asadi Oskouei[a*]

[a] *Assistant Professor, RIMAS, Climatological Research Institute, Mashhad, Iran.*

Received: 1 August 2023 ***Revised: 20 November 2023*** ***Accepted: 4 December 2023***

Abstract

Climate change has significant negative impacts on various human activities. With the anticipated intensification of climate hazards due to these changes, it is essential to develop climate-resilient sectors to mitigate associated risks. Effective climate risk management requires strategies that identify patterns of climate hazards to support informed decision-making. Policymakers, researchers, and the general public can benefit from climate-related hazard atlases, which provide critical information to better understand risks and implement measures to reduce the impacts of these hazards on human health, agriculture, and other sectors.

Qazvin Province, located in northwestern Iran, is particularly vulnerable to atmospheric and climate-related hazards such as frost, drought, heat waves, cold waves, dust storms, air pollution, and flooding. The occurrence of such climate disasters in Qazvin underscores the importance of disaster risk reduction and climate adaptation measures. This study utilized daily maximum and minimum temperature data from the ERA5-Land dataset for the period 1991–2020. The ERA5-Land dataset, with a spatial resolution of 0.1 degrees and a temporal resolution of 1 hour, served as the foundation for analyzing temperature extremes. The Climpact project was employed to calculate climate-related hazard indices and demonstrate their spatial patterns across Qazvin Province. Additionally, composite maps of extreme events, land use, and population distribution were generated to aid in interpreting the results. The spatial analysis revealed that the northeastern region of Qazvin Province is a frequent hazard zone, experiencing a high number of icy days annually, ranging from 100 to 130 days. In contrast, the central part of the province registers the highest temperatures, with an annual average exceeding 50 hot days.

The multi-hazard map demonstrated that the central part of Qazvin Province is simultaneously affected by multiple climate-related hazards. This area, characterized by concentrated population and economic activities, faces amplified climate-related socioeconomic risks, highlighting the urgent need for targeted adaptation and risk reduction strategies.

Keywords: Climate Change Impacts, Climate Hazard Assessment, Disaster Risk Reduction, Climate Adaptation Strategies, Multi-Hazard Mapping, Socioeconomic Vulnerability.

[*] .Corresponding author: Ebrahim Asadi Oskouei Email: e.asadi.o@gmail.com Tel:+989113312757

How to cite this Article: Kouhi, M., & Asadi Oskouei, E. (2024). Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province**.** *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 280-309.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۰۹-۲۸۰

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83713.1401 دسترسی آزاد

شناخت الگوهای مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین

منصوره کوهی– استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

ابراهیم اسعدی اسکویی[1] – استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، ایران.

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۵/۱۰ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۲۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۱۳**

چکیده

مخاطرات اقلیمی به‌ویژه انواع دمایی آن، دارای اثرات منفی بر بخش‌های مختلف فعالیت‌های بشر هستند. ازآنجایی‌که انتظار می‌رود تغییرات اقلیمی منجر به تشدید فراوانی، شدت و مدت مخاطرات اقلیمی شود؛ لذا ضروری است استراتژی‌هایی همچون استخراج الگوهای مخاطرات اقلیمی به‌منظور افزایش تاب‌آوری مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی در برابر تغییر اقلیم و افزایش رخدادهای فرین و سازگاری با این رویدادها، مدنظر تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد. استان قزوین با توجه به موقعیت جغرافیایی، وسعت کم، توپوگرافی خاص و شرایط اقلیمی متنوع، هرساله شاهد وقوع پدیده‌های مخرب جوی در فصول مختلف می‌باشد که خسارات جانی و مالی زیادی را در بخش‌های مختلف همچون کشاورزی به همراه داشته است.

در این پژوهش، داده‌های شبکه‌ای دمای بازتحلیل ERA5-Land با قدرت تفکیک مکانی ۹ کیلومتر طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ برای بررسی توزیع مکانی نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی دمایی سرد و گرم شامل روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخی (ID) ، شب‌های حاره‌ای (TR) ، نمایه طول دوره گرما (WSDI) و سرما (CSDI) و روزهایی با دمای بیشینه بیش از ۳۵ °C (TXge35) استفاده و نقشه مخاطرات چندگانه تهیه شد.

بررسی‌ها نشان داد منطقه مرکزی استان قزوین در معرض چندین نوع خطر (FD،CSDI،TXge35 و TR) به‌طور هم‌زمان قرار دارد که با توجه به تراکم جمعیت شهری و روستایی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در این ناحیه، انتظار می‌رود ریسک‌های اقتصادی–اجتماعی مرتبط با مخاطرات اقلیمی در این ناحیه شدت یابد.

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۳۱۲۷۵۷

Email: e.asadi.o@gmail.com

کلیدواژه‌ها: تأثیرات تغییر اقلیم، ارزیابی مخاطرات اقلیمی، کاهش خطر بلایا،راهبردهای سازگاری با اقلیم،نقشه‌برداری چندمخاطره‌ای،آسیب‌پذیری اجتماعی–اقتصادی.

۱- مقدمه

از ٤٠ بلای طبیعی در دنیا، ۳۱ مورد آن در ایران اتفاق می‌افتد؛ به‌طوری‌که طی سال‌های ۲۰۱۹–۱۹۷۰ در پایگاه داده رویدادهای اضطراری مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی (CRED[1] ,2018) ، ۹۳ مورد گزارش بلایای جوی از ایران ثبت شده است که به‌طور متوسط ٦۰۰۰ نفر تلفات جانی و ۳۳ میلیارد دلار خسارت اقتصادی به همراه داشته است. این امر به دلیل قرارگیری کشور در عرض‌های میانی است که از وقوع مخاطرات جوی بی‌نصیب نخواهد بود. دراین‌بین، استان قزوین با توجه به موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی خاص و شرایط اقلیمی متنوع، همواره با مخاطرات محیطی همچون زلزله، سیل، خشکسالی و یخبندان (Soltani, Alaedini, Shamspour & Ahmadi Marzaleh, 2021) روبرو بوده که زمان رخداد هرکدام، خسارات عمده‌ای به بخش‌های شهری، کشاورزی، صنعت و ... وارد آمده است (شکل ۱).

فرین‌های سرد و گرم جزو مهم‌ترین مخاطرات مرتبط با اقلیم برای بسیاری از فعالیت‌های بشری ازجمله سلامت، کشاورزی، حمل‌ونقل و انرژی محسوب می‌شوند. فرین‌هایی دمایی در هر دو انتهای نمودار توزیع دما به‌عنوان عوامل ریسک سلامت جهانی هستند (Lancet, 2021). به‌عنوان‌مثال در سال ۲۰۱۹، ۱/۷ میلیون مرگ‌ومیر در سراسر جهان به دلیل دماهای غیرعادی رخ داد و ۳٥٦۰۰۰ از این مرگ‌ومیرها مرتبط با دماهای بالا بوده‌اند. فرین‌های سرد و گرم می‌توانند منجر به اثراتی مانند افزایش یا کاهش عوارض و مرگ‌ومیر، تشدید بیماری‌های زمینه‌ای و اثرات بر تولید کشاورزی و درنتیجه کاهش رشد اقتصادی گردند (Burke, Hsiang & Miguel, 2015).

[1] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

در زمینه علم مدیریت خطرپذیری[1] سه تعریف مخاطره، بلیه و خطرپذیری یا ریسک وجود دارد. دانشمندان در زمینه مدیریت خطرپذیری بر طبقه‌بندی الگوهای مکانی و زمانی و علل مخاطرات متمرکز هستند (Shi, 2019). بر اساس تعریف آژانس بین‌المللی ملل متحد در کاهش بلایا (UNISDR)[2]، مخاطره[3] عبارت است از فرآیند یا پدیده طبیعی که ممکن است (به‌طور بالقوه) اثرات منفی بر اقتصاد، جامعه و اکولوژی داشته باشند که شامل هم عوامل طبیعی و هم عوامل انسانی (مرتبط با عوامل طبیعی) می‌باشد. مخاطرات، منشأ بلایا[4] محسوب می‌شوند. این رویدادها برای توسعه جوامع انسانی مخرب هستند (Shi, 2019). بلایا، نتایج مستقیم یا غیرمستقیم مخاطرات محسوب می‌شوند. اثرات بلایا عبارت است از تلفات انسانی، تخریب اموال، تخریب منابع و محیط‌زیست، آسیب‌های زیست‌محیطی، برهم زدن نظم اجتماعی و تهدیدهایی برای عملکرد عادی خطوط حیاتی و خطوط تولید. خطرپذیری یا ریسک به‌صورت احتمال خسارات ناشی از بلیه در دوره زمانی آینده در یک منطقه تعریف شده است.

اگرچه نمی‌توان از رخداد بلایا به‌ویژه انواع طبیعی آن جلوگیری کرد اما با ارزیابی و برنامه‌ریزی می‌توان اثرات مخرب و صدمات ناشی از این رویدادها را کاهش داد. در این راستا، مدیریت بلایا به دلیل پیامدهای اقتصادی و اجتماعی، یکی از امیدبخش‌ترین زمینه‌های پژوهشی در این زمینه محسوب می‌شود (Kaur & Sood, 2019).

ازآنجایی‌که مدیریت مخاطرات و بلایا به‌طور مستقیم به ترسیم نقشه بستگی دارد (Siteva & Marinova, 2021)؛ بنابراین نخستین گام جهت تعدیل اثرات مخاطرات جوی، شناسایی توزیع فضایی آن است. تاکنون تحقیقات فراوانی در زمینه نحوه توزیع مکانی بلایای جوی صورت گرفته که در ادامه به برخی از موارد داخلی و برون‌مرزی اشاره می‌شود. تحقیق نظام‌مند درباره بلایای طبیعی با پژوهش‌های گیلبرت وایت (۱۹۴۵-۱۹۹۳) آغاز شد. در ادامه کارهایی در سطح منطقه، کشور یا محل خاص انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های استرلینگ (Easterling ,1989) در پهنه‌بندی مناطق مختلف امریکا برای وقوع

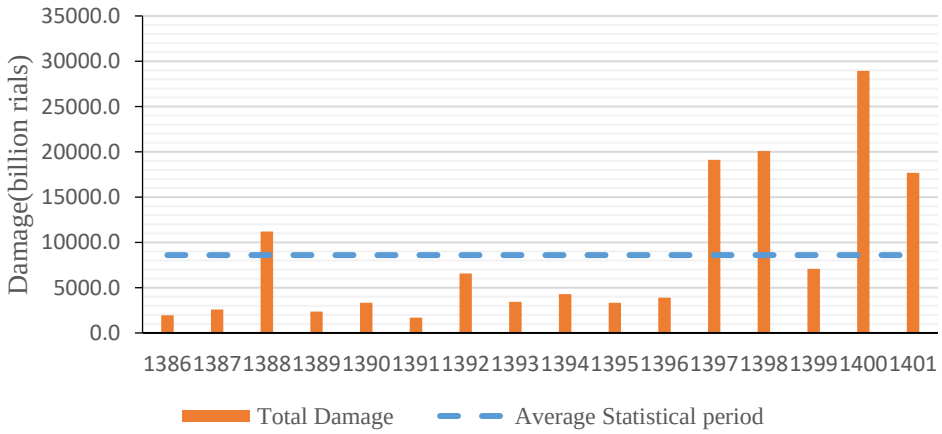
[1] Risk
[2] The United Nations International Strategy for Disaster Reduction
[3] Hazard
[4] Disaster

توفان تندری، کاپریو(Caprio, 1999)در تحلیل مکانی یخبندان و نحوه تهیه و تحلیل نقشه‌های آن، انگلستدلر Englestedler (2001) در پهنه‌بندی مکانی فراوانی وقوع گردوغبارهای جهان، اتکین و بورن(Etkin & Brun, 2001) در بررسی توزیع مکانی بارش تگرگ در کانادا، آل مرجانی و همکاران(El Morjani, Ebener, Boos, Abdel Ghaffar & Musani, 2007) در بررسی توزیع فضایی ۵ مخاطره طبیعی (سیل، زمین‌لرزه، سرعت باد، گرما و زمین‌لرزه) و تهیه اطلس ریسک مخاطرات از منظر سازمان بهداشت جهانی، ویپچ و همکاران(Wypych, Ustrnul & Henek, 2014) در تصویرسازی مخاطرات هواشناسی در راستای مقابله با بلایای جوی و ارائه الگوریتم‌های علمی برای محاسبه احتمال وقوع هر یک از پدیده‌های مخرب اشاره کرد. در پژوهشی جامع، شی و کاسپرسون(Shi & Kasperson, 2015) اقدام به انتشار کتاب خود با عنوان "اطلس جهانی ریسک بلایای طبیعی" نمودند. این اطلس با استفاده از بانک داده‌های بلایا، داده‌های مخاطرات، داده‌های شبکه‌ای دما و بارش بازتحلیل و مشاهداتی، میزان در معرض قرارگیری، داده‌های محیطی و نقشه پایه از مراکز مختلف داده جهان تهیه شد. سیتوا و مارینوا(Siteva & Marinova ,2021) در پژوهش خود، کاربرد نقشه‌برداری اطلس و فرآیند ایجاد "اطلس بلایای طبیعی مهم، در سراسر جهان، برای سال ۲۰۱۹" را موردبحث قرار دادند. نسخه‌ی تحت وب اطلس مخاطرات اقلیمی و آسیب‌پذیری هند برای ۱۳ رویداد فرین جوی شامل موج سرد، موج گرما، سیل، رعدوبرق، بارش برف، طوفان گردوغبار، طوفان تگرگ، رعدوبرق، مه، باد شدید، بارندگی شدید، خشکسالی و طوفان نیز ارائه شده است[1].

در ایران نیز تلاش‌هایی به‌منظور بررسی توزیع مکانی مخاطرات انجام شده است از آن جمله می‌توان به تهیه نقشه توزیع مکانی و زمانی گردوخاک، بررسی علل وقوع آن و مدل‌سازی آن توسط هلالی و همکاران (Helali, Asadi Oskouei, Hosseinzaheh, Kouhi & Mohammadi, 2023) اشاره کرد. مفیدی و همکاران (Mofidi, Hosseinzadeh & Mohammadyarian, 2013) با استفاده از داده‌های ۱۷ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی کشور در مقیاس روزانه و ماهانه برای یک دوره ۳۸ ساله (۲۰۰۸-۱۹۷۱)، تعداد ۱۳ مخاطره‌جوی مهم در محدوده خراسان بزرگ را موردبررسی قرار دادند و نقشه‌های فراوانی وقوع به تفکیک در سه دسته

[1] https://www.imdpune.gov.in/hazardatlas/index.html

مخاطرات دمایی، مخاطرات مرتبط با دید و مخاطرات بارشی را تهیه نمودند. درنهایت با ترکیب نتایج حاصل از بررسی تمامی مخاطرات، نقشه جامع مخاطرات جوی برای این منطقه ارائه گردید. تحلیل مکانی و زمانی بلایای جوی به‌طور خاص به‌عنوان‌مثال حمل‌ونقل جاده‌ای کشور نیز انجام شده است (Vazife dost & Laleh syah, 2013). در این پژوهش، فراوانی وقوع پدیده‌های جوی مؤثر بر حمل‌ونقل جاده‌ای در سطح بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی کل کشور شامل: بارش سنگین (بارش‌های شدیدتر از ۳۰ میلی‌متر و صدک ۹۰ ام بارش‌ها)، یخبندان (آغاز، پایان، طول دوره و فراوانی وقوع یخبندان)، طوفان تندری (سمت و سرعت و فراوانی وقوع بادهای شدید)، طوفان‌های گردوغبار (پدیده گردوغبار و ضخامت نوری آئروسل)، مه (میدان دید کمتر از ۱ کیلومتر و درصد فراوانی وقوع ابرهای کوتاه)، سیل (ضریب سیل‌خیزی حوضه) و برف و بهمن (درصد فراوانی وقوع بارش برف) با استفاده از داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های همدید و ماهواره‌های هواشناسی موردبررسی قرار گرفت. تحلیل مکانی اطلاعات و پهنه‌بندی عوامل مخاطره‌آمیز جوی با استفاده از روش‌های درون‌یابی در محیط نرم‌افزار ARCGIS صورت پذیرفت و در پایان بزرگ‌راه‌ها و راه‌های اصلی کشور از منظر وقوع بلاهای جوی و درجه خطرپذیری آن‌ها طبقه‌بندی گردید. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به پهنه‌بندی درجه خطرپذیری رخداد پدیده‌های اقلیمی مه و طوفان‌های گردوغبار در شبکه جاده‌ای کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (Behyar, 2015) اشاره کرد.



شکل ۱- میزان خسارات ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی استان قزوین برای دوره ۱۳۸٦-۱٤۰۱

Fig.1. The damages caused by weather and climate disasters in Qazvin Province for the period 2007-2022

برای استان قزوین، به‌طورکلی، بیشترین خسارت ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی به رویدادهای مربوط به سرما و یخبندان اختصاص دارد که در حدود ٦٤ درصد از میزان خسارات کل را شامل می‌شود. هلالی و همکاران (Helali, Oskouei, Hosseini, Saeidi & Modirian, 2022) نیز در بررسی تغییرات سرمازدگی و یخبندان در ایستگاه‌های منتخب ایران نشان دادند که منطقه قزوین از ریسک بالایی برای این نوع مخاطرات برخوردار است. به‌عنوان نمونه وقوع سرمازدگی در روزهای پایانی سال ۱٤۰۰ در سطح ٦ هزار و ۸۵۰ هکتار از باغات این استان، منجر به خسارت مالی (بیش از به میزان ۲۳۷ میلیارد ریال) شد. خشکسالی نیز در سال ۱٤۰۱ به ۲۰۲ هزار هکتار از اراضی زراعی این استان خسارات عمده‌ای وارد نمود. در کل، میزان خسارت ناشی از خشکسالی، طوفان و سایر بلایا تا نیمه اول این سال حدود ۸٤ درصد کل میزان خسارت ناشی از حوادث غیرمترقبه را شامل شد.

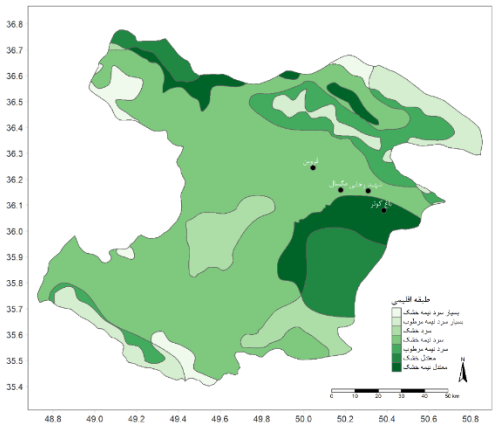
با توجه به اینکه در طراحی برنامه آمایش سرزمین که نقشه راه توسعه کشور و استان‌ها را مشخص می‌کند، پارامترهای جوی و اقلیمی نقش به‌سزایی دارند و آگاهی از پهنه‌بندی تاریخچه‌ای بلایای جوی هر استان و منطقه، می‌تواند ظرفیت‌های توسعه هر صنعت را در آن منطقه تعیین کند. بر این اساس، هدف از این پژوهش، معرفی الگویی از توزیع مکانی برخی مخاطرات دمایی استان و مقایسه و سطح بندی مخاطرات از لحاظ فراوانی، شدت، مساحت و جمعیت تحت تأثیر و همچنین ارائه نقشه یکپارچه مخاطرات دمایی استان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوضه مرکزی ایران در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی بین ′٤۳ °٤۸ تا ′۵۲ °۵۰ طول جغرافیایی و ′۲٤ °۳۵ تا ′٤۸ °۳٦ عرض جغرافیایی قرار دارد که با استان‌های مازندران، گیلان (شمال)، زنجان و همدان (غرب)، مرکزی (جنوب) و البرز (شرق) محدود می‌باشد. مساحت این استان، ۱۵٦۲٦ کیلومتر مربع است که از ٦ شهرستان، ۱۹ بخش،۲۵ شهر و ٤٦ دهستان تشکیل شده و دارای اقلیم متنوعی در

طیف خشک و نیمه خشک، سرد و معتدل، نیمه مرطوب تا مرطوب است که کاملاً از وضعیت پستی و بلندی تبعیت می‌نماید (شکل ۲).



شکل ۲- طبقه بندی اقلیمی استان قزوین و پراکنش ایستگاه‌های پراکنش مکانی ایستگاه‌ها

Fig.2. Climate classification of Qazvin Province and the spatial distribution of stations (Asadi Oskouei et al., 2022)

۲-۲-داده‌های ایستگاهی

در بین ٤٤ ایستگاه اقلیم شناسی و همدیدی با توجه به دوره‌های آماری کوتاه مدت اکثر ایستگاه‌ها، تنها دو ایستگاه همدید قزوین و ۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی مگسال، شهید رجایی و باغ کوثر دارای دوره آماری پوشش دهنده دوره نرمال ۲۰۲۰-۱۹۹۱ می‌باشند (شکل ۲). بررسی‌ها نشان داد داده‌های مفقود زیادی موجود برای این ایستگاه‌ها وجود دارد که عملاً محاسبه نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی را با مشکل روبرو خواهد کرد.

۲-۳-داده‌های شبکه‌ای

با وجود آنکه شبکه‌های ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های دیدبانی قابل اعتمادتر از سایر مجموعه داده‌های اقلیمی هستند و استفاده از آن‌ها در هر بررسی و ارزیابی مرتبط با این متغیرها ضروری است اما این داده‌ها در اکثر مناطق، دارای پوشش مکانی کم، سهم زیاد داده‌های مفقود، دوره کوتاه آماری (ایستگاه‌های تازه

تأسیس) و کیفیت پایین هستند؛ بنابراین استفاده از آن‌ها بسیار محدود بوده و نیاز به ترکیب با سایر اطلاعات نظیر داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل شده دارند. عدم پوشش مکانی کافی ایستگاه‌هایی با دوره کامل آماری دلیلی دیگر بر لزوم استفاده از سایر منابع داده محسوب می‌شود. به این دلایل، رشد فزاینده‌ای در استفاده از سایر مجموعه داده‌های دیگر اقلیمی همچون ماهواره[1] و بازتحلیل[2] به وجود آمده است (Arce & Uribe, 2015). در این پژوهش از محصول مقیاس کاهی شده ERA5 نیز استفاده خواهد شد. طی ماه مارس ۲۰۱۷، ECMWF اقدام به ارایه‌ی پیشرفته‌ترین محصول بازتحلیل خود با نام ERA5 نمود. این محصول به‌عنوان پیشرفته‌ترین محصول بازتحلیل برای دوره آماری ۱۹۵۰ تاکنون ارائه شده است. چنین مجموعه داده‌هایی محصول توسعه ابزار محاسباتی، روش‌های داده گواری[3]، مدل‌های پیش بینی عددی وضع هوا (NWP) و بهبود داده‌های مشاهداتی برداشت شده از جو و سطح زمین به کمک روش‌های سنجش از دور، کیفیت داده‌های بازتحلیل می‌باشند. پایگاه داده‌های ERA5 نسبت به مشابه قدیمی‌تر خود (ERA-Interim) از سامانه داده‌گواری چهاربُعدی پیشرفته‌تر و منابع داده بیشتری بهره گرفته و دارای قدرت تفکیک مکانی حدود ۳۰ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی ۱ ساعته است و متغیرهای جوی را در ۱۳۷ تراز فشاری متفاوت در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Tarek, Brissette & Arsenault, 2020). ERA5-Land محصول مقیاس‌کاهی شده ERA5 است که دارای قدرت تفکیک مکانی ۹ کیلومتر (۰/۰۸° × ۰/۰۸°) بوده و در سال ۲۰۱۹ منتشر شده است (Burkart et al., 2021).

داده‌های شبکه‌ای ERA5-Land در برآورد روند دما از کارایی خوبی دارند به‌عنوان‌مثال ایلماز (Yilmaz, 2023) در پژوهش خود نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین روند دمای محاسبه شده با استفاده از داده‌های این محصول برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۵۱ با داده‌های ایستگاهی ترکیه (۵۴۰ ایستگاه) وجود ندارد. در پژوهشی دیگر، از این محصول به‌منظور برآورد روند گرمایشی منطقه‌ای و جهانی استفاده شد (Wang, Hessen, Samset & Stordal, 2022) . همچنین در منطقه کوهستانی کیوآلین[4] طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۰ نشان داده شد این

1. Satellite
2 . Reanalysis
3 Data Assimilation
4 Qilian

مجموعه داده دارای عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی دما می‌باشد (Huai, Wang, Sun, Wang & Zhang, 2021). بررسی سام خانیانی و محمدی(Sam Khaniani & Mohammadi, 2022) نشان داده است که طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۹، داده‌های دمای ۲ متری ERA5-Land دارای ضریب همبستگی بیش از ۹٤ درصد با مشاهدات ایستگاهی در سراسر ایران بوده است. بسیاری از پژوهشگران این داده‌ها را در مطالعات مختلف از قبیل برآورد ضرایب خشکسالی (Xue, Wu & Jiang, 2019)، تبخیر (Trambauer et al., 2014) ، بررسی روند دمای سطح زمین (Wang et al., 2022) ، رطوبت خاک و بارش (Cao, Gruber, Zheng & Li, 2020; Chen et al., 2021) ، نیاز سرمایی پسته (Asadi Oskouei, Kouzegaran, Kouhi, Hokmabadi & Eslami, 2023) بکار برده‌اند. با توجه به موارد فوق، در این پژوهش، به‌منظور برآورد نمایه‌های مرتبط با مخاطرات اقلیمی و با توجه به کارایی مناسب داده‌های دمای پنجمین نسل از داده‌های بازتحلیل (ERA5-Land)[1] مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت وضع هوا (ECMWF)[2] (Azizi Mobaser, Rasoulzadeh, Rahmati, Shayeghi & Bakhtar, 2021 ; Shokri Koochak, Akhond Ali & Sharifi, 2019; Arabi Yazdi, Sanaei Nejad & Mofidi, 2020; Sam Khaniani & Mohammadi, 2022) ، از این داده استفاده شد.

متغیر دمای کمینه و بیشینه از سایت بانک داده‌های اقلیمی کوپرنیک[3] در قالب فایل به فرمت NCDF[4] در مقیاس زمانی ساعتی بارگذاری و با کدنویسی در نرم‌افزار R برای استان قزوین برش داده شد و نمایه‌های حدی دمایی در هر نقطه شبکه استان (حدود ۱٦۰ نقطه) برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ محاسبه شد. لایه‌های اطلاعات مکانی مربوط به تراکم جمعیت (سال ۱۳۹۵) و کاربری اراضی از اطلاعات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین به دست آمد.

[1] The fifth generation of European ReAnalysis (ERA5)
[2] The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
3 https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview
4 Network Common Data Form

۲-٤- نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی

مخاطره اقلیمی رویدادی فیزیکی، پدیده یا فعالیت انسانی و به‌طور بالقوه مخرب مرتبط با اقلیم است که ممکن است منجر به خسارت جانی و مالی، اختلال در امور اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط‌زیست گردد (UNDRR [1], 2020).

به‌منظور تعیین به‌عنوان‌مثال بارش‌های شدید و فرین و یا دما تعاریفی مورد استفاده قرار گرفته که عبارتند از: ۱- نمایه آستانه مطلق یا آستانه اختیاری، ۲- نمایه مساحت منحنی هم بارش خاص، ۳- نمایه آستانه‌ی درصدی و ٤- نمایه پایه صدک. نمایه پایه صدک که در حال حاضر رایج‌ترین روش محاسبه و تعیین بارش و دمای فرین محسوب می‌شود. با این وجود، در برخی از پژوهش‌های انجام شده، آستانه‌های حدی متفاوت برای بارش‌های شدید در نظر گرفته‌اند (Karl, Nicholls & Ghazi, 1999; Mohanty & Mohapatra, 2007) که البته در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد (Mofidi, Zarrin & Janbaz Ghobadi, 2008; Alijani, O'Brien, & Yarnal, 2008).

هیات بین الدول تغییر اقلیم [2](IPCC, 2021) در گزارش ششم خود در مورد نمایه‌های مخاطرات مرتبط با اقلیم، مفهوم ۲۸ محرک اثر اقلیمی را در شش دسته: (۱) گرما و سرما، (۲) مرطوب و خشک، (۳) باد، (٤) برف و یخ، (٥) ساحل و (٦) اقیانوسی معرفی کرده است. آژانس محیطی اروپا[3](Crespi et al., 2020) با تاکید بر فصل دوازدهم گزارش ششم IPCC و بررسی منابع دیگری همچون پروژه INDECIS، ETCCDI[4]، راهنمای خشکسالی سازمان هواشناسی جهانی و دیگر اسناد ، ۸۲ نمایه مخاطرات مرتبط با اقلیم را انتخاب کردند که در این انتخاب، میزان دسترسی به داده‌های مورد نیاز از بانک‌های داده موجود مدنظر قرار داشت. در مرحله دوم با توجه به معیارهای اولویت‌بندی همچون محدوده جغرافیایی، امکان‌پذیری محاسبات، دسترسی به داده (پایگاه داده کوپرنیک[5]، اطلس IPCC، CDS[6] و ...) و ارتباط نمایه با برنامه‌ریزهای سازگاری، درنهایت ۳۲ نمایه انتخاب شد. به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در اروپا، این نمایه‌ها در شش دسته

[1] UN Office for Disaster Risk Reduction
[2] Intergovernmental panel of Climate Change
[3] European Environment Agency
[4] Expert Team on Climate Change Detection and Indices
[5] Copernicus Climate Change Sevice
[6] C3S Climate Data Store

اصلی(دمایی، بارش،باد، برف و یخ، ساحلی، اقیانوس‌های آزاد) قرار گرفتند. با در نظر گرفتن این گزارش، در این پژوهش از نمایه‌های تعریف شده پروژه Climpact استفاده خواهد شد. این پروژه، به‌منظور برآورد نیاز بخش‌های متأثر از مخاطرات جوی و اقلیمی، توسط گروه تخصصی سازمان هواشناسی جهانی در زمینه نمایه‌های اقلیمی ویژه هر بخش[1] (ET-SCI) با همکاری متخصصان مربوطه پیشنهاد شده است. در این پروژه، ۶۳ نمایه معرفی شده است که در بخش مدیریت بلایای جوی و اقلیمی مرتبط با متغیرهای دما و بارش قابل استفاده هستند(Maes et al., 2022). تعریف نمایه‌های مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ آورده شده است. برای اطلاعات بیشتر به https://climpact-sci.org/indices/#index-ID مراجعه شود.

جدول ۱–نمایه‌های فرین دمایی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1 – Extreme temperature indices used in this study

نمایه Index	تعریف Definition
روزهای یخبندان Frost Day(FD)	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TN_{ij} < 0\ °C$ Annual total number of days with TNij < 0°C (TN دمای کمینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)
روزهای یخی Ice Days (ID)	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TX_{ij} < 0\ °C$ Annual total number of days with TXij < 0°C (TX دمای بیشینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)
شب‌های حاره‌ای Tropical Nights (TR)	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TN_{ij} > 20°C$ Annual total number of days with TNij > 20°C (TN دمای کمینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال)
نمایه طول دوره گرما Warm Spell Duration Index(WSDI)	شش روز متوالی که TXij > TXin90 که در آن TX دمای بیشینه، i روز و j سال است و TXin90 صدک نودم دوره پایه Six consecutive days where TXij > TXin90
نمایه طول دوره سرما Cold Spell Duration Index (CSDI)	شش روز متوالی که TNij < TNin10 که در آن TN دمای کمینه، i روز و j سال است و TNin10 صدک دهم دوره پایه Six consecutive days where TNij < TNin10
نمایه TXge35 TXge3 Index	مجموع سالانه تعداد روزهایی با $TX_{ij} \geq 35°C$ (TX دمای بیشینه بر حسب درجه سلسیوس، i روز و j سال) Annual total number of days with TXij ≥ 35°C

۲-۵-شاخص‌های ارزیابی

در این مقاله، برای ارزیابی داده‌های بازتحلیل شده دما با داده‌های دیدبانی از چند شاخص رایج ارزیابی شامل ضریب همبستگی پیرسون[2] (r) (Salahi, Goudarzi & Hosseini, 2016)، مجذور میانگین مربعات خطا[3]

[1] Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI)

2 Pearson Correlation Coefficient

3 Root Mean Square Error

(RMSE) (Ma & Iqbal, 1984; Willmott & Matsuura, 2006) ، ضریب کارآیی نش- ساتکلیف[1] (NSC)، شاخص اریبی[2] (BIAS)، میانگین مطلق خطا[3](MAE) وضریب کلینگ- گوپتا[4](KGE) استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون (r) (رابطه ۱) به درجه همبستگی خطی مربوط و دامنه آن بین ۱- تا ۱ می‌باشد.

رابطهٔ ۱: $$r = \sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(R_i - \bar{R}) / \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 (R_i - \bar{R})^2}$$

MAE با میانگین بزرگی خطا ارتباط دارد (رابطه ۲) و RMSE به انحراف معیار داده‌های مرجع (رابطه ۳). زمانی که مقادیر بهینه MAE و RMSE صفر شوند نشان دهنده یک تناسب کامل بین مجموعه داده‌های دیدبانی و است.

رابطهٔ ۲: $$MAE = n^{(-1)} \sum_{i=1}^{n} |R_i - O_i|$$

رابطهٔ ۳: $$RMSE = \sqrt{(n^{(-1)} \sum_{i=1}^{n} (R_i - O_i)^2)}$$

ضریب کارایی نش-ساتکلیف به‌منظور مقایسه داده¬های بازتحلیل با مقادیر دیدبانی طبق رابطه **Error! Reference source not found.**) محاسبه می‌شود که در آن

رابطهٔ ٤: $$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

n تعداد نمونه‌ها، Oi دمای دیدبانی در روزi ام، Ri دمای به دست آمده از داده‌های بازتحلیل در روز i ام و $\bar{O}$ و $\bar{R}$ مقادیر متوسط Oi و Ri در n ماه می‌باشد. ضریب نش-ساتکلیف می‌تواند از ∞- تا ۱ باشد. این ضریب مقادیر نسبی واریانس باقیمانده‌ها را نسبت به واریانس مقادیر دیدبانی دما تعیین می‌کند. اگر NS≤۰/۵ شبیه¬سازی غیر قابل اعتماد، اگر ۰/۵ < NS≤۰/٦٥ شبیه سازی قابل قبول و ۰/٦٥ < NS≤۰/۷۵ شبیه‌سازی خوب و اگر NS> ۰/۷۵ شبیه‌سازی خیلی خوب به حساب می‌آید (Poméon, Jackisch & Diekkrüger, 2017).

1 Nash-SuttclifE Coefficiency
2 Bias Index
3 Mean Absolute Error
4 Kling–Gupta efficiency

شاخص کلینگ- گوپتا (KGE) برای اولین بار توسط گوپتا و همکاران (Gupta, Kling, Yilmaz & Martinez, 2009) به کار رفت (رابطه ۵). KGEبه‌عنوان ترکیبی از ضریب همبستگی پیرسون، اریبی و تغییرپذیری تعریف می‌شود. محدوده KGE از $-\infty$ تا یک است که در آن ۱ نشان دهنده بهترین برازش داده‌ها و ۰ نشان دهنده بدترین تناسب است. مقادیر بیشتر از ۰/٦ قابل قبول می‌باشد (Tarek et al., 2020).

رابطهٔ ۵:
$$\boldsymbol{KGE = 1 - \sqrt{((r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2)}}$$

r مؤلفه همبستگی می‌باشد، $\boldsymbol{\beta} = (\frac{\mu_r}{\mu_o})$ مؤلفه اریبی و $\boldsymbol{\gamma} = \frac{(\partial r \mu_r)}{(\partial o \mu_r)}$ مؤلفه تغییرپذیری می‌باشند. μ_r و μ_o به ترتیب میانگین داده‌های بازتحلیل ودیدبانی و $\boldsymbol{\partial r}$ و $\boldsymbol{\partial o}$ انحراف معیار داده‌های بازتحلیل ودیدبانی هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی داده‌های شبکه‌ای

۳-۱-۱- ارزیابی داده‌های روزانه دما ERA-Land

با هدف ارزیابی توانمندی پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land، داده‌های ماهانه دمای کمینه و دمای بیشینه از مقادیر روزانه ایستگاهی در ایستگاه همدید قزوین و سه ایستگاه اقلیم شناسی نیروگاه شهید رجایی، مکسال و باغ کوثر (به دلیل تکمیل بودن نسبی دوره آماری) استخراج و سری زمانی سه متغیر برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ با مقادیر نقطه شبکه متناظر در لایه‌های رقومی دمای ERA5-Land مقایسه شد.

جدول ۲- معیارهای آماری محاسبه شده بین مقادیر دمای کمینه ماهانه ایستگاهی و ERA5-Land

Table 2 - Statistical criteria calculated between the observed and ERA5-Land monthly minimum temperature

KGE	NSE	RMSE	r	MAE	نام ایستگاه Station Name
0.92	0.95	1.6	0.98	0.2	نیروگاه شهید رجایی Shahid Rajaei Power Plant
0.77	0.92	2	0.98	1.4	مگسال Magsal
0.71	0.89	2.47	0.99	1.99	باغ کوثر Qusar Garden
0.88	0.97	1.2	0.99	0.73	قزوین Qazvin

با توجه به مقادیر ME و RMSE (جدول۲)، داده‌های شبکه‌ای ERA5-Land دردو ایستگاه نیروگاه و قزوین دارای عملکرد بهتری در برآورد دمای کمینه نسبت به دو ایستگاه دیگر بوده‌اند. با توجه به مقدار NSE بیش از ۰/۷۵، می‌توان نتیجه گرفت که دمای کمینه توسط ERA5-Land خیلی خوب برآورد شده است (Poméon et al., 2017) . در شاخص KGE مقادیر بیش از ۰/٦ قابل قبول است که همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر در چهار ایستگاه بیش از این مقدار به دست آمد (بهترین نتیجه در ایستگاه نیروگاه شهید رجایی).

در جدول ۳ نتایج ارزیابی مقادیر شبکه‌ای دمای بیشینه پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land در مقایسه با چهار ایستگاه آورده شده است. بر اساس معیارهای به کار رفته، بهترین نتایج در ایستگاه قزوین به دست آمده است.

جدول ۳- معیارهای آماری محاسبه شده بین مقادیر دمای بیشینه ماهانه ایستگاهی و ERA5-Land

Table 3 - Statistical criteria calculated between the observed and ERA5-Land monthly maximun temperature

KGE	NSE	RMSE	r	MAE	نام ایستگاه Station Name
0.84	0.87	3.6	0.99	-3.5	نیروگاه شهید رجایی Shahid Rajaei Power Plant
0.91	0.95	2.2	0.99	-2.1	مگسال Magsal
0.93	0.97	1.8	0.99	-1.5	باغ کوثر Qusar Garden
0.98	0.99	0.79	0.99	0.11	قزوین Qazvin

۳-۲- اثرات و اندازه گیری مخاطرات مرتبط با دما

از سال ۱۳۹۸ تا کنون بیش از ۳۷ مورد سرمازدگی و یخبندان در استان قزوین ثبت شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین،۱٤۰۱) و بر اساس آمار ۱٦ ساله (۱٤۰۲-۱۳۸٦) مربوط به مخاطرات اقلیمی استان قزوین، سرما و یخبندان و برف حدود ٦٤٪ از خسارات ناشی از مخاطرات جوی و اقلیمی را به خود اختصاص می‌دهد. به‌منظور بررسی نحوه توزیع مخاطرات سرمایی در سطح استان، نمایه تعداد روزهای یخی (ID) برای داده‌های شبکه‌ای محاسبه و نقشه توزیع مکانی آن ترسیم شد (شکل ٤). با استفاده از لایه‌های

رقومی جمعیت استان (به تفکیک شهری و روستایی) و کاربری اراضی (به تفکیک دیم، آبی، تاکستان، باغ و مناطق مسکونی) و با کاربرد توابع مربوطه در بسته نرم‌افزاری Raster (Hijmans et al., 2023) در محیط R، مقدار جمعیت یا مساحت هر نوع از کاربری اراضی در هر طبقه از لایه رقومی طبقه‌بندی شده‌ی نمایه ID ، استخراج و درصد آن از کل جمعیت یا کل مساحت کاربری مدنظر محاسبه شد که نتایج در جدول ٤ آورده شده است. نتایج نشان داد از کل مساحت استان، حدود ۸۳ درصد به‌طور میانگین تا ٤۰ روز رخداد روزهای یخی را تجربه می‌کنند. حدود ۹۸/۱ درصد جمعیت شهری و ۷۲/۱ درصد جمعیت روستایی به‌طور میانگین تا ۲۰ روز در سال در معرض این رخداد قرار می‌گیرند (مرکز استان) (جدول٤). فراوانی روزهای یخی در دوره‌های بازگشت ۱۰۰ ساله، تا ۱۵۰ روز در سال به دست آمد (شکل ٥). مرکز استان که در میانگین ۳۰ ساله دارای رخداد حداکثر ۲۰ روز ID است در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، شاهد افزایش فراوانی این نمایه تا ۵۰ روز در سال خواهد بود.

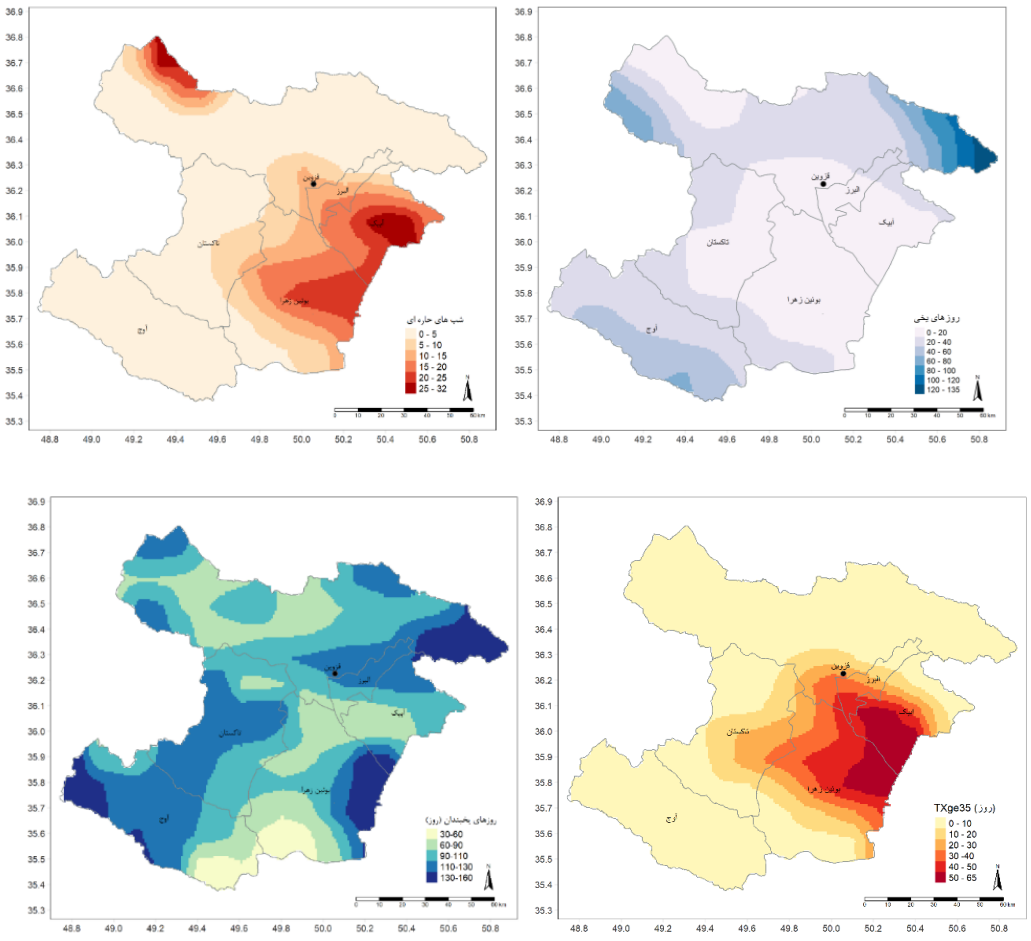
بیشترین مساحت استان برای روزهای یخبندان (FD) به میزان حدود ۳٦ درصد در طبقه ۱۱۰–۹۰ روز فراوانی این نمایه قرار می‌گیرد که بیشترین درصد جمعیت روستایی را نیز شامل می‌شود. بیشترین درصد جمعیت شهری، شاهد میانگین ۱۳۰–۱۱۰ روز رخداد این نمایه طی سال هستند. در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، فراوانی تا حدود ۱۸۰ روز نیز افزایش می‌یابد و پهنه‌های وسیعی از استان تا حدود ۱۵۰ روز رخداد آن را تجربه خواهند کرد. بیشترین درصد مساحت کشت دیم در بازه فراوانی سالانه ۱۱۰–۹۰ روزه این نمایه قرار می‌گیرد (نقشه‌ها و جدول‌ها آورده نشده است).

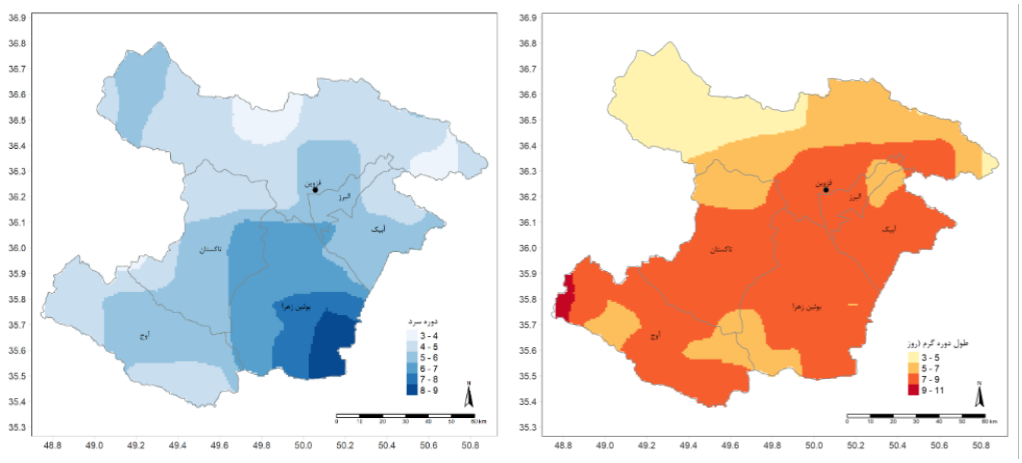
نمایه طول دوره گرما (WSDI) این نمایه تعداد روزهایی را در سال محاسبه می‌کند که حداقل ٦ روز متوالی دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰ ام این متغیر طی دوره پایه باشد. بررسی توزیع مکانی این نمایه نشان می‌دهد بیشترین طول دوره گرما در طبقه ۹–۱۱ روز، در گوشه جنوب غربی و طبقه ۹–۷ روز، در در نواحی مرکزی رخ می‌دهد. بیشترین مساحت استان به میزان ٦۱/٦ درصد در طبقه ۹–۷ روز این نمایه قرار دارند. میانگین مکانی این نمایه ٦/۸ روز با انحراف معیار ۱/۵ به دست آمد.

جدول ٤- درصد مساحت استان، جمعیت شهری و روستایی، مناطق مسکونی، کشت دیم، آبی، باغ و تاکستان استان در طبقات مختلف ID

Table 4 - Percentage of Qazvin province's area, urban and rural population, residential areas, rainfed and irrigated cultivation, orchards, and graps in different ID categories

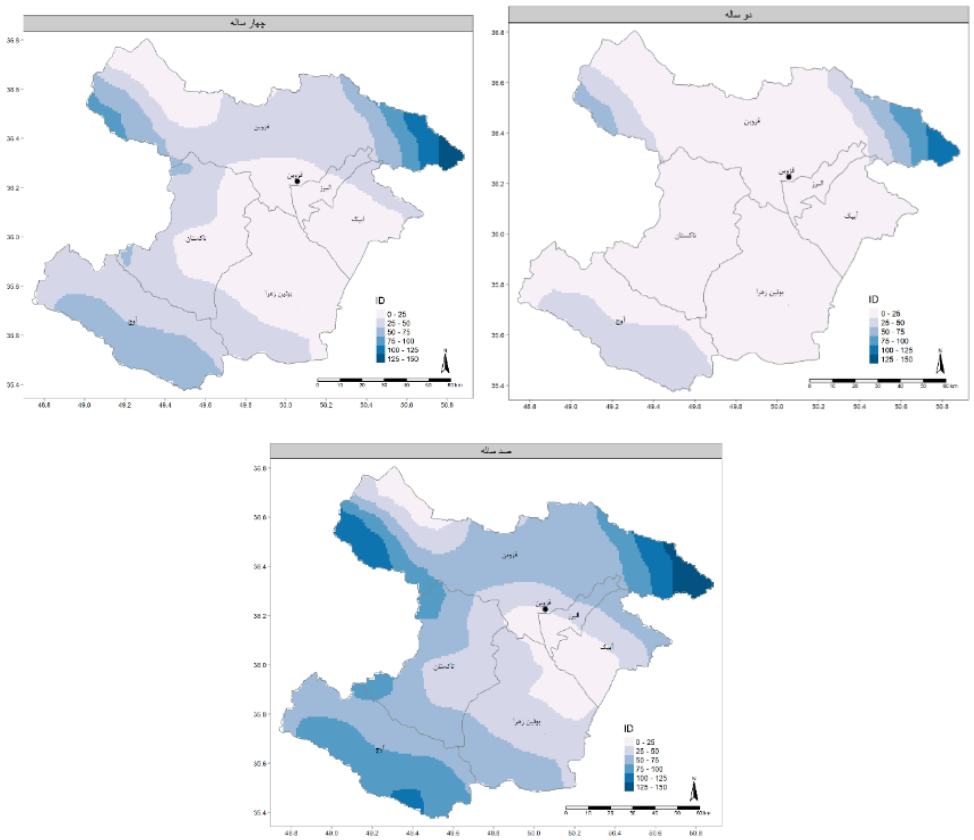
جمعیت شهری Urban population	جمعیت روستایی Rural population	مناطق مسکونی Residential areas	تاکستان Graps	باغ Orchard	کشت دیم Rainfed	کشت آبی Hydroponics	درصد از کل مساحت Frequency%	بازه طبقه (به روز) Class(day)	طبقه Class
98.1	72.1	80.8	80.2	57.3	33.4	91.6	42	0-20	1
1.1	21	14.4	17.2	30.4	53.6	6.4	41	20-40	2
0.8	4.6	2.8	2.1	7.3	10.7	0.6	10.8	40-60	3
0	1.5	0	0.3	2.6	1.9	0.9	3.4	60-80	4
0	0.7	1.6	0	1.7	0.1	0.3	1.4	80-100	5
0	0.2	0.4	0	0.3	0.09	0.04	0.9	100-120	6
0	0.05	0	0	0.2	0.04	0	0.6	120.130	7





شکل ٤- توزیع مکانی مخاطرات دمایی استان قزوین (۲۰۲۰-۱۹۹۱)

Fig. 4. Spatial distribution of temperature hazards in Qazvin province (1991-2020)



شکل ۵- توزیع مکانی طبقات روزهای یخی در دوره‌های بازگشت متفاوت در استان قزوین

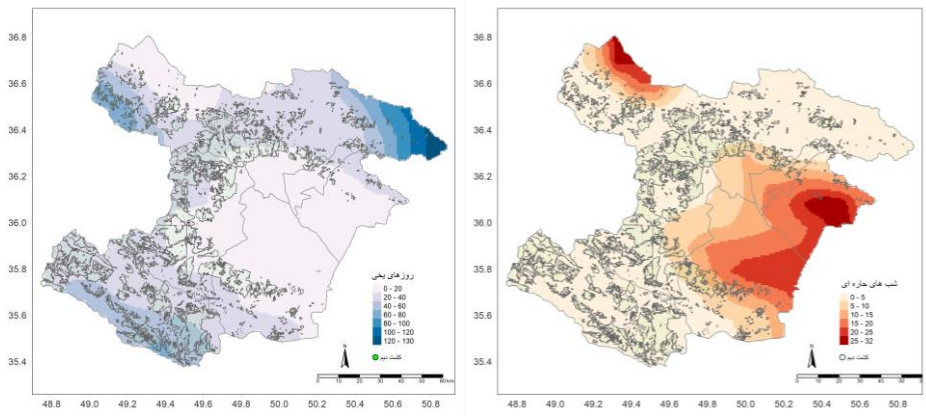
Fig. 5. Spatial distribution of ice day classes in different return periods in Qazvin Province

نمایه مدت دوره سرد سال (CSDI) به رغم تعریف آن (شش روز متوالی که TNij < TNin10 که در آن TN دمای کمینه، i روز و j سال است و TNin10 صدک دهم دوره پایه)، در میانگین سالانه ممکن است کمتر از ٦ روز باشد که این بدان معناست که دوره سرد در برخی سال‌ها و نه در تمام آن‌ها رخ داده است. بیشترین درصد مساحت استان در دو طبقه ٥-٤ و ٥-٦ روز این نمایه (مجموعاً حدود ٧٣ درصد) قرار می‌گیرد. بیشترین درصد جمعیت شهری به میزان ٦٨/٢ درصد در طبقه ٦-٥ روز آن قرار دارند. دوره بازگشت ١٠٠ ساله این نمایه نسبت به بیشینه مقدار میانگین سالانه آن افزایش چشمگیری نشان می‌دهد (٦٠ روز) که نشان دهنده مخاطره‌آمیزتر بودن آن در این دوره بازگشت است. کمترین درصد مساحت استان با کاربری کشاورزی در بازه فراوانی ٩-٨ روزه این نمایه قرار داد. بیشترین درصد مساحت کشت دیم استان به‌طور میانگین با دوره سرد ٥-٤ روزه روبرو بوده است.

محاسبات انجام شده برای نمایه شب‌های حاره‌ای (TR) نشان داد بیش از ٦١ درصد استان (تمامی نواحی بجز مرکز شرق استان) و بیشترین درصد جمعیت روستایی به‌طور میانگین کمتر از ٥ شب طی سال شاهد دمای کمینه بیش از ٢٠ درجه سلسیوس هستند. بیشترین جمعیت شهری در بازه ١٥-١٠ روز قرار دارند. مناطق کشت دیم استان که به نوعی پتانسیل اقلیمی این استان را در زراعت دیم محصولات نشان می‌دهد دارای بیشترین مساحت (٨٢/٢ درصد) در فراوانی کمتر از ٥ روز رخداد این نمایه است. قابلیت کشت آبی در تمامی طبقات این نمایه مشاهده می‌شود ولی بیشترین درصد مساحت کشت آبی، در طبقه ١٠-٥ روز آن قرار دارد. به نظر می‌رسد تاکستان‌ها ازجمله کاربری اراضی هستند که درصد مساحت آن‌ها نسبت به افزایش فراوانی این نمایه روند کاهشی نشان می‌دهد.

برای نمایه TXge35 که به‌صورت تعداد روزهایی با شرط $TX \geq 35°C$ (TX دمای بیشینه روزانه) تعریف می‌شود بیشترین درصد مساحت استان و همچنین بالاترین تراکم جمعیت شهری در طبقه ١٠-٠ روزه این نمایه قرار می‌گیرند. جمعیت روستایی دارای بالاترین درصد جمعیتی در طبقه ٣٠-٢٠ روز (٪ ٥٣/٦) است. دو شهرستان آبیک و بوئین زهرا شاهد بیشترین تعداد نمایه TXge35 تا میانگین ٦٥ روز در سال بوده‌اند. بیشترین دمای بیشینه ثبت شده در ایستگاه آبیک ٤٤/٣ و در ایستگاه بویین زهرا ٤٦/٤ درجه سلسیوس بوده است. در

دوره‌های بازگشت ٤ و ١٠٠ ساله، این استان فراوانی‌هایی از چنین روزهایی را به میزان ٨٠ روز شاهد خواهد بود. همان‌طور که در مورد سایر نمایه‌های فرین دمایی ذکر شد، بیشترین مساحت کشت دیم در مناطقی با فراوانی کمتر این نمایه قرار دارند. درمورد این نمایه نیز، ٧٥/٧ درصد اراضی کشت دیم در طبقه ١٠-٠ روز رخداد این نمایه قرار می‌گیرند. در شکل ٦، همپوشانی طبقات مختلف میانگین سالانه نمایه‌های دمایی روزهای یخی، شب‌های حاره‌ای و TXge35 با پهنه‌هایی با کاربری کشت دیم به دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پتانسیل اقلیمی کشت دیم این استان توسط این نمایه‌ها تعیین شده است.

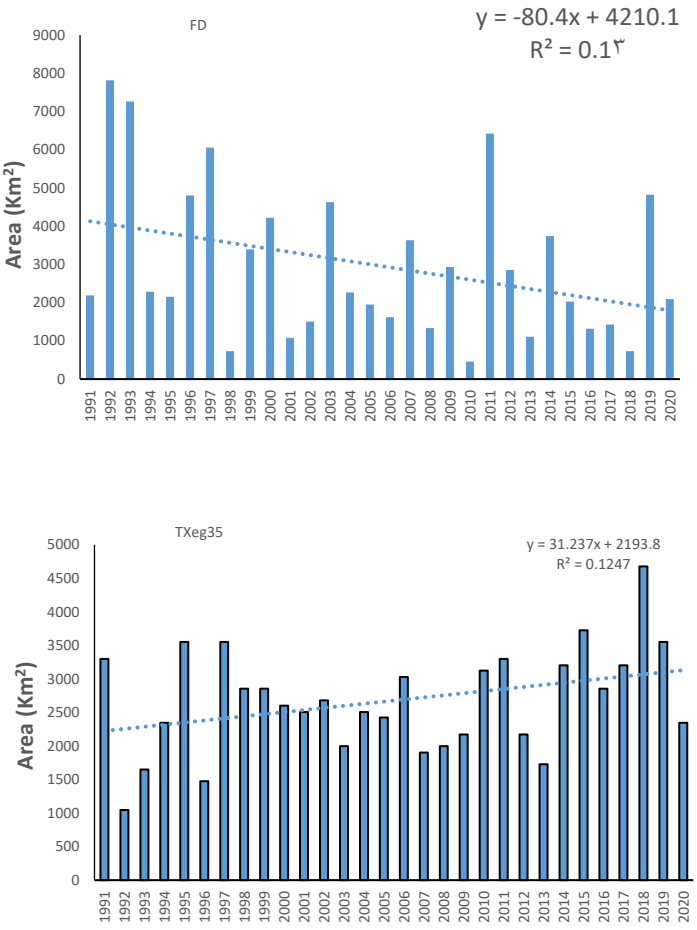


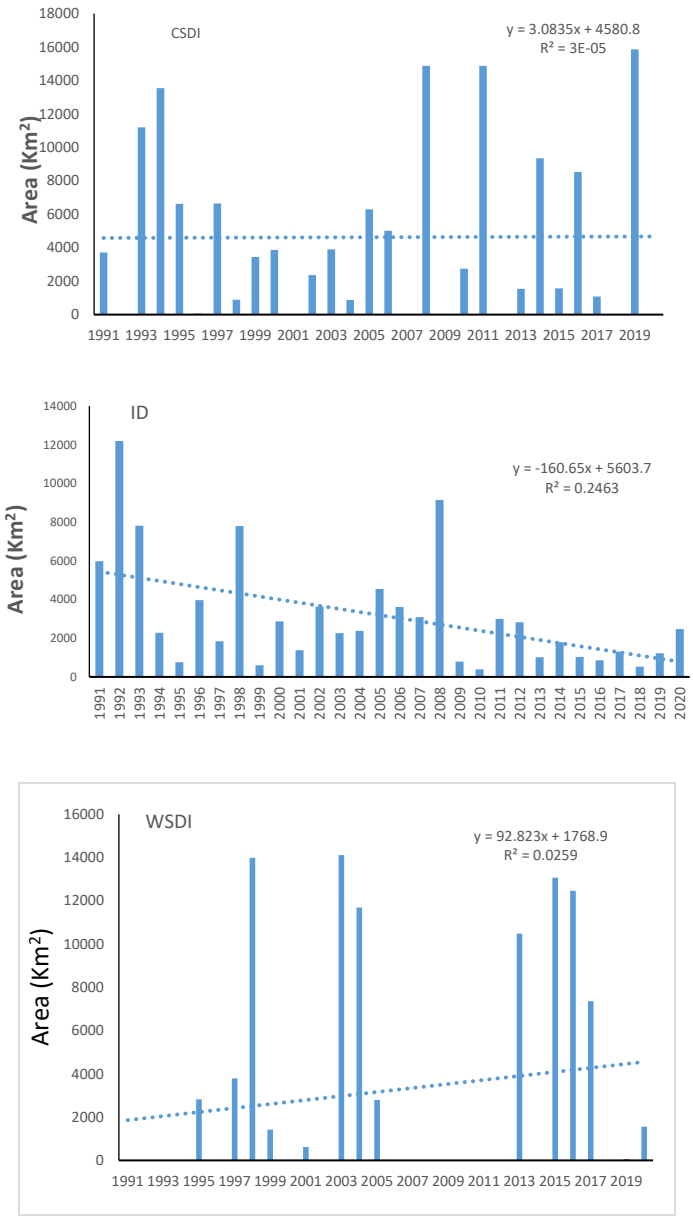
شکل ٦- همپوشانی طبقات مختلف میانگین سالانه نمایه‌های فرین دمایی با پهنه‌هایی با کاربری کشت دیم استان قزوین

Fig. 6. Overlap of different classes of annual average of extreme temperature indices with areas used for rainfed agriculture in Qazvin province

در شکل ٧، تغییرات مساحت مناطق مخاطره‌آمیز برای هر نمایه طی دوره ٢٠٢٠-١٩٩١ به دست آمده است. پهنه‌های مخاطره‌آمیز بر اساس آستانه نسبی (حداقل یک انحراف معیار بیش از میانگین مکانی) تعیین شد. میانگین و انحراف مکانی هر نمایه در سطح استان با استفاده از توابع مربوطه در بسته‌های نرم‌افزاری R محاسبه شد. به‌عنوان‌مثال، منطقه مخاطره‌آمیز برای نمایه روزهای یخی، اشاره به مناطقی دارد که تعداد روزهای یخی آن بیش از ٤٦ روز در سال می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌رغم وجود نوسانات طی این دوره ٣٠ ساله، میانگین مساحت TXge35 طی دهه ١٩٩٠ به میزان ٢٥٢٣ کیلومتر مربع به مقدار ٣٠٧٦

کیلومتر مربع در دهه ۲۰۲۰ افزایش یافته است. در مورد نمایه WSDI، نیز روند افزایشی در مساحت استان که متأثر از مقادیر مخاطره‌آمیز این نمایه هستند (تعداد روزهایی بیش از ۸/۳ روز) مشاهده شد.





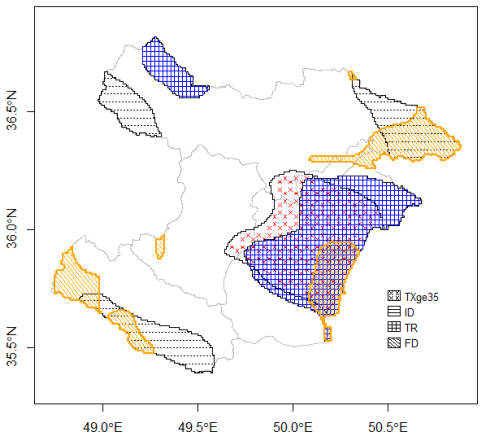
شکل ۷- مساحت متأثر از مخاطرات دمایی در استان قزوین از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ میلادی

Fig. 7. Area affected by temperature hazards in Qazvin Province from 1990 to 2020

در عوض، این استان در نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی سرد مانند ID و FD، شاهد کاهش مساحت پهنه‌های متأثر از مقادیر مخاطره‌آمیز بوده است؛ به‌طوری‌که مساحت این مناطق برای نمایه ID، دارای روند

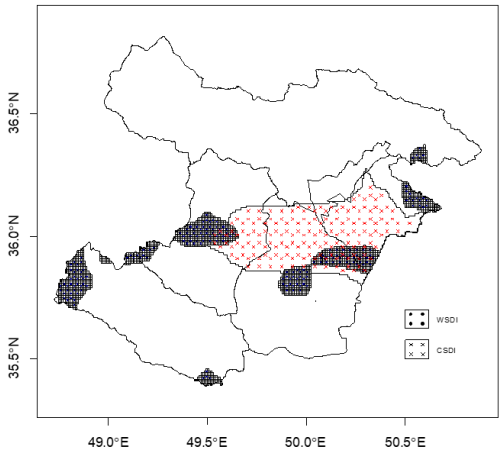
کاهشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ (P-value=۰/۰۱) با مقدار Z=-۲/۵ من-کندال بوده است که در آن میانگین از مقدار حدود ٤٦١١ کیلومتر مربع در دهه ۱۹۹۰ به مقدار حدود ۱٦۰۳ در دهه ۲۰۲۰ کاهش یافته است.

به‌منظور ارائه یک الگوی فضایی یکپارچه از مخاطرات اقلیمی در استان، نقشه جامع بلایا با ترکیب چند نمایه مرتبط با مخاطرات اقلیمی تهیه شد. همان‌طور که ذکر شد پهنه‌های مخاطره‌آمیز بر اساس آستانه نسبی (حداقل یک انحراف معیار بیش از میانگین مکانی هر نمایه) از لایه رستری مخاطرات دمایی موردبررسی در این مقاله، استخراج شد. سپس با ترکیب لایه‌های رقومی جدید مربوط به پهنه‌های مخاطره‌آمیز برای نمایه‌های مدنظر، الگوی فضایی ترکیبی این مخاطرات به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود استان قزوین در تمامی جهات جغرافیایی از نوع خاصی از مخاطرات متأثر است. مناطق مرتفع استان، مستعد رخداد بیش از آستانه تعیین شده روزهای یخی و روزهای یخبندان است. درحالی‌که در مناطق پست مرکزی، تعداد روزهایی با دمای بیشینه بیش از ۳۵ درجه سلسیوس به فراوانی و بیش از آستانه تعیین شده رخ می‌دهد. نمایه شب‌های حاره‌ای به‌صورت مخاطره‌آمیز، در قسمت مرکزی و نواحی شمال غربی استان از فراوانی بالاتری برخوردار است. در شکل ۹، نقشه مناطق مخاطره‌آمیز برای دو نمایه مرتبط با طول یک دوره (گرم و سرد) ترسیم شده است که نشان می‌دهد از نظر مقادیر مخاطره‌آمیز نمایه دوره سرد مرکز استان و برای نمایه دوره گرم، مناطق متفاوت در نواحی مرزی شرقی و غربی استان در معرض رخداد مخاطره‌آمیز قرار دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود درمجموع، منطقه مرکزی استان در معرض چندین نوع خطر به‌طور هم‌زمان قرار دارد که با توجه به تراکم جمعیت شهری و روستایی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در این ناحیه، انتظار می‌رود ریسک‌های اقتصادی-اجتماعی مرتبط با مخاطرات اقلیمی در این ناحیه شدت یابد.



شکل ۸- نقشه مخاطرات چندگانه دمایی در استان قزوین طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱

Fig. 8. Multiple temperature hazards map of Qazvin Province during the period 1991-2020



شکل ۹- نقشه ترکیبی دو مخاطره طول دوره سرد (CSDI) و گرم (WSDI) در استان قزوین طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱

Fig. 9. Composite map of cold spell duration index (CSDI) and warm spell duration index (WSDI) in Qazvin Province during the period 1991-2020

٤- نتیجه‌گیری

مخاطرات جوی و اقلیمی دارای اثرات منفی بر بخش‌های مختلف فعالیت‌های بشر هستند. مدیریت بلایای جوی به‌طور مستقیم با نقشه بلایا مرتبط است زیرا واضح‌ترین راه برای انتقال اطلاعات در مورد یک فاجعه، قبل، حین و بعد از وقوع آن، ترسیم نقشه آن است. در این مقاله تلاش شد تا توزیع مکانی مخاطرات اقلیمی

دمایی استان قزوین طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ در قالب نقشه‌های دوره بازگشت، درصد مساحت متأثر از رویداد و فراوانی رخداد آن ارائه گردد. در این راستا، تعدادی از نمایه‌های معرفی شده در پروژه Climpact انتخاب و با استفاده از بانک داده دمای روزانه ERA5-Land در مقیاس سالانه برای نقطه شبکه‌های پوشش‌دهنده‌ی استان قزوین محاسبه شد. نقشه جامع حاصل از ترکیب چند مخاطره نشان داد برای استان قزوین بخش مرکزی آن در معرض انواع بیشتری از مخاطرات قرار دارد. روند مساحت تحت تأثیر نمایه‌های مرتبط با مخاطرات دمایی گرم در این استان افزایشی و برای برخی از این نمایه‌های دمایی سرد معنی‌دار بوده است. گلیان و همکاران (Golian, Mazdiyasni & AghaKouchak, 2015) نیز در پژوهش خود نشان دادند که نواحی شمالی، شمال غربی و مرکزی ایران روند خشک شدن معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد تجربه کرده‌اند. فتحیان و همکاران (Fathian et al., 2020) و قیامی شمامی و همکاران(Ghiami-Shamami, Sabziparvar & Shinoda, 2019) در پژوهش خود نشان دادند که ایستگاه قزوین به ترتیب طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۱ و ۲۰۱۲-۱۹۶۱ در نمایه‌های حدی مرتبط با دمای بیشینه (CDD, CSDI,WSDR) دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده و در سایر نمایه‌ها نیز روند افزایشی مشاهده شد.

ازآنجایی‌که انتظار می‌رود تغییر اقلیم منجر به تشدید فراوانی، شدت و مدت مخاطرات جوی و اقلیمی شود لذا ضروری است استراتژی‌هایی در خصوص افزایش تاب‌آوری مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی در برابر اثرات مخرب تغییر اقلیم ازجمله افزایش رخدادهای فرین ناشی از آن، مدنظر قرار گرفته و سیاست‌گذاری‌ها در تمامی بخش‌های مرتبط با فعالیت انسان، در جهت سازگاری با این رویدادها (قابلیت جذب و بازیابی مجدد از اثرات منفی ناشی از این مخاطرات)، مدنظر تصمیم گیران قرار گیرد. در این راستا، نیاز است تا جهت اتخاذ تصمیم‌هایی در خصوص احداث صنایع جدید، توسعه کشاورزی، توسعه شهری و یا روستایی همچنین توسعه حمل‌ونقل به الگوهای مخاطرات اقلیمی و بازه‌های احتمالی هر مخاطره (دوره‌های بازگشت) در هر منطقه استناد و بر اساس آن تصمیمات لازم اتخاذ گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی " اطلس مخاطرات جوی استان قزوین" می‌باشد که با حمایت سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قزوین، اداره کل هواشناسی این استان و توسط پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو انجام گرفته است. از حمایت‌های انجام شده تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied climatology*, *94*, 107-124. [In Persian] https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y

Arabi Yazdi, A., Sanaei Nejad, S. H., & Mofidi, A. (2020). Evaluation of Grid reanalysis products of the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF datasets) in Different Climatic Regions of Iran. *Journal of Climate Research*, *1398*(38), 63-76. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_113320.html?

Arce, C., & Uribe, E. (2015). Managing Vulnerability and Boosting Productivity in Agriculture through Weather Risk Mapping, World Bank Group Report, Number 92400.

Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Kouzegaran, S., Navidi, M. N., Haghighatd, M., Davatgar, N., & Lopez-Baeza, E. (2022). Mapping Climate Zones of Iran Using Hybrid Interpolation Methods. *Remote Sensing*,*14*(11), 2632. https://doi.org/10.3390/rs14112632

Asadi Oskouei, E., Kouzegaran, S., Kouhi, M., Hokmabadi, H., & Eslami, M. (2023). Spatial Distribution of the Probability of Satisfying the Chill Requirements of Pistachio in Iran Using ERA5-Land Reanalysis Data. *Nivar*, *47*(120-121), 137-152. [In Persian] https://doi.org/10.30467/NIVAR.2023.416976.1263

Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(11), 2937-2951.[In Persian] https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600

Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., & Faraji Sabokbar, H. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Physical Geography Research*, *48*(1), 33-49. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.57026

Behyar, M. (2015). Spatial Analysis and Zoning Climatic Hazards of Threshold Rainfall Indicator in Road Network of Iran Using GIS. *Nivar*, *39*(90-91), 37-44.[In Persian] https://doi.org/10.30467/nivar.2015.15688

Burkart, K. G., Brauer, M., Aravkin, A. Y., Godwin, W. W., Hay, S. I., He, J., ... & Stanaway, J. D. (2021). Estimating the cause-specific relative risks of non-optimal temperature on daily mortality: a two-part modelling approach applied to the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, *398*(10301), 685-697. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01700-1

Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, *527*(7577), 235-239. https://doi.org/10.1038/nature15725

Cao, B., Gruber, S., Zheng, D., & Li, X. (2020). The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions. *The Cryosphere*, *14*(8), 2581-2595. https://doi.org/10.5194/tc-14- 2581-2020.

Caprio, J. M., & Quamme, H. A. (1999). Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science, 79(*1), 129-137. *https://doi.org/10.4141/P98-028*

Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., & Khadka, N. (2021). Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. *Atmospheric Research, 250, 105365*. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.10536

CRED. (2018). Natural disasters 2017, Brussels.

Crespi, A., Terzi, S., Cocuccioni, S., Zebisch, M., Berckmans, J., & Füssel, H. M. (2020). Climate-related hazard indices for Europe. *European Environment Agency, European Topic Centre Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation.*

Easterling, D. R. (1989). Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous United States. *International Journal of Climatology, 9(6), 567-579.* https://doi.org/10.1002/joc.3370090603

El Morjani, Z. E. A., Ebener, S., Boos, J., Abdel Ghaffar, E., & Musani, A. (2007). Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters. *International Journal of Health Geographics*, 6, 1-28. https://doi.org/10.1186/1476-072X-6-8

Engelstädter, S. (2001). *Dust* storm *frequencies and their relationship to land surface conditions* Doctoral dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena. https://hdl.handle.net/21.11116/0000-0009-D2E6-6

Etkin, D., & Brun, S. E. (1999). A note on Canada's hail climatology: 1977–1993. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *19*(12), 1357-1373. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199910)19:12%3C1357::AID-JOC422%3E3.0.CO;2-B

Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S., & Ghaedi, Z. (2020). Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*, 1119-1133. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2

Ghiami-Shamami, F., Sabziparvar, A. A., & Shinoda, S. (2019). Long-term comparison of the climate extremes variability in different climate types located in coastal and inland regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, *136*, 875-897. https://doi.org/10.1007/s00704-018-2523-4

Golian, S., Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, *119*, 679-688. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1139-6

Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological

modelling. *Journal of Hydrology*, *377*(1-2), 80-91. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003

Helali, J., Asadi Oskouei, E., Hosseinzaheh, T., Kouhi, M., & Mohammadi, S. M. (2023). Spatio-temporal analysis of seasonal and annual trends of dust storm days in arid climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *54*(3), 513-531.[In Persian] https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.355469.669454

Helali, J., Oskouei, E. A., Hosseini, S. A., Saeidi, V., & Modirian, R. (2022). Projection of changes in late spring frost based on CMIP6 models and SSP scenarios over cold regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, *149*(3), 1405-1418. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04124-2

Hijmans, R. J., Van Etten, J., Cheng, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., ... & Hijmans, M. R. J. (2023). Package 'raster'. *R package*, *734*, 473. http://www.maths.bristol.ac.uk/R/web/packages/raster/raster.pdf

Huai, B., Wang, J., Sun, W., Wang, Y., & Zhang, W. (2021). Evaluation of the near-surface climate of the recent global atmospheric reanalysis for Qilian Mountains, Qinghai-Tibet Plateau. *Atmospheric Research*, *250*, 105401. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105401

IPCC. (2021).*Climate Change 2021-The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change , Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin province. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf

Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: workshop summary. *Weather and climate extremes, Springer*. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2

Kaur, A., & Sood, S. K. (2019). Analytical mapping of research on disaster management, types and role of ICT during 2011–2018. *Environmental Hazards*, *18*(3), 266-285. https://doi.org/10.1080/17477891.2019.1567457

Lancet. (2021). Health in a world of extreme heat. *Lancet (London, England)*, *398*(10301), 641. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)01860-2

Ma, C. C. Y., & Iqbal, M. (1984). Statistical comparison of solar radiation correlations Monthly average global and diffuse radiation on horizontal surfaces. *Solar Energy*, *33*(2), 143-148. https://doi.org/10.1016/0038-092X(84)90231-7

Maes, M. J., Gonzales-Hishinuma, A., Haščič, I., Hoffmann, C., Banquet, A., Veneri, P., ... & Quadrelli, R. (2022). Monitoring exposure to climate-related hazards: Indicator methodology and key results, *OECD. Environment Working Papers*, 201, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/19970900

Mofidi, A., Hosseinzadeh, S., & Mohammadyarian, M. (2013). Atmospheric Hazards Zonation in the Northeastren of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *2*(2), 1-16. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.23110

Mofidi, A., Zarrin, A., & Janbaz Ghobadi, G. (2008). Determining the synoptic pattern of autumn heavy and extreme precipitations on the southern coast of the Caspian Sea. *Journal of the Earth and Space Physics*, *33*(3), 131-154. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.2538371.1386.33.3.10.7

Mohanty, U. C., & Mohapatra, M. (2007). Prediction of occurrence and quantity of daily summer monsoon precipitation over Orissa (India). *Meteorological Applications: A journal of Forecasting, Practical Applications, Training Techniques and Modelling, 14(1)*, 95-103. https://doi.org/10.1002/met.9

Poméon, T., Jackisch, D., & Diekkrüger, B. (2017). Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light. *Journal of Hydrology*, *547*, 222-235. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.055

Salahi, B., Goudarzi, M., & Hosseini, S. A. (2016). Predicting the temperature and precipitation changes during the 2050s in Urmia Lake Basin. *Watershed Engineering and Management*, *8*(4), 425-438. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107179

Sam Khaniani, A., & Mohammadi, A. (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with surface observations over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, *16*(1), 195-212. [In Persian] https://doi.org/10.30499/ijg.2022.313494.1376

Shi, P. (2019). *Disaster risk science*. Springer.

Shi, P., & Kasperson, R. (2015). *World atlas of natural disaster risk*. Springer.

Shokri Koochak, S., Akhond Ali, A. M., & Sharifi, M. R. (2019). Introduction and comparison of the performance of two global reanalysis databases in estimating daily maximum, minimum, and average air temperatures (case study: Helleh River basin). *Iranian Journal of Geophysics, 13*(3), 53-68. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080336.1398.13.3.4.4

Siteva, D., & Marinova, S. (2021). Design of an Atlas of Significant Natural Disasters. *In Proceedings of the ICA* (Vol. 4). Göttingen, Germany: Copernicus Publications. https://doi.org/10.5194/ica-proc-4-100-2021

Soltani, A., Alaedini, F., Shamspour, N., & Ahmadi Marzaleh, M. (2021). Hazard Assessment of Iran Provinces based on the Health Ministry Tool in 2019. *Iranian Red Crescent Medical Journal, 23(1)*, e204. https://doi.org/10.32592/ircmj.2021.23.1.204

Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences, 24(5)*, 2527-2544. https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020

Trambauer, P., Dutra, E., Maskey, S., Werner, M., Pappenberger, F., Van Beek, L. P. H., & Uhlenbrook, S. (2014). Comparison of different evaporation estimates over the African continent. *Hydrology and Earth System Sciences, 18(1),* 193-212. https://doi.org/10.5194/hess-18-193-2014

UNDRR. (2020). Hazard definition & classification review: Technical report, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, New York and Geneva. https://www.undrr.org/quick/12955

UNISDR. (2004). Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, New York and Geneva. https://www.undrr.org/quick/10883

Vazife dost , M., & Laleh syah, M. (2013). Analysis of the spatial and temporal climatic disasters affecting the road. *Journal of Transportation Research*, *10*(3). [In Persian] https://www.trijournal.ir/article_11499.html?

Wang, Y. R., Hessen, D. O., Samset, B. H., & Stordal, F. (2022). Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*, *280*, 113181. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181

Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *International Journal of Geographical Information Science*, *20*(1), 89-102. https://doi.org/10.1080/13658810500286976

Wypych, A., Ustrnul, Z., & Henek, E. (2014). Meteorological hazards-visualization system for national protection against extreme hazards for Poland. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, *2*(1), 37-42. https://doi.org/10.26491/mhwm/28306

Xue, C., Wu, H., & Jiang, X. (2019). Temporal and spatial change monitoring of drought grade based on ERA5 analysis data and BFAST method in the belt and road area during 1989–2017. *Advances in Meteorology*, *2019(1)*, 4053718. https://doi.org/10.1155/2019/4053718

Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, *856*, 159182. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159182

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.310-338 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83939.1405 Open access

Analyzing the change in the concentration of pollutants during the covid-19 epidemic and presenting a model based on machine learning to predict air pollution

Abbas maleki[a], Sadegh Abedi[b*], Alireza Irajpour[b]

[a]*PH.D. Student, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.*
[b]*Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.*

Received: 22 August 2023 ***Revised: 10 December 2023*** ***Accepted: 16 December 2023***

Abstract

In response to the Covid-19 pandemic, governments worldwide implemented crisis management strategies to reduce emissions from traffic sources. This study examines changes in air pollutant concentrations and traffic volume—considered subsets of the environmental index of sustainable urban development—during the Covid-19 epidemic, comparing them with the pre-epidemic period from January 21, 2018, to March 20, 2022. The primary objective of this research is to compare pollutant concentrations during the epidemic with those of the pre-pandemic period and to develop a model for predicting the Air Quality Index (AQI) in Iran's metropolitan cities.

First, collected pollutant data from Iran's metropolises were processed and cleaned. Following feature selection using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, machine learning methods were applied to analyze the data. The results reveal that no consistent pattern of increase or decrease in pollutant concentrations was observed across all metropolitan cities during the Covid-19 pandemic compared to the pre-pandemic period. The effects of restrictions on pollutant concentrations varied significantly across different cities.

To manage both the pandemic crisis and the associated air pollution crisis, which may exacerbate the spread of disease, it is essential to design traffic restriction models tailored to the specific conditions of each urban location. Additionally, the findings indicate that the Air Quality Index in most of Iran's major cities did not decrease during the pandemic; in fact, it increased. Therefore, targeted and precise measures must be adopted to manage similar crises in the future. Such measures should aim to reduce pollutant concentrations and improve the air quality index, taking into account the geographical characteristics of each city.

Keywords: Air quality index(AQI), Traffic Emission, covid-19 Pandemic, machine learning Models, Urban Air Pollution, Environmental Impact Assessment.

[*] .Corresponding author: Sadegh Abedi Email:Abedi.sadegh@ gmail.com Tel:+989128173662

How to cite this Article: Maleki, A., Abedi, S., & Airajpour, A. (2024). Data analysis of the environmental index of sustainable urban development affected by the crisis of the Covid-19 epidemic in eight Iranian metropolises. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3),310-338

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۳۸-۳۱۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83939.1405 دسترسی آزاد

تحلیل تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ و ارائه الگوی مبتنی بر یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی آلودگی هوا

عباس ملکی - دانشجوی دکترا، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.

صادق عابدی[1] - استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.

علیرضا ایرج‌پور- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۵/۳۱ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۹/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۲۵

چکیده

در پاسخ به همه‌گیری کووید-۱۹، دولت‌ها در سراسر دنیا به دنبال ارائه راهکاری در راستای مدیریت بحران برای کاهش انتشار آلاینده‌ها ناشی از منابع ترافیکی بودند. ازاین‌رو، تصمیم بر آن شد که تغییرات آلاینده‌های هوا و حجم ترافیک به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار شهری در زمان همه‌گیری کووید -۱۹ و مقایسه آن با دوره قبل از همه‌گیری در بازه زمانی ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ موردبررسی قرار گیرد. هدف از این پژوهش، مقایسه غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری با دوره قبل از آن و همچنین ارائه الگو برای پیش‌بینی شاخص کیفیت هوا در کلان‌شهرهای ایران است. ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده آلاینده‌ها از کلان‌شهرهای ایران پردازش و پاکسازی شدند. بعد از انتخاب ویژگی‌ها با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش‌های یادگیری ماشین اعمال شد. نتایج نشان می‌دهد الگوی افزایشی و یا کاهشی یکسانی در غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در تمامی کلان‌شهرها دیده نمی‌شود و تأثیر محدودیت‌ها بر روی غلظت آلاینده‌ها در شهرهای مختلف، متفاوت است؛ بنابراین لازم است جهت مدیریت این بحران و همچنین بحران آلودگی هوا که می‌تواند در انتشار بیماری نقش چشمگیری داشته باشد، برای هر موقعیت شهری، الگوی محدودیت‌های ترافیکی مختص آن موقعیت تهیه گردد. همچنین نتایج بیانگر این است شاخص کیفیت هوا در اکثر کلان‌شهرهای ایران نه‌تنها کاهش نداشته، بلکه افزایش یافته

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۸۱۷۳۶۶۲ Email: abedi.sadegh@gmail.com

است؛ بنابراین می‌بایست تدابیر دقیقی برای مدیریت هرگونه بحران مشابه در آینده در جهت کاهش غلظت آلاینده‌ها و بهبود شاخص کیفیت هوا با توجه به موقعیت مکانی و جغرافیایی هر شهر در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: شاخص کیفیت هوا (AQI)، انتشارهای ترافیکی، همه‌گیری کووید-۱۹، مدل‌های یادگیری ماشین، آلودگی هوای شهری، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی.

مقدمه

همه‌گیری کووید-۱۹ باعث بروز بحران عمومی (Shangguan, Wang & Sun, 2020) در بهداشت و سلامت شد و تکانه‌ای بزرگ بر بشریت وارد کرد. گسترش جهانی پاندمیک Covid-19 در اوایل سال ۲۰۲۰، بزرگ‌ترین بحران بهداشتی در سال‌های اخیر بوده است حتی در مقایسه با آنفولانزای اسپانیایی اوایل قرن بیستم (Sanchez-Lorenzo et al., 2021 ; Munnoli, Nabapure & Yeshavanth, 2020).

بحران کووید ۱۹ صرفاً بحرانی بهداشتی نیست، بلکه بحرانی اقتصادی و اجتماعی تمام‌عیار است که بر زندگی و معیشت میلیاردها انسان تأثیر می‌گذارد و به تصمیم‌گیری در بحران نیاز دارد (Clark & Gruending, 2020). شهرنشینی یکی از دگرگون‌کننده‌ترین فرآیندهای زمان بوده است و با مهاجرت بیشتر مردم به شهرها، نیاز فزاینده‌ای به استراتژی‌های توسعه پایدار شهری به وجود آمد که رشد اقتصادی، حفاظت از محیط‌زیست و رفاه اجتماعی را متعادل می‌کند. درعین‌حال، زمینه مطالعات و برنامه‌ریزی شهری به‌سرعت در حال تحول است و چالش‌هایی برای شهرها به‌صورت روزمره به همراه دارد (Shen, Ochoa & Bao, 2023). آلودگی هوا یک تهدید قابل‌توجه برای سلامت انسان و یک عامل فزاینده بیماری و مرگ‌ومیر در سراسر جهان است. بسیاری از آلاینده‌های هوا که بر سلامت انسان تأثیر منفی می‌گذارند، ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با احتراق از منابع مختلف ازجمله ترافیک و تولید برق هستند (Huangfu & Atkinson, 2020).

ترافیک بخش قابل‌توجهی از آلاینده‌های احتراق در بسیاری از مناطق شهری است و نشان داده شده که تا ۳۴ درصد از ذرات معلق، ۶۱ درصد از NH_3، ۲۵ درصد از اوزون و ۵۰ درصد از انتشار EPA را تشکیل می‌دهد. علی‌رغم شواهدی مبنی بر نقش احتراق ترافیک در آلاینده‌های هوا، مشخص نیست که تا چه اندازه استراتژی‌های مدیریت ترافیک می‌توانند کیفیت هوای شهری را به دلیل فقدان ارزیابی از استراتژی‌های اجرا

شده بهبود بخشند (Hay et al., 2023). سیستم حمل‌ونقل مدرن از تعداد زیادی وسیله نقلیه شخصی تشکیل شده است. به‌عنوان‌مثال، در ایالات‌متحده، در سال ۲۰۱۵، ۲۶۴ میلیون وسیله نقلیه ثبت شده بود. با توجه به این اعداد، ازدحام ترافیک، مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای به یک مشکل جدی تبدیل شده است. براساس داده‌های فوربس، ازدحام ترافیک برای شهرهای ایالات‌متحده در سال ۲۰۱۹ بیش از ۸۸ میلیارد دلار هزینه در بر داشته است (Forbes, 2020). همچنین قرنطینه‌ها در طول همه‌گیری کووید-۱۹، فرصتی برای کمک به پر کردن این شکاف از طریق تغییر بی‌سابقه در الگوهای ترافیکی فراهم کردند. در کره جنوبی، ترافیک ۹.۷ درصد و در ایالات‌متحده، ترافیک به ۴۰-۶۵ درصد کاهش یافت. کیفیت هوا نیز در این دوره با کاهش مشاهده شده در آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها و کشورها در سراسر جهان تغییر کرد، مانند کاهش ۲۵ درصد مشاهده شده در ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۲.۵ میکرون[1] در شهرهای شمال چین و کاهش ۳۲ درصد از NO_2 در انگلستان (Hay et al., 2023).

در ادبیات پژوهش، مطالعاتی در خصوص رابطه بین ترافیک و آلودگی هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ ارزیابی شده است. بااین‌حال، ارتباط بین کاهش ترافیک و کیفیت هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ همیشه در سراسر جهان واضح یا یکنواخت نبود. کاهش ۵۳ تا ۶۰ درصد آلاینده‌های هوا از منابع ترافیکی (مونواکسید کربن[2] و دی‌اکسید نیتروژن[3]) در طول قرنطینه در نانجینگ چین وجود داشت (Wang et al., 2021) و در سامرویل ایالات‌متحده، کاهش غلظت ذرات بسیار ریز (۴۵-۶۹ درصد) و کربن سیاه (۲۲-۴۶ درصد) وجود داشت که مرتبط با میزان ترافیک بود (Hudda, Simon, Patton & Durant, 2020) علاوه بر این، کاهش ترافیک (۴۸-۶۰ درصد) در شش شهر ایتالیا در کنار کاهش (۲۵-۵۹ درصد) NO_2 و (۱۷-۳۲ درصد) PMمشاهده شد (Gualtieri et al., 2020) و در کالیفرنیا، کاهش ترافیک (۲۵۴-۳۹ درصد)، در کنار کاهش مونواکسید نیتروژن[4] (۳۲-۳۵ درصد) و NO_2 (۱۵-۲۹ درصد) مشاهده شد (Liu, Lipsitt, Jerrett & Zhu, 2020). ترافیک باعث کاهش آلاینده‌های (PM، NO، NO_2 و NO_x) بین ۳ تا ۱۲ درصد در سیاتل شد

1. Particulate Matter 2.5 ($PM_{2.5}$)
2. Carbon Monoxide(CO)
3. Nitrogen Dioxide (NO_2)
4. Nitrogen Monoxide (NO)

(Xiang et al., 2020) و هیچ کاهش قابل‌مشاهده‌ای در $PM_{2.5}$ و NO_2 در ممفیس ایالات‌متحده مشاهده نشد، با اینکه ترافیک ۵۷ درصد کاهش یافته است (Jia, Fu, Bartelli & Smith, 2020). کشور ما ایران، مدت‌ها است که با مشکل آلودگی هوا مواجه است. این آلودگی که پیش‌تر و تحت تأثیر تمرکز جمعیت، منحصر به تهران بود، در سال‌های پیشین در سایر شهرهای ایران نیز به‌شدت افزایش یافته است؛ تا جایی که در آخرین آمار منتشر شده از آلوده‌ترین شهرهای جهان در سال ۲۰۱۳ از سوی سازمان جهانی بهداشت، نام چندین شهر از ایران در رتبه‌های نخست این فهرست به چشم می‌خورد؛ بنابراین بررسی آلودگی هوا به‌منظور مدیریت بحران در دو حوزه کنترل همه‌گیری و غلظت آلاینده‌ها به‌خصوص در کلان‌شهرها بسیار حائز اهمیت است. اخیراً نیز مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی ایران اعلام کرد که خسارت سالانه کشور از آلودگی هوا بیش از ۹ میلیارد دلار است که این مبلغ بیش از ۲ برابر بودجه وزارت آموزش‌وپرورش به‌عنوان بزرگ‌ترین وزارتخانه کشور است. به‌طورکلی می‌توان گفت آلودگی هوا سبب افزایش بیماری، کاهش رضایت اجتماعی و همچنین موجب افزایش مرگ‌ومیر افراد دارای بیماری زمینه‌ای می‌گردد که همین موضوع می‌تواند آسیب‌های اجتماعی را به دنبال داشته باشد. طبق آمار وزارت بهداشت، سالانه شاهد هزاران سال عمر ازدست‌رفته به دلیل آلودگی هوا برای مردم ایران هستیم که این موضوع جای تأمل دارد ازاین‌رو با توجه به توضیحات فوق و همچنین با توجه به اینکه آلودگی هوا می‌تواند بر سایر سیستم‌ها از قبیل آموزش، بهداشت، تولید، صنعت، اقتصاد و .... تأثیرگذار باشد، مسئله اصلی در پژوهش حاضر این است که پس از بررسی تغییر غلظت آلاینده‌ها تحت تأثیر محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری کووید – ۱۹ و توصیف الگوهای حاصل از داده‌کاوی، سازمان‌های ذی‌ربط بتوانند برنامه‌ریزی جهت محدودیت‌های ترافیکی را به نحوی مدیریت کنند که آسیب‌های ناشی از آلودگی هوا در کلیه حوزه‌ها به حداقل ممکن برسد؛ بنابراین سؤالات پژوهش را می‌توان این‌گونه مطرح کرد که: محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ چه تأثیری بر غلظت آلاینده‌ها داشته است؟ ارائه الگوی یکسان برای همه کلان‌شهرهای موردپژوهش امکان‌پذیر است؟

مطالعاتی در شهرهای مختلف جهان برای درک تأثیر قرنطینه کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت متغیرهای آلاینده هوا انجام شده است. مطالعات بر روی مدت‌زمان، درصد کاهش غلظت آلاینده‌ها، حجم ترافیک،

میزان میرگ و میر و مکان و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

گونزالس پاردو و همکاران (González-Pardo, Ceballos-Santos, Manzanas, Santibáñez & Fernández-Olmo, 2022) در پژوهش خود به تخمین تغییرات سطوح آلودگی هوا ناشی از کووید-۱۹ با استفاده از تکنیک داده‌کاوی پرداختند که در آن پارامترهای NO، NO_2، O_3، $PM_{2.5}$ و PM_{10} را موردبررسی قرار داده بودند. در این پژوهش که سال ۲۰۲۰ به پنج دوره پیش از قرنطینه، قرنطینه، تشدید، عادی و قرنطینه مجدد تقسیم شده بود، مشاهده شد که پارامتر NO_x بیش از ۵۰ درصد کاهش یافت، پارامتر O_3 در تضاد با پارامتر NO_x، ۲۳.۹ درصد افزایش یافت و همچنین پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز دارای کاهش جزئی به میزان ۴.۱ درصد و ۲.۳ درصد بودند که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کم پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ از منابع ترافیک و قرنطینه است. ساهاران و همکاران (Saharan et al., 2022) در پژوهشی، عوامل تغییر آلودگی هوا را در موج دوم کووید-۱۹ در دهلی هند موردبررسی قرار دادند که در این پژوهش مشخص شد که در سال ۲۰۲۲، غلظت آلاینده‌ها شامل $PM_{2.5}$، PM_{10}، NH_3، NO_x ، CO، بنزن و تولوئن در طول منع رفت‌وآمد شبانه در مقایسه با دوره قبل از قرنطینه به میزان ۴ تا ۱۶ درصد کاهش یافت که این تغییرات بسته به اینکه محدودیت-های مربوط به کووید-۱۹ در طول شب یا روز اعمال شده بود و اینکه چه فعالیت‌هایی محدود بود، بسته به زمان روز، متفاوت بود. نکته قابل‌توجه، عدم کاهش پارامترهای O_3 و SO_2 در این دوره بود. در مقایسه با دوره قرنطینه مشابه در سال ۲۰۲۰، به‌جز پارامتر O_3، در سایر پارامترها، به میزان ۳۱ تا ۱۲۹ درصد افزایش مشاهده شد. ژنگ و وانگ(Zeng & Wang., 2022) اعلام نمودند که هدف آن‌ها ویژگی‌های زمانی و ناهمگونی مکانی تغییرات کیفیت هوا به دلیل قرنطینه کووید-۱۹ در چین بود و از مدل RDiT، داده‌های سری زمانی شاخص کیفیت هوا[1]، غلظت آلاینده‌های هوا و عوامل هواشناسی برای تعیین کمیت تأثیر همه-گیری بر کیفیت هوا استفاده شد. همه آلاینده‌ها به غیر از O_3 کاهش یافتند. $PM_{2.5}$ در ۸۹.۵ درصد شهرها نسبت به اقدامات قرنطینه حساس بودند و شهرهای غیرحساس عمدتاً در مناطق دورافتاده قرار داشتند.

1. Air quality index (AQI)

غلظت $PM_{2.5}$، O_3، NO_2، PM_{10}، SO_2 و CO به ترتیب ۳۴.۹، ۸۸.۴، ۲۷.۳، ۶۰.۸ و ۱۱ میکروگرم بر مترمربع و ۰.۸ میلی‌گرم بر مترمکعب در سناریوی بدون همه‌گیری بودند. آلاوا و سینگ (Alava & Singh., 2022) بیان کردند تغییر در انتشار میزان CO_2 با افزایش و یا کاهش قرنطینه با استفاده از تصاویر و داده‌های سازمان ملی هوانوردی و فضایی موردبررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، صرفاً یکی از آلاینده‌ها در نظر گرفته شده است و با استفاده از روش فوق به توصیف شرایط در دو حالت افزایش و کاهش قرنطینه پرداخته شده است و موضوع پیش‌بینی در این پژوهش نیز مطرح نیست. برخی دیگر از مطالعات صورت گرفته در مرتبط با پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است. هدف از این پژوهش ، کمک به مدیریت بحران با ارائه الگویی برای نظارت بر آلاینده‌های هوا و حجم ترافیک با اقدامات مؤثر از قرنطینه کووید-۱۹ است.

نوآوری این پژوهش بر روی موارد ذیل متمرکز می‌گردد:

۱. محاسبه تغییرات نسبی دوره‌های مختلف که نشان‌دهنده اقدامات محدودکننده در دوره کووید-۱۹ هستند.

۲. ارائه الگویی مبتنی بر روش داده‌کاوی که برای توصیف رابطه همه‌گیری کووید-۱۹ و شاخص آلودگی هوا در توسعه پایدار شهری استفاده می‌شود.

۳. الگوی پیشنهادی برای پیش‌بینی آلودگی ناشی از حمل‌ونقل در محدودیت‌های ترافیکی بکار می‌رود.

جدول ۱- پیشینه پژوهش

Table 1- Research background

نویسنده مقاله Author	عنوان مقاله Article Title	سال انتشار Year of Publication	نتیجه Result	روش انجام کار Methodology
Lee, Robertson, McRae & Baker	تعیین کمیت تأثیر آلودگی هوا بر بستری شدن و نرخ مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ در	2022	غلظت PM2.5 با بستری شدن در بیمارستان و مرگ‌ومیر بیماران مرتبط است. با افزایش غلظت PM2.5 به میزان یک میکروگرم، بستری در بیمارستان بین ۷.۴٪ و ۹.۳٪ و میزان مرگ‌ومیر نیز به میزان ۲.۹٪ تا ۱۰.۳٪ افزایش می‌یابد. PM2.5 concentration is associated with	ابتدا مدل‌های رگرسیون سیستم خطی ساده پواسون به‌طور جداگانه برای مجموعه داده‌های بستری شدن و شمارش مرگ‌ومیر ساخته شد. برای برخی حوزه‌ها مانند اشتغال، درآمد و

	اسکاتلند Quantifying the impact of air pollution on Covid-19 hospitalisation and death rates in Scotland		hospitalizations and mortality of patients. An increase of 1 μg in PM2.5 concentration leads to a 7.4% to 9.3% rise in hospitalizations and a 2.9% to 10.3% increase in mortality.	... که با یک شاخص اندازه‌گیری می‌شوند از آن به‌عنوان معیار ویژه استفاده شد و برای سایر حوزه‌ها از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود. Initially, simple linear Poisson regression models were created separately for the hospitalization dataset and death counts. For some areas such as employment, income, etc., which are measured by a single indicator, this was used as a specific criterion, while for other areas, principal component analysis was employed.
Uday et al.	تأثیر کووید-۱۹ بر بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا در هند Effect of COVID-19 on air pollution related illnesses in India	2022	قرنطینه به دلیل کووید-۱۹ منجر به کاهش سطوح آلاینده ازجمله CO2 و NO2 همراه با سطوح PM2.5 شده است. COVID-19 quarantine resulted in a reduction of pollutants, including CO2 and NO2, along with PM2.5 levels	این پژوهش به تحلیل، جمع‌بندی و انعکاس نتایج یافته‌های مرتبط پرداخته است. This study analyzes, summarizes, and reflects the findings related to the results.
Wen et al.	رابطه نامتقارن بین آلودگی هوا و کووید-۱۹: شواهدی از مدل تأخیر توزیع شده اتورگرسیو پانل غیرخطی The asymmetric nexus between air pollution and COVID-19: evidence from a non-linear panel autoregressive distributed lag model	2022	آلودگی هوا علت اصلی شیوع بیماری کووید-۱۹ است. رابطه‌ای نامتقارن بین موارد PM2.5 و کووید-۱۹ وجود دارد، به‌طور دقیق‌تر، تغییر یک درصدی در شوک‌های مثبت PM2.5 موارد کووید-۱۹ را ۰.۴۳۹ درصد افزایش می‌دهد. Air pollution is a major cause of the spread of COVID-19. An asymmetric relationship exists between PM2.5 levels and COVID-19 cases. Specifically, a 1% change in positive PM2.5 shocks leads to a 0.439% increase in COVID-19 cases.	مدل تأخیر توزیع شده اتورگرسیو غیرخطی Nonlinear autoregressive distributed lag model
Wijnands, Nice, Seneviratne, Thompson & Stevenson	تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر آلودگی‌هوا: ارزیابی جهانی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین The impact of the COVID-19 pandemic on air	2022	بیشترین کاهش NO2 در طول قرنطینه اولیه در چین، اروپا و هند مشاهده شد. آلودگی در سراسر سال ۲۰۲۰ به‌طور کامل به سطح قبل از همه‌گیری بازنگشت. برای ذرات معلق، بزرگ‌ترین کاهش مطلق در چین و هند رخ داد. در بسیاری از کشورها، افزایش سطح O3 در طول قرنطینه‌های اولیه مشاهده شد. The greatest decrease in NO2 during the	یادگیری ماشین برای مدل‌سازی آلودگی هوای شهر با متغیرهای مرتبط با آب‌وهوا مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه از XGBoost، یک الگوریتم تقویت گرادیان فوق‌العاده براساس درختان تصمیم استفاده کرد. Machine learning was used to model air pollution in cities with weather-related variables.

	pollution: A global assessment using machine learning techniques		initial quarantine occurred in China, Europe, and India. Pollution throughout 2020 did not fully return to pre-pandemic levels. For suspended particles, the largest absolute reduction occurred in China and India. In many countries, O3 levels increased during the initial quarantines.	The study employed XGBoost, a gradient boosting algorithm based on decision trees.
Lin, Chen, Chieh & Yang	تجزیه‌وتحلیل تأثیر تغییر سطح ۳ هشدار کووید-۱۹ بر شاخص‌های آلودگی هوا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی Chang impact analysis of level 3 COVID-19 alert on air pollution indicators using artificial neural network	2022	کاهش قابل‌توجه غلظت NO2 به میزان ۲۰٪ و ۲۵.۹٪ در طول هشدار سطح ۳ کووید-۱۹ از ژوئن تا ژوئیه ۲۰۲۱ در مقایسه با مدت مشابه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با سیاست دورکاری، آموزش از راه دور و کاهش جریان ترافیک. از ژوئن تا جولای ۲۰۲۱، میانگین غلظت O3 و NO2 به ترتیب ۱۳.۲٪ و ۹۸.۲٪ در مقایسه با مدت مشابه در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. A significant decrease in NO2 concentration of 20% and 25.9% was observed during COVID-19 level 3 warning from June to July 2021, compared to the same period in 2019 and 2020, with policies such as remote working, online education, and reduced traffic. From June to July 2021, the average concentration of O3 and NO2 increased by 13.2% and 98.2%, respectively, compared to the same period in 2020.	مدل یادگیری ماشین با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی همراه با یک مدل جنبشی برای پیش‌بینی O3، NOX، نیترات و سولفات برای بررسی منابع انتشار بالقوه و مکانیسم واکنش شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. Machine learning models, using artificial neural networks combined with a kinetic model, were used to predict O3, NOX, nitrate, and sulfate to investigate potential emission sources and chemical reaction mechanisms.
Lv et al.	تغییرات نرمال شده کیفیت هوا توسط هواشناسی در طول قرنطینه کووید-۱۹ در سه کلان‌شهر چین Meteorology-normalized variations of air quality during the COVID-19 lockdown in three Chinese megacities	2022	بیشترین کاهش PM2.5 در ووهان (٪۴۳.۶-) و پکن (٪۱۴-) در ایستگاه‌های ترافیکی در طول دوره قرنطینه بود؛ درحالی‌که در ارومچی این کاهش مربوط به صنعت بود. NO2 به‌طور قابل‌توجهی در هر شهر کاهش یافت، درحالی‌که O3 افزایش یافت. The largest decrease in PM2.5 occurred in Wuhan (-43.6%) and Beijing (-14%) at traffic stations during the quarantine period, while in Urumqi, this decrease was linked to the industry. NO2 decreased significantly in every city, while O3 increased.	

۲- مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر که از نظر هدف، کاربردی، از نظر ماهیت، توصیفی - تحلیلی و از نظر روش، کمی است، از تکنیک داده‌کاوی و مدل شاخص‌های آماری توصیفی برای ارزیابی رابطه کووید-۱۹ با طرح‌های ترافیک

در ایران استفاده خواهد شد. داده‌کاوی فرآیند به خدمت گرفتن یک روش‌شناسی رایانه‌ای است که با استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مختلف در جستجوی دانش نهفته در داده‌هاست (Kantardzic, 2003). این فرآیند مشارکتی میان انسان و رایانه (Berson & Thearling, 1999) درنهایت به دنبال کشف الگوها و قواعد معنادار در میان داده‌ها است (Berry & Linoff, 2000). داده‌کاوی، پایگاه‌های داده‌ای بزرگ را به‌عنوان منبع دانش در نظر می‌گیرد (Laros, 2005).

در ابتدا به شناسایی و بررسی داده‌ها پرداخته می‌شود. داده‌های شناسایی شده مربوط به بازه زمانی بهمن ۱۳۹۶ لغایت اسفندماه ۱۴۰۰ می‌باشند. سپس پاک‌سازی داده و یکپارچه‌سازی داده‌ها انجام می‌شود. براساس مدل شاخص‌های آماری توصیفی، تغییرات نسبی سطح کیفیت هوا برای دوره‌های مختلف به دلیل اقدامات قرنطینه کووید-۱۹ برای پارامترهای آلاینده‌های هوا شامل CO، O_3، NO_2، NO، NO_x، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های ترافیک شهری انجام می‌شود تا میزان آلودگی هوا در سال‌های مذکور تعیین گردد. در ادامه، از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده می‌شود تا ویژگی‌های مهم‌تر انتخاب شوند. در روش پیشنهادی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین از قبیل درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در گام بعد، ارزیابی مدل براساس معیارهای موردبررسی ازجمله دقت، صحت و فراخوانی و F-measure صورت پذیرفته و سپس مقایسه ۵ الگوریتم یادگیری ماشین انجام می‌شود.

داده‌های مرتبط با آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط‌زیست جمع‌آوری شده‌اند. میزان پارامترهای آلودگی هوا شامل CO، O_3، NO_2، NO، NO_x، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} می‌باشد تا AQI تعیین گردد. برای محاسبه AQI، داده‌ها به‌صورت روزانه از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ الی ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شده‌اند. شاخص AQI از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$AQI = Max(CO, O_3, NO_2, SO_2, PM_{2.5}, PM_{10}) \qquad \text{رابطه ۱}$$

براساس AQI به دست آمده می‌توان سطح اهمیت بهداشتی را مطابق جدول ۲ تنظیم نمود

جدول ۲- شاخص کیفیت هوا براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران

Table 2- Air quality index based on the standard of Iran Environmental Protection Organization

شاخص کیفیت هوا Air quality index	شماره دسته Category number	سطح اهمیت بهداشتی Health significance level
0 - 50	1	پاک Clean
51 - 100	2	سالم Healthy
101 - 150	3	ناسالم برای گروه‌های حساس Unhealthy for sensitive groups
151 - 200	4	ناسالم Unhealthy
201 - 300	5	بسیار ناسالم Very unhealthy
301 - 500	6	خطرناک Hazardous

– پاک‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها مبتنی بر روش همبستگی

پاک‌سازی داده‌ها به‌منظور تشخیص، حذف و اصلاح داده‌های نویزدار، ناقص و اشتباه در بین مجموعه داده‌ها می‌باشد. هدف از پاک‌سازی داده‌ها، جلوگیری از نتیجه‌گیری غلط است.

۲-۲- انتخاب ویژگی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک روش بهینه‌سازی براساس قوانین احتمال است. این الگوریتم با الهام از رفتار اجتماعی جانداران، ازجمله پرندگان و ماهیان تأثیر می‌گیرد. رفتار نمونه‌های تشکیل دهنده یک گروه، براساس قوانین مانند هماهنگی برای سرعت با نزدیک‌ترین همسایه و همچنین شتاب براساس فاصله است. در هر مرحله از حرکت گروه ذرات، مکان هر ذره با دو مقدار بهترین تعیین می‌گردد. PSO، تابع هدف را با جستجوی مبتنی بر جمعیت بهینه می‌نماید. مزیت مهم و اصلیPSO ساده بودن پیاده‌سازی الگوریتم بوده و تعیین پارامترهای اولیه کمی دارد. عملیات دقیق بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ادامه تعریف می‌شود. برای به دست آوردن جمعیت اولیه از ذرات، یک آرایه از متغیرهای مسئله با نام ذره ایجاد می‌شود. در PSO هر ذره، یک پرنده در فضای جستجو است که می‌تواند آزادانه در فضای جستجو حرکت و پرواز کند. برای هر ذره دو مقدار موقعیت و سرعت، تعریف می‌شود که بردار مکان و بردار سرعت را مدل می‌کنند. این دو بردار به‌صورت روابط ۲ و ۳ تعریف می‌شوند:

$$particle_position = [P_{i,1}, \dots, P_{i,n}]$$ رابطه ۲

$$particle_velocity = [\, v_{i,1} , \dots , v_{i,n} \,]$$ رابطه۳

که در آن particle_position بردار مکان ذره iام، particle_velocity بردار سرعت ذره iام، n تعداد مربع ویژگی‌ها است. جمعیت اولیه براساس موقعیت و سرعت تمامی ذرات به‌صورت تصادفی در بازه [۰،۱] تولید می‌شود.

بعد از تولید نمودن جمعیت اولیه ذرات و سرعت اولیه برای هر ذره، عملکرد هر ذره مبتنی بر موقعیت آن با مقدار تابع برازندگی محاسبه می‌شود. سرعت ذره با توجه به بهترین پاسخ هر دسته ذرات با توجه به بهترین مکانی که تاکنون داشته است[1]، تغییر می‌کند. با تغییر زمان برحسب سرعت، موقعیت ذرات تغییر می‌کند. بردار سرعت هر ذره، با دو مقدار بهینه، به‌روزرسانی می‌شود. (p_{best}[2]) بهترین موقعیت ذره که تاکنون به آن رسیده است و (g_{best}[3]) بهترین موقعیت ذره که تاکنون به‌دست آمده است. در هر تکرار الگوریتم، سرعت ذرات به‌صورت رابطه ۴ بهینه می‌شود:

$$\vec{v}_i = w\vec{v}_i + c_1 R_1(\vec{p}_{i,best} - \vec{p}_i) + c_2 R_2(\vec{g}_{i,best} - \vec{g}_i)$$ رابطه۴

که در آن $\vec{p}_i$ و $\vec{v}_i$، موقعیت و سرعت ذره iام، $\vec{p}_{i,best}$ و $\vec{g}_{i,best}$، بهترین مقدار تابع هدف از موقعیت ذره iام و موقعیت کل جمعیت است. R_1 و R_2 دو متغیر تصادفی در بازه [۰،۱] هستند. افزودن متغیرهای تصادفی به PSO، توانایی جستجوی تصادفی آن را باارزش‌تر و بهینه‌تر می‌کند. ضرایب c_1 و c_2 فاکتور یادگیری هستند و به ترتیب میزان تابعیت ذره از بهترین تجربه فردی (p_{best}) و میزان تابعیت ذره از بهترین تجربه در گروه (g_{best}) را نشان می‌دهند. این پارامترها برای سازگار کردن مبادله بین عملیات بهره‌برداری[4] و اکتشاف[5] می‌باشند. W، پارامتر کنترلی پرواز نمودن ذرات است.

1. Best Particle Position
2. Personal Best
3. Global Best
4. Exploitation
5. Exploration

۳-۲- روش درخت تصمیم‌گیری

درخت تصمیم یک نظریه یادگیری ماشین مبتنی بر آمار است. ایده کلی الگوریتم C4.5 شامل ابتدا پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها بر اساس مجموعه‌ای از مقادیر مشخصه (شامل داده‌های هواشناسی و ترافیک) و آموزش یک مدل درخت تصمیم قابل‌اعتماد است. سپس می‌توان از مدل درخت تصمیم برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در یک سری شرایط هواشناسی استفاده نمود. در الگوریتم، غلظت یک آلاینده خاص در یک نقطه زمانی خاص را می‌توان با نمونه‌گیری مجدد داده‌های هواشناسی پیش‌بینی کرد. درخت C4.5 ارتقاء یافته درخت ID3 است (Bellaachia & Guven, 2006) که توسط کوئینلن (۱۹۹۳) معرفی شده است.

خصوصیات این درخت به‌صورت زیر است:

۱. در یک مجموعه داده، ویژگی‌ها (متغیرهای پیشگو) برای درخت C4.5 می‌توانند به‌صورت متغیرهای رسته‌ای و کمی باشند.

۲. از هر گره درونی این درخت دو یا بیش از دو شاخه خارج می‌شود.

۳. برای هرس کردن درخت C4.5 از روش هرس کردن مبتنی بر خطا استفاده می‌شود.

۴. این درخت توانایی انجام رده‌بندی با داده گمشده در یک مجموعه داده را دارد.

۵. درخت C4.5 برای انتخاب ریشه و گره‌های درونی از معیار نسبت بهره استفاده می‌کند.

فرض کنید S یک مجموعه داده با n مشاهده (نمونه) است. معیار نسبت بهره[1] ویژگی X_i نسبت به این مجموعه داده به صورت رابطه ۵ است:

$$GR(X_i, S) = \frac{IG(X_i, S)}{E(X_i, S)}$$ رابطه ۵

که در آن IG، معیار بهره اطلاعات[2] و E، آنتروپی[3] می‌باشد.

[1]. Gain Ratio(GR)

[2]. Information Gain (IG)

[3]. Entropy (E)

۲-۴- روش انجام پژوهش

این بخش شامل ۳ زیربخش می‌باشد که عبارتند از معرفی مجموعه داده‌ها برای ارزیابی روش پیشنهادی، معرفی الگوریتم‌ها برای مقایسه، معرفی معیارها برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، انجام آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده‌های تهیه شده، بحث در مورد روش پیشنهادی.

۱-۴-۲- توصیف مجموعه داده‌ها

در این پژوهش، داده‌های مرتبط به آلاینده‌های هوا و داده‌های مرتبط با حمل‌ونقل و ترافیک از ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ در کلان‌شهرهای ایران: تهران، اراک، شیراز، اصفهان، مشهد، کرج، اهواز و تبریز جمع‌آوری شد. داده‌های نظارتی مبتنی بر غلظت آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور جمع‌آوری شده است و داده‌های مرتبط با محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ از مرکز ستاد ملی کرونا دریافت شد. در مجموع ۳۲ ایستگاه تحت نظارت ثبت پارامترهای آلودگی هوا انتخاب شدند که عبارتند از: تهران: ۱۰، اراک: ۳، کرج: ۴، اهواز: ۱، تبریز: ۶، شیراز: ۲، مشهد: ۵ و اصفهان: ۱ ایستگاه.

مجموعه داده جمع‌آوری شده شامل ۱۲ ویژگی می‌باشد که عبارتند از: CO، O_3،NO، NO_2، NO_x، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10}، AQI، اعمال محدودیت، نام شهر و کلاس شاخص هوا.

داده‌های ویژگی CO، O_3،NO، NO_2، NO_x، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} براساس مستندات سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور از ایستگاه‌های هر یک از شهرها جمع‌آوری شد.

داده‌های ویژگی اعمال محدودیت با توجه به تکامل محدودیت‌های کووید-۱۹ به شش دوره تقسیم می‌شود که عبارتند از تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره‌نامه مستأجران، لغو طرح ترافیک تهران، محدودیت تردد بین استانی و حضور یک‌سوم کارکنان.

۲-۴-۲- الگوریتم‌های مورد ارزیابی

جنگل تصادفی[1]: الگوریتم جنگل تصادفی یک طبقه‌بندی ترکیبی است که از چندین درخت تصمیم‌گیری تشکیل شده است. این الگوریتم با انتخاب ویژگی از داده یادگیری، overfitting را انجام می‌دهد. همچنین با انتخاب تصادفی ویژگی‌ها از نودهای تأثیرگذار باعث می‌شود که حتی اگر مجموعه داده بزرگ باشد، عملیات

[1]. Random Forest (RF)

یادگیری با سرعت زیادی انجام شود. در این الگوریتم علاوه بر اینکه هر درخت با استفاده از نمونه‌های متفاوتی از داده‌ها ساخته می‌شود، روند ساخت درخت‌ها نیز تغییر می‌کند. درواقع در یک درخت استاندارد، هر گره تصمیم با استفاده از بهترین نقطه شکست انتخاب، از میان همه خصیصه‌ها شکسته می‌شود، اما در جنگل تصادفی، هر گره تصمیم بر مبنای بهترین نقطه شکست از میان زیرمجموعه‌ای از خصیصه‌هایی که به‌طور رندوم در سطح آن گره انتخاب شده‌اند، شکسته می‌شود (Paul et al., 2018).

ماشین بردار پشتیبان[1]: ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) مجموعه‌ای از روش‌های یادگیری نظارت شده مرتبطی هستند که برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شوند. با داشتن مجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی که هرکدام به‌عنوان عضوی از یکی از دو دسته فوق علامت‌گذاری شده‌اند، الگوریتم آموزشی SVM مدلی می‌سازد که پیش‌بینی می‌کند یک نمونه جدید به کدام دسته تعلق خواهد گرفت. ماشین بردار پشتیبان، دسته‌سازی (طبقه‌سازی) است که فضای ورودی خود را به دو ناحیه تقسیم می‌کند که توسط یک مرز خطی از هم جدا شده‌اند. سه تابع هسته‌ای که به‌صورت متداول در ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شود، تابع چندجمله‌ای درجه d، تابع پایه شعاعی (RBF) و تابع سیگموید می‌باشند که معادلات آن‌ها به ترتیب در روابط ۶،۷ و ۸ آمده است:

رابطه ۶ تابع چندجمله‌ای درجه d:

$$K(x_1, x_2) = (1 + (x_1, x_2))^d$$

رابطه ۷ تابع پایه شعاعی (RBF):

$$K(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{c}\right)$$

رابطه ۸ تابع سیگموید:

$$K(x_1, x_2) = \tanh\left(k_1(x_1, x_2) + k_2\right)$$

هسته $k(x_1, x_2)$ باید تئوری مرسر را برآورده سازد (Haykin, 1998; Hsu, 2003).

شبکه بیزین: شبکه‌های بیزین با نام‌های شبکه بیز، شبکه باور بیزین، شبکه‌های احتمالاتی سببی و شبکه‌های احتمالاتی شناخته شده‌اند. برای مدل‌سازی موقعیت‌هایی که رابطه علی و معلولی در آن‌ها وجود دارد و ادراک ما از این روابط ضعیف است به کار برده می‌شوند. شبکه‌های تصمیم بیزین اثرات اقدامات مدیریتی و یا

[1]. Support Vector Machines (SVMs)

سناریوها را نمایش می‌دهند. این مدل تلفیق با ایجاد یک چارچوب (مفهوم‌سازی) و با ساده‌سازی سیستم موردمطالعه، کنش‌ها و واکنش‌ها را نشان می‌دهد (Ticehurst, Letcher & Rissik, 2008).

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه[1]: شبکه پرسپترون چند لایه یکی از مهم‌ترین ساختارهای ANN می‌باشد. به‌طورمعمول این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از واحدهای حسّی (نورون‌های پایه) می‌باشند که متشکل از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشند. هر لایه شامل تعدادی نورون یا گره است. تمام اتصال‌های بین لایه ورودی و لایه پنهان، ماتریس وزن ورودی و تمام اتصال‌های بین لایه پنهان و لایه خروجی، ماتریس وزن خروجی را تشکیل می‌دهد (Patan, 2019).

۳-۴-۲- معیارهای ارزیابی

برای اعتبارسنجی عملکرد روش پیشنهادی، از معیارهایی استفاده می‌گردد که برای محاسبه دقت در مسائل دسته‌بندی بکار می‌روند. در ابتدا متغیرهای مورد استفاده در معیارها به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

- مثبت درست[2]: داده‌های کلاس مثبت که به‌درستی به‌عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.
- منفی درست[3]: داده‌های کلاس منفی که به‌درستی به‌عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.
- منفی غلط[4]: داده‌های کلاس مثبت که به‌غلط به‌عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.
- مثبت غلط[5]: داده‌های کلاس منفی که به‌غلط به‌عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.
- صحت[6]: نسبت میزان نمونه‌های مثبت پیش‌بینی شده به‌درستی تشخیص داده شده.

رابطه ۹
$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

- F-Measure: معیاری است که "خوب بودن یک دسته‌بندی کننده" را نشان می‌دهد و میانگین هارمونیک بین صحت و فراخوانی است. مقدار β ثبت بوده و نشان‌دهنده اهمیت فراخوانی نسبت به صحت می‌باشد.

---

1. Multi Layer Perceptron Neural Network (MLP)
2. True Positives (TP)
3. True Negatives (TN)
4. False Negatives (FN)
5. Flase Positives (FP)
6. Precision

رابطه ۱۰
$$F - Measure = \frac{(1+\beta^2) * Precision * Recall}{\beta^2 * Recall * Precision}$$

- خطای مطلق میانگین[1]: ارائه انعکاس میزان خطای پیش‌بینی شده. هرچه مقدار آن کمتر باشد، کارایی پیش‌بینی بیشتر می‌شود:

رابطه ۱۱
$$MAE = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}|y_i - \hat{y}_i|$$

که y_i و $\hat{y}_i$، به ترتیب برچسب کلاس واقعی و برچسب کلاس پیش‌بینی شده برای نمونه i می‌باشند. M تعداد نمونه‌های پیش‌بینی شده می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج آزمایش بخش‌های مختلف الگوریتم پیشنهادی و نتیجه نهایی ارائه می‌شود. آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده تهیه شده برای آلودگی هوا به تفکیک کلان‌شهرهای ایران: تهران، اراک، شیراز، اصفهان، مشهد، کرج، اهواز و تبریز می‌باشد. برای ارزیابی نتایج از نرم‌افزار WEKA و MATLAB استفاده شد.

۱-۳- پاک‌سازی و پالایش داده‌ها

به‌منظور پاک‌سازی داده‌ها، مراحل زیر صورت می‌گیرد.

۱. حذف داده‌های تکراری: ازآنجاکه مجموعه داده‌ها از ایستگاه‌های مختلف شهرهای مختلف جمع‌آوری شده و ادغام شده‌اند، امکان ایجاد داده‌های تکراری یا غیرمرتبط وجود دارد. داده‌ها از مراکز به تفکیک تاریخ جمع‌آوری شده‌اند. حذف داده‌های تکراری در نرم‌افزار SPSS با استفاده از Identify Duplicate Cases انجام می‌شود تا داده‌ها و رکوردهای تکراری حذف شوند.

۲. خطاهای ساختاری: هنگام ادغام داده‌های ایستگاه‌های مختلف ممکن است که خطاها و یا تغییراتی در داده‌ها ایجاد گردد. به‌طور نمونه بعضی از نمونه‌ها را null نشان دهد که با بررسی ساختاری آن‌ها به فرمت اصلی و مقادیر واقعی اصلاح می‌شوند.

[1]. Mean Absolute Error *(*MAE*)*

۳. حذف داده‌های پرت: به این منظور از آزمون Z در SPSS برای محاسبه نمرات استاندارد استفاده می‌شود. نمرات استاندارد همه متغیرها محاسبه شده و در صورت دور افتاده بودن داده از سایر مجموعه داده‌ها، آن نمونه داده را حذف می‌کنیم.

۴. برای مدیریت داده‌ها و حذف داده‌های غیرمرتبط، از روش جایگزینی با میانگین آن متغیر در هر ایستگاه در آن تاریخ استفاده می‌شود.

۲-۳- تحلیل آماری شاخص کیفیت هوا

در این بخش وضعیت سطوح آلاینده‌های هوا در زمان شیوع کووید-۱۹ متأثر از محدودیت‌های تردد ترافیکی موردبررسی قرار می‌گیرد. خلاصه‌ای از آمار توصیفی برای مجموعه داده‌ها در جدول ۳ به تفکیک دوره قبل از کووید-۱۹ و دوره کووید-۱۹ برای تمامی کلان‌شهرهای موردمطالعه نشان داده می‌شود. برای مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل تغییرات سطوح آلاینده هوا، داده‌ها از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شدند. بازه زمانی داده‌ها در زمان کووید-۱۹، از تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است به غیر از آلاینده O_3، میانگین غلظت سایر آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن افزایش یافته است.

شکل ۱ غلظت آلاینده‌های هوا را به تفکیک ۸ کلان‌شهر نشان می‌دهد. در راهنمای شکل ۱ برای تفکیک آلاینده‌ها برای قبل از دوران کووید-۱۹ و دوران کووید-۱۹، به ترتیب از اعداد ۱ و ۲ در کنار نام هر آلاینده استفاده شده است.

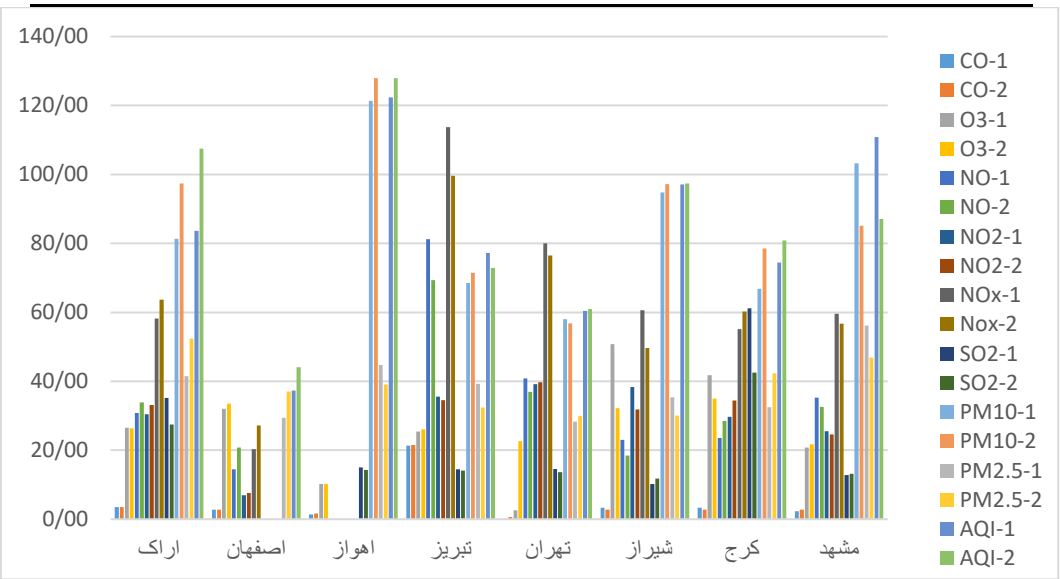
۳-۳- انتخاب ویژگی با PSO

با استفاده از انتخاب ویژگی، تعداد ویژگی‌های مهم‌تر در تحلیل داده‌کاوی انتخاب می‌شوند. به این منظور از بین ۱۲ ویژگی موجود، ۱۰ ویژگی: کلاس شاخص هوا، CO، NO،O_3، NO_2، NO_x، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI برای انتخاب ویژگی با PSOSearch انتخاب می‌شوند. با اعمال الگوریتم PSOSearch، تعداد ویژگی‌ها از ۱۰ به ۷ کاهش یافت. ویژگی‌های انتخاب شده عبارتند از: کلاس شاخص هوا، CO، O_3، NO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI.

جدول۳- خلاصه‌ای از آمار توصیفی مجموعه داده‌ها

Table 3- A summary of the descriptive statistics of the data set

بازه زمانی قبل از کووید-۱۹ Pre-COVID-19 period				بازه زمانی کووید-۱۹ COVID-19 period				آلاینده Pollutant
انحراف معیار Sta. Dev.	میانگین Ave.	حداکثر Max.	حداقل Min.	انحراف معیار Sta. Dev.	میانگین Ave.	حداکثر Max.	حداقل Min.	
1.96	2.91	14.2	0.09	2.23	3.20	13.29	0.43	CO
21.46	24.12	98.72	1.56	17.4	22.96	86.33	2.09	O_3
45.31	32.43	342.92	0.47	41.74	45.47	360.23	3.59	NO
31.06	29.54	166.44	0.13	32.97	43.65	205.85	1.2	NO_2
57.82	61.24	398.36	4.23	56.41	70.66	408.11	3.09	NO_x
25.49	19.51	184.60	0.65	20.28	21.30	229.61	0.24	SO_2
92.34	43.49	213.28	5.03	122.46	69.71	406.77	3.84	PM_{10}
44.18	35.80	284.58	2	92.38	38.51	330.76	3.34	$PM_{2.5}$
98.76	89.85	398.36	1.35	152.59	101.87	408.11	7.01	AQI



شکل ۱- مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا

Fig. 1. Comparison of the concentration of air pollutants

۴-۳- روش درخت تصمیم‌گیری

روش‌های یادگیری ماشین تحت چارچوب اعتبارسنجی متقابل داده‌ها ارزیابی می‌شوند تا بهترین مدل برای پیش‌بینی کیفیت هوا انتخاب شود. ابتدا داده‌ها با مدل درخت تصمیم C4.5 ارزیابی می‌شوند. داده‌ها به شش خوشه تقسیم می‌گردند که عبارتند از: پاک، قابل‌قبول، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و

خطرناک. داده‌ها در درخت تصمیم C4.5، براساس روش اعتبارسنجی و تعداد k-fold های مختلف موردبررسی قرار گرفتند. در روش اعتبارسنجی به ازای اکثریت kها ازجمله بیشترین مقدار دسته‌بندی داده‌ها به‌طور مشابه به دست آمد.

پس از ایجاد مدل پیشنهادی و درخت تصمیم، به ارزیابی نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود. به این منظور از معیارهای ارزیابی معرفی شده استفاده می‌شود. نتایج معیارها در جدول ۴ و جدول ۵ نشان داده می‌شود.

جدول ۴- پیش‌بینی مقادیر معیارهای مدل درخت تصمیم C4.5

Table 4- Predicting values of decision tree model criteria C4.5

ردیف	عنوان معیار Metric title	مقدار معیار Metric Value
1	تعداد نمونه‌های درست تشخیص داده شده Number of correctly identified samples	6296 (99.9206%)
2	تعداد نمونه‌های غلط تشخیص داده شده Number of incorrectly identified samples	5 (0.0794%)
3	میانگین قدرمطلق خطا Mean absolute error	0.0003
4	خطای جذر میانگین مربع Root mean square error	0.0163
5	خطای جذر نسبی Root relative error	0.1772%
6	خطای جذر مربع نسبی Root square relative error	5.9552%
7	تعداد کل نمونه‌ها Total number of samples	6301

جدول ۵ - معیارهای مورد ارزیابی درخت تصمیم C4.5 به تفکیک کلاس شاخص هوا

Table 5- The C4.5 decision tree evaluation criteria by air index class

کلاس Class	پیش‌بینی مثبت Positive prediction	پیش‌بینی منفی Negative prediction	صحت Accuracy	بازخوانی Recall	فیشر Fisher
1	0.998	0.000	1.000	0.998	0.999
2	1.000	0.001	1.000	1.000	1.000
3	0.999	0.000	0.999	0.999	0.999
4	0.994	0.000	0.994	0.994	0.994
5	0.986	0.000	0.986	0.986	0.986
6	1.000	0.000	0.971	1.000	0.985

نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که ۶۲۹۶ نمونه از ۶۳۰۱ نمونه به‌درستی تشخیص داده شده‌اند و این مدل پیش‌بینی دقت بسیار خوبی را ارائه می‌دهد. در جدول ۵، نتایج به تفکیک کلاس‌ها می‌باشد و حاکی از آن است که مدل پیشنهادی از دقت بالای دسته‌بندی برخوردار است.

۵-۳- مقایسه با سایر روش‌ها

نتایج حاصل از دقت، صحت و F-Measure برای روش‌های جنگل تصادفی، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون در جدول ۶ نشان داده شده است و نتایج آن با روش درخت تصمیم مقایسه شده است تا بهترین پیکربندی مدل برای پیش‌بینی داده‌های آلاینده‌های هوا به دست آید. نتایج نشان می‌دهد که روش جنگل تصادفی و درخت تصمیم بهتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. همه آلاینده‌های هوا در روش درخت تصمیم و جنگل تصادفی، مقادیر نزدیک به ۱ و یا ۱ (مقدار ایده‌آل) را نشان می‌دهند.

جدول ۶- مقایسه نتایج مورد ارزیابی

Table 6- Comparison of evaluated results

فیشر **Fisher**	بازخوانی **Recall**	صحت **Accuracy**	پیش‌بینی منفی **Negative prediction**	پیش‌بینی مثبت **Positive prediction**	کلاس **Class**
0.999	0.999	0.999	0.000	0.999	درخت تصمیم Decision tree
0.999	0.999	0.999	0.000	0.999	جنگل تصادفی Random forest
0.845	0.845	0.845	0.406	0.845	ماشین بردار پشتیبان Support vector machine
0.948	0.947	0.949	0.037	0.947	شبکه بیزین Bayesian network
0.833	0.851	0.833	0.24	0.851	شبکه عصبی پرسپترون Percepton Neural Network

مجموع قوانین استخراج شده از درخت تصمیم، مهم‌ترین اطلاعاتی است که از آن‌ها به دست می‌آید که به‌صورت ترکیب تعدادی استلزام منطقی (قانون اگر-آنگاه) است. از این رو برخی قوانین درخت تصمیم و جنگل تصادفی ساخته می‌شود. تعدادی از این قوانین ساخته شده به شرح زیر است.

۱. در شهرهای تهران، مشهد، کرج، اهواز، تبریز و شیراز اگر $NO_2<101.35$ و $50.845\leq PM_{10}<100.94$ و $PM_{2.5} < 101.455$ و $AQI\geq 101.75$ باشد، باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.

۲. در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $PM_{2.5}\geq 150.92$ و $NO_2<101.35$ و $50.845\leq PM_{10}<100.94$ و $O_3<24.765$ باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.

۳. در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $PM_{2.5}\geq 150.92$ و $NO_2<101.35$ و $50.845\leq PM_{10}<100.94$ و $O_3\geq 24.765$ باشد، آنگاه هوا "خطرناک" است.

۴. در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $NO_2\geq 10.73$ و $CO<2.87$ و $55.755\leq PM_{2.5}<103.945$ و $100.94\leq AQI<151.165$ باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.

۵. در تمامی شهرها بجز مشهد، اگر $PM_{10}\leq 101.07$ و $NO_2\leq 24.78$ و $AQI>100.98$ باشد، آنگاه هوا " ناسالم برای گروه‌های حساس" است.

۶. در تمامی شهرها بجز اراک، اگر $PM_{10}\leq 101.07$ و $NO_2\leq 24.44$ و $AQI>100.98$ باشد، آنگاه هوا " ناسالم برای گروه‌های حساس" است.

۷. اگر تمامی شهرها اگر $26.17<NO_2\leq 88.76$ و $AQI>100.54$ باشد و اعمال محدودیت‌ها " تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره‌نامه مستأجران" باشد، آنگاه هوا " ناسالم برای گروه‌های حساس" است.

۸. اگر $NO_2<26.17$ و $69.83< PM_{10}\leq 100.54$ باشد و اعمال محدودیت‌ها " تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره‌نامه مستأجران" باشد، آنگاه هوا "سالم" است.

۹. در شهر تهران، اگر $NO_2<24.44$ و $AQI>151.17$ و $CO>2.53$ باشد و اعمال محدودیت‌ها " لغو طرح ترافیک تهران، محدودیت تردد بین استانی و حضور یک‌سوم کارکنان" باشد، آنگاه هوا "ناسالم" است.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ با توجه به محدودیت‌های عنوان شده یکسان نیست. در پژوهش گونزالس پاردو و همکاران وی در سال ۲۰۲۲، غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} افزایش جزئی را نشان دادند، درحالی‌که غلظت همین آلاینده‌ها در پژوهش ساهاران و همکاران در سال ۲۰۲۲ که به مطالعه در شهر دهلی هند پرداخته بودند، کاهش را نشان دادند. نکته جالب‌توجه این است که در برخی پژوهش‌ها مانند پژوهش آل وی و همکاران در سال ۲۰۲۲ که تغییر غلظت آلاینده‌ها در چین را موردبررسی قرار داده بودند مشخص شد که غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر ووهان، حدود ۴۴ درصد و در شهر پکن ۱۴ درصد کاهش یافته است. مشاهده می‌شود که کاهش صورت گرفته در این آلاینده در شهر ووهان، تقریباً بیش از ۳ برابر شهر پکن می‌باشد. در پژوهش گالتییری و همکارانش که در کشور ایتالیا و در سال ۲۰۲۰ انجام شد نیز این موضوع مشهود است به گونه‌ای که آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر پالرمو حدود ۳۲ درصد کاهش یافته است، درحالی‌که همین آلاینده در شهر ناپولی حدود ۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ بنابراین می‌توان گفت که ممکن است شرایط جغرافیایی و آب و هوایی، جهت وزش باد، ارتفاع شهر از سطح دریا، میزان بارش و عوامل دیگر نیز در غلظت آلاینده‌ها نقش داشته باشد که این موضوع پژوهش جداگانه‌ای نیاز دارد.

با رشد روزافزون غلظت آلاینده‌های هوا، توجه مدیران و دولت‌مردان به مؤلفه‌های زیست‌محیطی و عوامل انسانی مرتبط به‌منظور مدیریت بحران بیش‌ازپیش شده است. به این منظور تأثیر محدودیت‌های ترافیکی بر آلاینده‌های هوا بررسی می‌شود. قابل‌توجه است که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در زمان کووید-۱۹، بیشتر و دقیق‌تر بود. کووید-۱۹ در سال ۲۰۱۹، توسط یک ویروس کرونای جدید تحت عنوان کووید-۱۹ ایجاد شده است. این بیماری در تمامی کشورهای همه قاره‌ها شیوع پیدا نمود و یک بحران جهانی را رقم زد که توسط سازمان بهداشت جهانی[1] به‌عنوان یک بیماری همه‌گیر اعلام شد. ازاین‌رو، مدیریت این بحران در جهت کاهش غلظت آلاینده‌ها در سراسر جهان موردتوجه قرار گرفت. در ایران از بهمن‌ماه ۱۳۹۸، شیوع این بیماری اتفاق افتاد به گونه‌ای که نه‌تنها در ایران بلکه در تمامی کشورهای دنیا منجر به مرگ‌ومیر زیادی تا

1. World Health Organization (WHO)

زمان کنترل آن شد. این پژوهش مدلی از تغییرات غلظت آلاینده‌ها با توجه به محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ در هشت کلان‌شهر ایران مبتنی بر روش‌های شاخص‌های آماری توصیفی و یادگیری ماشین را جهت بهبود عملکرد مدیریت بحران در همه‌گیری جدید و یا شرایط مشابه ارائه می‌کند. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل تأثیر محدودیت‌های ترافیکی بر تغییرات غلظت آلاینده‌ها، ابتدا پاک‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها انجام شد. برای پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌ها، ابتدا با روش انتخاب ویژگی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ویژگی‌هایی از آلاینده‌ها به‌عنوان شاخص‌های اصلی شناسایی شدند که عبارتند از: CO، O_3، NO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI و سپس آزمایش‌هایی با استفاده از پنج روش یادگیری ماشین تحت عنوان درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون برای دسته‌بندی شاخص کیفیت هوا به شش کلاس و نظارت بر تأثیر آلاینده‌های مختلف هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت. با استفاده از درخت تصمیم و جنگل تصادفی، قوانین مرتبط با غلظت آلاینده‌های هوا و محدودیت‌های ترافیکی تولید شدند. در بین مدل‌های ارائه شده، درخت تصمیم و جنگل تصادفی در تمامی معیارها از نظر صحت و فراخوانی، بیشترین مقادیر را نسبت به سایر روش‌ها داشتند؛ بنابراین از مدل درخت تصمیم و مدل جنگل تصادفی می‌توان برای پیش‌بینی کیفیت هوا در آینده استفاده نمود.

در پاسخ به سؤال اول پژوهش می‌توان گفت که در بررسی میزان غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به دوران قبل از آن برای کلان‌شهرهای ایران، در شهر اراک آلاینده O_3 تغییر محسوسی نداشته و آلاینده‌های CO و SO_2 کاهش و آلاینده‌های NO، NO_2، NO_x، PM_{10}، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش یافته‌اند. در شهر اصفهان برای آلاینده‌های SO_2 و PM_{10} مقداری ثبت نشده است، آلاینده CO تغییر محسوسی نداشته و مابقی آلاینده‌ها یعنی O_3، NO، NO_2، NO_x، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش را نشان داده‌اند. در شهر اهواز برای آلاینده‌های NO، NO_2 و NO_x مقداری ثبت نشده است، آلاینده O_3 تغییر محسوسی نداشته و آلاینده-های SO_2 و $PM_{2.5}$ کاهش و آلاینده‌هایCO ، PM_{10} و AQI افزایش یافته‌اند. در شهر تبریز آلاینده‌های CO و SO_2 تغییر محسوسی نداشته‌اند، آلاینده‌های O_3 و PM_{10} افزایش و آلاینده‌های NO، NO_2، NO_x، $PM_{2.5}$ و AQI کاهش داشته‌اند. در شهر تهران، آلاینده‌های CO، O_3، NO_2، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش و در

مقابل، آلاینده‌های NO، NO_x ، SO_2 و PM_{10}، کاهش یافته‌اند. در شهر شیراز آلاینده SO_2، PM_{10} و AQI افزایش و سایر آلاینده‌ها کاهش داشته‌اند. در شهر کرج میزان سه آلاینده CO، O_3 و SO_2 روند کاهشی داشته و آلاینده‌های NO، NO_2، NO_x، PM_{10}، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش یافته‌اند. در شهر مشهد آلاینده‌های CO، O_3 و SO_2 افزایش و آلاینده‌های NO، NO_2، NO_x، PM_{10}، $PM_{2.5}$ و AQI کاهش داشته‌اند. در پاسخ به سؤال دوم پژوهش نیز باید گفت که تغییر غلظت پارامترها در شهرهای مختلف متفاوت می‌باشد و نمی‌توان یک الگوی یکسان برای کل شهرها در نظر گرفت و لازم است که هر شهر الگوی خاص خود را داشته باشد؛ بنابراین پژوهش‌هایی که یک یا چند شهر یک کشور و یا جهان را موردمطالعه قرار داده و نتایج آن را به کل کشور و یا جهان تعمیم می‌دهند ممکن است دارای خطا بوده و نتوانند در تصمیم‌گیری‌های آتی، چندان قابل‌اطمینان باشند. نکته مهم و قابل‌تأمل، وجود فقط یک ایستگاه ثبت غلظت آلاینده در کلان‌شهرهای اهواز و اصفهان می‌باشد که لازم است در این خصوص تجدیدنظر صورت پذیرد و نکته دیگر اینکه، در شهر اهواز، ۳۸ درصد و در شهر اصفهان، ۲۵ درصد آلاینده‌ها در همان یک ایستگاه نیز ثبت نشده است، بنابراین همین موضوع ممکن است پیش‌بینی‌ها و همچنین ارائه و اجرای برنامه راهبردی برای شرایط مشابه را با خطا مواجه کند.

با بررسی غلظت آلاینده‌ها به تفکیک شهرها مشخص شد که غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در بعضی از شهرها افزایشی و در بعضی از شهرها کاهشی می‌باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری، تأثیر قابل‌توجه و محسوسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا نداشته است به گونه‌ای که شاخص کیفیت هوا که سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور، سطح اهمیت بهداشتی را با آن موردسنجش قرار می‌دهد، در اکثر کلان‌شهرها نه‌تنها کاهش نداشته بلکه افزایش یافته است. البته این موضوع می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به تردد با وسیله نقلیه شخصی به جای استفاده از وسایل نقلیه عمومی در اثر ترس و نگرانی از ابتلا به بیماری اشاره کرد. دلیل دیگر آن برداشته شدن برخی از محدودیت‌های ترافیکی و طرح‌های ترافیک به دلیل فراهم نمودن امکان استفاده از وسایل نقلیه شخصی توسط افراد در راستای رعایت فاصله‌گذاری اجتماعی می‌باشد. یکی از دلایل مهم دیگر که جای تأمل داشته و می‌تواند در پژوهش‌ها آتی نیز موردتوجه قرار گیرد، تأثیر سایر عوامل ایجاد آلودگی هوا شامل

صنایع، کارخانجات، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، وارونگی دما، مصارف خانگی و موارد مشابه می‌باشد. در شهرهای شیراز، مشهد و تبریز وضعیت آلودگی هوا در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن کمی بهتر از سایر شهرها می‌باشد به گونه‌ای که در دوره همه‌گیری و با اعمال محدودیت‌ها ترافیکی و قرنطینه، غلظت اکثر آلاینده‌ها کاهش یافته‌اند.

در کارهای آینده تصمیم بر آن شد که نتایج شاخص‌های کیفیت هوا در زمان کووید-۱۹ براساس روش‌هایی مانند اینترنت اشیاء موردبررسی قرار گیرد. همچنین شاخص‌های کیفیت هوا قبل و بعد از کووید-۱۹ براساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره ارزیابی و مقایسه شود. نهایتاً سند راهبردی در راستای محدودیت‌های ارائه شده در زمان همه‌گیری یا شرایط مشابه جهت وضع قوانین ترافیکی جدید برای کاهش آلودگی هوا ارائه گردد.

References

Alava. J. J., & Singh. G. G. (2022). Changing air pollution and CO2 emissions during the COVID-19 pandemic: Lesson learned and future equity concerns of post-COVID recovery. *Environmental Science & Policy*, *130*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.006

Bellaachia, A., & Guven, E. (2006). Predicting Breast Cancer Survivability Using Data Mining Techniques. *Age*, *58*(13), 10-1103.

Berry, M. J. A., & Linoff, G. (2000). *Mastering Data Mining: The Art and Science of Customer Relationship Management*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Berson, A., & Thearling, K. (1999). *Building data mining applications for CRM*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Clark, H., & Gruending, A. (2020). Invest in health and uphold rights to "build back better" after COVID-19. *Sexual and Reproductive Health Matters*, *28*(2), 1781583. http://doi.org/10.1080/26410397.2020.1781583

Forbes. (2020). Traffic Congestion Costs U.S. Cities Billions Of Dollars Every Year. 2020, from https://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2020/03/10/traffic-congestion-costs-us-cities-billions-of-dollars-every-year-infographic/%2320eda7cb4ff8

González-Pardo, J., Ceballos-Santos, S., Manzanas, R., Santibáñez, M., & Fernández-Olmo, I. (2022). Estimating changes in air pollutant levels due to COVID-19 lockdown measures based on a business-as-usual prediction scenario using data mining models: A case-study for urban traffic sites in Spain. *Science of the Total Environment*, *823*, 153786. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153786

Gualtieri, G., Brilli, L., Carotenuto, F., Vagnoli, C., Zaldei, A., & Gioli, B. (2020). Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: a COVID19-induced lockdown analysis in Italy. *Environmentall Pollution*, *267*, 115682. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115682

Hay, N., Onwuzurike, O., Roy, S. P., McNamara, P., McNamara, M. L., & McDonald, W. (2023). Impact of traffic on air pollution in a mid-sized urban city during COVID-19 lockdowns. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *16*(6), 1141-1152. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115682

Haykin, S. (1998). *Neural networks: a comprehensive foundation*. New Jersey: Prentice Hall PTR.

Ho, S. L., Yang, S., Ni, G., Lo, E. W., & Wong, H. C. C. (2005). A particle swarm optimization-based method for multiobjective design optimizations. *IEEE transactions on magnetics*, *41*(5), 1756-1759. https://doi.org/10.1109/TMAG.2005.846033

Hsu, C. W. (2003). A Practical Guide to Support Vector Classification. *Department of Computer Science, National Taiwan University*.

Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment international*, *144*, 105998. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998

Hudda, N., Simon, M. C., Patton, A. P., & Durant, J. L. (2020). Reductions in traffic-related black carbon and ultrafine particle number concentrations in an urban neighborhood during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, *742*, 140931. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140931

Jia, C., Fu, X., Bartelli, D., & Smith, L. (2020). Insignificant impact of the "Stay-At-Home" order on ambient air quality in the Memphis metropolitan area, USA. *Atmosphere*, *11*(6), 630. https://doi.org/10.3390/atmos11060630

Kantardzic, M. (2003). Data Mining: Concepts, models, methods, and algorithms. *Technometrics*, *45*(3), 277.

Larose, D. T. (2005). *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Lee, D., Robertson, C., McRae, C., & Baker, J. (2022). Quantifying the impact of air pollution on Covid-19 hospitalisation and death rates in Scotland. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, *42*, 100523. https://doi.org/10.1016/j.sste.2022.100523

Lin, G. Y., Chen, W. Y., Chieh, S. H., & Yang, Y. T. (2022). Chang impact analysis of level 3 COVID-19 alert on air pollution indicators using artificial neural network. *Ecological Informatics*, *69*, 101674. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101674

Liu, J., Lipsitt, J., Jerrett, M., & Zhu, Y. (2020). Decreases in near-road NO and NO2 concentrations during the COVID-19 pandemic in California. *Environmental Science & Technology Letters*, *8*(2), 161-167. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00815

Lv, Y., Tian, H., Luo, L., Liu, S., Bai, X., Zhao, H., ... & Yang, J. (2022). Meteorology-normalized variations of air quality during the COVID-19 lockdown in three Chinese megacities. *Atmospheric Pollution Research*, *13*(6), 101452. https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101452

Munnoli, P. M., Nabapure, S., & Yeshavanth, G. (2020). Post-COVID-19 precautions based on lessons learned from past pandemics: a review. *Journal of Public Health*, 1–9. https://doi.org/10.1007/s10389-020-01371-3

Patan, K. (2019). *Neural Networks*. Pp. 9-58. In: Patan, K. (eds). Neural Networks Robust and Fault-Tolerant Control Neural-Network-Based Solutions. Springer- Cham, Switzerland.

Paul, A., Mukherjee, D. P., Das, P., Gangopadhyay, A., Chintha, A. R., & Kundu, S. (2018). Improved random forest for classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, *27*(8), 4012-4024. https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2834830

Saharan, U. S., Kumar, R., Tripathy, P., Sateesh, M., Garg, J., Sharma, S. K., & Mandal, T. K. (2022). Drivers of air pollution variability during second wave of COVID-19 in Delhi, India. *Urban Climate*, *41*, 101059. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101059

Sanchez-Lorenzo, A., Vaquero-Martínez, J., Calbó, J., Wild, M., Santurtún, A., Lopez-Bustins, J. A., ... & Antón, M. (2021). Did anomalous atmospheric circulation favor the spread of COVID-19 in Europe?. *Environmental research*, *194*, 110626. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110626

Shangguan, Z., Wang, M. Y., & Sun, W. (2020). What caused the outbreak of COVID-19 in China: From the perspective of crisis management. *International journal of environmental research and public health*, *17*(9), 3279. https://doi.org/10.3390/ijerph17093279

Shen, L., Ochoa, J. J., & Bao, H. (2023). Strategies for Sustainable Urban Development-Addressing the Challenges of the 21st Century. *Buildings*, *13*(4), 847. https://doi.org/10.3390/buildings13040847

Ticehurst, J. L., Letcher, R. A., & Rissik, D. (2008). Integration modelling and decision support: A case study of the Coastal Lake Assessment and Management (CLAM) Tool. *Mathematics and Computers in Simulation*, *78*(2-3), 435-449. https://doi.org/10.1016/j.matcom.2008.01.024

Uday, U., Bethineedi, L. D., Hasanain, M., Ghazi, B. K., Nadeem, A., Patel, P., & Khalid, Z. (2022). Effect of COVID-19 on air pollution related illnesses in India. *Annals of medicine and surgery*, *78*, 103871. https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103871

Wang, S., Ma, Y., Wang, Z., Wang, L., Chi, X., Ding, A., ... & Zhang, Y. (2021). Mobile monitoring of urban air quality at high spatial resolution by low-cost sensors: impacts of COVID-19 pandemic lockdown. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *21*(9), 7199-7215. https://doi.org/10.5194/acp-21-7199-2021

Wen, C., Akram, R., Irfan, M., Iqbal, W., Dagar, V., Acevedo-Duqued, Á., & Saydaliev, H. B. (2022). The asymmetric nexus between air pollution and COVID-19: evidence from a non-linear panel autoregressive distributed lag model. *Environmental research*, *209*, 112848. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112848

Wijnands, J. S., Nice, K. A., Seneviratne, S., Thompson, J., & Stevenson, M. (2022). The impact of the COVID-19 pandemic on air pollution: A global assessment using machine learning techniques. *Atmospheric Pollution Research*, *13*(6), 101438. https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101438

Xiang, J., Austin, E., Gould, T., Larson, T., Shirai, J., Liu, Y., ... & Seto, E. (2020). Impacts of the COVID-19 responses on traffic-related air pollution in a Northwestern US city. *Science of the Total Environment*, *747*, 141325. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141325

Zeng, J., & Wang, C. (2022). Temporal characteristics and spatial heterogeneity of air quality changes due to the COVID-19 lockdown in China. *Resources, Conservation and Recycling*, *181*, 106223. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106223

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.339-366 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.81449.1337 Open access

Forecasting the vulnerability of Khash City due to storm hazard by Gamble Method and Partial Series

Omid Pirian Kalat[a], Javad Jamshidzehi[b], Keramatollah Ziari[c*], Reza Shafie Kenari[d]

[a] *MSc in Regional Planning, Department of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*
[b] *MSc in Natural Environmental Hazards, Faculty of Geographical Sciences, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.*
[c] *Professor in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, Department of Human Geography and Planning , University of Tehran, Tehran, Iran.*
[d] *MSc in Regional Planning, Department of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

Received: 3 March 2023 ***Revised: 23 April 2023*** ***Accepted: 3 June 2023***

Abstract

This study aims to predict the vulnerability caused by hurricane crises and highlights the importance of effective crisis management in Khash City. Using a storm threshold speed of 15 m/s, the monthly, seasonal, and annual wind patterns of Khash City were analyzed with WRPLOT 8.0.2 software. To predict storm return periods for intervals ranging from 1 to 100 years, the Gumbel method and partial series method were applied based on the latest recorded data (1986–2018).

The analytical results revealed that storm return periods were predicted with greater intensity using the partial series method compared to the Gumbel method. For the 100-year return period, the Gumbel method estimated the most severe monthly storms with intensities of 29.1 m/s, while the partial series method predicted stronger storms with intensities of 32.2 m/s, 31.7 m/s, and 30.4 m/s.

The results suggest that the partial series method provides a more reliable prediction of hurricanes than the Gumbel distribution. This method's higher upper-limit estimates are particularly valuable for ensuring the safety of structures and for developing strategies to reduce human and financial losses. Consequently, the partial series method is recommended for hurricane prediction and optimal crisis management planning in Khash City.

Keywords: Hurricane Vulnerability Assessment, Crisis Management, Partial Series Method and Gumbel Distribution, Wind Speed Prediction, Risk Forecasting , Khash City.

[*] . Corresponding author: Keramatollah Ziari Email: zayyari@ut.ac.ir Tel:+989121260602

How to cite this Article: Pirian Kalat, O., Jamshidzehi, J., Ziari, K. & Shafie Kenari, R (2024). Forecasting the Vulnerability of Khash City Due to Storm Hazard by Gamble Method and Partial Series. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 339-366.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۶۶-۳۳۹

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

دسترسی آزاد

DOI: 10.22067/geoeh.2023.81449.1337

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی خطرپذیری شهر خاش ناشی از مخاطره‌ی طوفان به روش گامبل و سری‌های جزئی

امید پیریان کلات- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران.

جواد جمشیدزهی- کارشناس ارشد مخاطرات طبیعی- دانشگاه سیستان و بلوچستان- سیستان و بلوچستان- ایران.

کرامت‌اله زیاری[۱] - استاد گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی- دانشکده جغرافیا- دانشگاه تهران- تهران- ایران.

رضا شفیع کناری- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۱۲/۱۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۲/۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۱۳

چکیده

این مقاله با هدف پیش‌بینی خطرپذیری ناشی از بحرانِ طوفان جهت ضرورت توجه به مدیریت بحران شهر خاش انجام شده است. با در نظر داشتن سرعت آستانه‌ای طوفان به مقدار ۱۵ متر بر ثانیه، گل طوفان‌های ماهانه، فصلی و سالانه شهر خاش با نرم‌افزار WRPLOT 8.0.2 ترسیم گردید. به روش گامبل و سری‌های جزئی به پیش‌بینی دوره-های بازگشت طوفان ۱ تا ۱۰۰ ساله برای بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بر مبنای آخرین داده‌های ثبت شده (از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷) پرداخته شد. نتایج تحلیلی با دو مدل فوق، نشان داد دوره‌های بازگشت طوفان به روش سری-های جزئی با شدت بیشتر و به روش گامبل، با شدت کمتر پیش‌بینی شده است، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله شدیدترین طوفان‌های ماهانه خاش به روش گامبل با شدت‌های ۲۹ و ۲۹/۱ متر بر ثانیه بوده است؛ اما در روش سری‌های جزئی شدیدترین طوفان‌های ماهانه برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با شدت‌های ۳۲/۲، ۳۱/۷ و ۳۰/۴ متر بر ثانیه است. روش سری‌های جزئی به سبب پیش‌بینی‌های حد بالاتر، که در ایمنی سازه‌ها و کاهش خسارات جانی و مالی اهمیت دارد، روش مناسب‌تری نسبت به توزیع گامبل برای پیش‌بینی طوفان‌های خاش و برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینهٔ بحران به نظر می‌رسد.

[۱] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۲۶۰۶۰۲

Email:zayyari@ut.ac.ir

کلیدواژه‌ها: ارزیابی آسیب‌پذیری طوفان ، مدیریت بحران ، روش سری‌های جزئی و توزیع گامبل، پیش‌بینی سرعت باد، پیش‌بینی ریسک، شهر خاش.

۱- مقدمه

امروزه پیش‌بینی خطرپذیری شهری ناشی از مخاطرات طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و... به دلیل مداخلات انسانی و تغییرات طبیعی- اقلیمی آشکار و ملموس شده است. ازآنجاکه بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و فرایند تمرکز جمعیت و فعالیت در مناطق شهری روزافزون شده است، پژوهش و تحقیق برای پیش‌بینی، پیشگیری و مدیریت بحران شهری یک اصل جهان‌شمول برای کاهش آسیب‌پذیری‌های اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و ارتقا پایداری زیست‌محیطی به شمار می‌آید (Piryan Kalat, Kamkar Ghorbanzadeh, Zamani & Ziari, 2023). برای حل چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییر اقلیم مهم است که به مسائل پایداری اجتماعی در سکونتگاه‌های شهری توجه شود (Campbell, 1996; Pakzad, Kalat & Pirzaman, 2024). این رویکرد می‌تواند در توسعه پایدار راهبردی یک منطقه و شهر مؤثر باشد (Wälitalo & Missimer, 2022). در چند دهه گذشته افزایش شهرگرایی و شهرنشینی منجر به تمرکز جمعیت در مناطق شهریِ مستعدِ مخاطرات محیطی و طبیعی، هم در کلان‌شهرها و هم در مراکز شهری کوچک و متوسط شده است (Gencer, 2013). به‌طورمثال دو خطر ژئوفیزیکی[1]، زلزله سال ۲۰۱۰ هائیتی[2] و زلزله و سونامی سال ۲۰۰۴ اندونزی بیشترین تلفات ناشی از بلایای طبیعی را داشته‌اند. از سوی دیگر، انواع مخاطرات هیدرومتولوژیک[3] نیز خطر غالب بوده‌اند که آسیا را عمدتاً با طوفان‌های استوایی و سیل، آفریقا با خشکسالی و اروپا را با تغییرات شدید دما و امواج گرما تحت تأثیر قرار داده است (World Bank & UN, 2010).

افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی بیانگر این است که حدود ۹۰ درصد از مخاطرات طبیعی که در جهان به وقوع می‌پیوندند در ارتباط مستقیم با اقلیم هستند و طوفان‌ها بعد از سیلاب حدود ۳۰ درصد از این مخاطرات را شامل می‌شوند. این پدیده هرساله خسارات مالی و جانی فراوانی را به جامعه تحمیل می‌کند (Houghton, 1996; Tavosi & Raeispoor, 2011)؛ که از نظر موقعیت جغرافیایی مخاطرات طبیعی مانند طوفان در مناطق خشک، نیمه‌خشک و بیابانی دنیا به فراوانی رخ می‌دهند (Song, 2004;

[1] Geophysical hazards
[2] Haiti
[3] Hydro-meterological hazards

(Pilehvar, Jamshidzehi & Pirean kalat, 2022؛ اما این طوفان‌ها فقط در مناطق منشأ رخ نمی‌دهند بلکه تا فواصل بسیار دورتر نیز حمل می‌شوند. در چند دهه اخیر به‌صورت فزاینده‌ای به پدیده طوفان با منشأ گردوغبار و با رویکرد مدیریتی توجه شده است (Liu et al., 2003)، این توجه به‌صورت مدیریتِ بحران و تجزیه‌وتحلیل خطرات و اثرات، هشدار و پیش‌بینی بوده است. ازاین‌رو مدیریت یکپارچهٔ بحران برگردهم آوردن تمامی سطوح مدیریتی همچون مدیریت بحران شهری تمرکز داشته و ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی و غیرقابل‌کنترل خطرات طبیعی مانند طوفان را متذکر شده‌اند (Kapucu, Hawkins & Rivera, 2013; Coppola, 2006). مدیریت بحران در سراسر جهان، از دهه ۱۹۸۰ تحولی از سیاست‌های بازسازی پس از فاجعه به مراحل آمادگی و کاهش پیش از بحران نمود پیدا کرده است (Balamir, 2007). ازآنجایی‌که هیچ مکانیزم مدیریت بحران کاملی در همه شهرها و کشورها وجود ندارد، دولت‌های مرکزی و محلی مجبورند راه‌حل‌هایی را دنبال کنند که تا حدودی توانایی آن‌ها را برای مقابله با بحران‌ها ارتقا بخشد (Ocal, 2021). این فرایند به کمک روش‌های علمی پیش‌بینی و مدل‌های کاربردی پیشگیری موجب کاهش خطرپذیری کانون‌های شهری و روستایی در شکل مدیریت بحران شده است؛ بنابراین روش‌های پیش‌بینی در زمان و شدت وقوع بلایا می‌تواند نقش قابل‌توجهی در کنترل خطرات ناشی از بحران‌ها و برنامه‌ریزی مناسب در جهت توسعهٔ مناسب شهر، داشته باشد. بررسی‌ها نشان داده است حدود ۵۰ درصد از اراضی ایران خشک و بیابانی هستند و این مناطق در معرض طوفان و بادهای بسیار شدید است که مشکلات زیادی را در بخش زیرساختی و سکونتگاهی این نواحی پدید آورده است(Farajzadeh Asal & Alizadeh, 2010). استان سیستان و بلوچستان به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی تحت تأثیر مخاطرات طبیعی مانند طوفان، سیل و... قرار دارد. شهر خاش نیز به‌عنوان یکی از مناطق متأثر از پدیده طوفان، نیازمند توجه به ضرورت پایداری کالبدی–اجتماعی و در راستای توسعه پایدار راهبردی، نیازمند مدیریت بحران است.

بررسی‌های اولیه نشان داد طوفان‌های شهر خاش از مهم‌ترین مخاطرات این شهرستان بوده که همواره سبب خسارات فراوان جانی و مالی شده است. این طوفان‌ها در دوره گرم سال همراه با گردوخاک و در دوره سرد سال غالباً با رطوبت و بارش‌های شدید همراه است؛ بنابراین پیش‌بینی خطرپذیری طوفان‌های شهر خاش جهت مدیریت بحران و در راستای پایداری کالبدی و اجتماعی، یک ضرورت بوده که مورد غفلت واقع شده

است، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینیِ دوره‌های خطرپذیری ناشی از بحران طوفان در شهر خاش به دو روش سری‌های جزئی و گامبل انجام گرفته است؛ این دو روش کاربردی از یک سو برای شناسایی زمانِ دوره‌های آسیب‌زا و خطرآفرین و از سوی دیگر برای تعیین میزان سرعت خطرپذیری مهم به نظر می‌رسند. لذا نتایج این پژوهش، در کاربست مدیریت بحران شهری و منطقه‌ای در وقوع پدیده طوفان در استان سیستان و بلوچستان و شهر خاش مؤثر است.

تاکنون در رابطه با مخاطرات محیطی و طبیعی مرتبط با موضوع این پژوهش مطالعات متعدد و متفاوتی در حوزه خارجی و داخلی انجام شده است؛ در حوزۀ مطالعات خارجی: یو (Yue, 2000) مدل لجستیکی گامبل را برای تجزیه‌وتحلیل توزیع حداکثری رخداد طوفانِ سالانه (حداکثر شدت بارش) در استانِ توکوشیمای[1] ژاپن، پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش پارامترهای توزیع، با استفاده از روش گشتاورها[2] (MM) برآورد شدند. کوهنو و همکاران (Kohno et al., 2018) در پژوهشی به بررسی سیستمی برای پیش‌بینی طوفان پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که برای مقابله با طوفان باید سیستم پیش‌بینی طوفان، هشدارهای مؤثر به شهروندان و مسائل مرتبط به‌طور سیستماتیک بهبود یابند. کیم و همکاران(Kim, Pan & Mase, 2019)، با استفاده از یک روش انتخاب سیستماتیک و عینی برای توسعۀ یک مدل پیش‌بینی طوفان مبتنی بر شبکۀ عصبی مصنوعی(ANN- SFM)[3] با زمان ۵، ۱۲ و ۲۴ ساعت، کاربرد آن در ساکی میناتو[4] ژاپن را بررسی کردند. در کاربرد ANN-SFM در ساکای میناتو، مشخص شد که بهترین پیش‌بینی ۵ و ۱۲ ساعته با مناسب‌ترین مجموعۀ ۷۰ واحدی (تعداد نورون‌های پنهان) و مؤلفه‌های ورودی از سطح ایجاد می‌شود. در پیش‌بینی ۲۴ ساعته ANN-SFM مهم‌ترین پارامترهای ورودی که موجب بهبود نتایج شده‌اند: فشار سطح دریا، میزان کاهش فشار سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی و بالاترین سرعت باد، می‌باشند. باجو(Bajo, 2020) با

[1] Tokushima
[2] Method of Moments
[3] Surge Forecast Model
[4] Sakai Minato area

استفاده از مدل تک‌بعدی کالمن فیلتر[۱] تلاش کرد که دقت پیش‌بینی طوفان در ونیز ایتالیا را بهبود دهد؛ در این مطالعه کاربرد روش پس‌پردازش برای اصلاح پیش‌بینی‌های تولید شده توسط یک مدل موج طوفان هیدرودینامیکی ارائه شد. روش کالمن فیلتر به سبب اجرای آسان، زمان محاسبات کم و نیاز به داده‌های ورودی کم ابزاری مهم و کاربردی برای این مطالعه است که در علوم آب و هواشناسی و اقیانوس‌شناسی ناشناخته است. در این مدل پیش‌بینی تا حدود دو روز قبل بهبود می‌یابد. نتایج وی نشان داد در مورد حوادث شدید، امکان به‌روزرسانی ساعتی برای ایجاد یک خطای کوچک در پیش‌بینی کوتاه‌مدت ضروری است.

پورغلام آمیجی و همکاران (Pourgholam Amiji, Ansari Ghojghar, Bazrafshan, Liaghat & Araghinejad, 2020)، پژوهشی با هدف مقایسهٔ عملکرد مدل‌های سری زمانی با روش‌های هوش مصنوعی، به‌منظور پیش‌بینی فراوانیِ روزهای طوفان گردوغبار[۲] (FDSD) در استان سیستان و بلوچستان به انجام رساندند. نتایج نشان داد که با کاهش فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ایستگاه‌های سراوان و خاش، مدل‌های سری زمانی عملکرد تقریباً مشابهی نسبت به روش‌های هوش مصنوعی دارند. کیانی و همکاران (Kiyani, Kiyani & Behdarvand, 2021)، احتمالِ وقوع طوفان‌های شدید را با استفاده از توزیع گامبل در شهرستان نهاوندِ استان همدان، بر اساس ۱۰ دورهٔ زمانی از سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۴ بررسی کردند؛ بر اساس شاخص بوفورت[۳] در دوره بازگشت ۵ ساله با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه و بالاتر، احتمال وقوع طوفان در ایستگاه نهاوند وجود دارد. از سوی دیگر بیشترین رعدوبرق استان همدان در ایستگاه نهاوند رخ داده و بیشترین تعداد آن در فصل بهار است که در صورت تداوم طوفان خسارات فراوانی بجای خواهد گذاشت.

در حوزه پژوهش‌های داخلی نیز تحقیقات ارزشمندی تاکنون ارائه شده است: طاووسی و رئیسی‌پور (Tavosi & Raeispoor, 2011)، با استفاده از مدل سری‌های جزئی، پیش‌بینی دوره‌های بازگشت طوفان را در دشت سیستان بررسی کردند؛ چنان که نتایج تحلیل، سرعت طوفان‌های شدید دشت سیستان در دوره بازگشت ۱۰۰

۲- Kalman filter که به عنوان تخمین خطی مرتبه دوم نیز از آن یاد می‌شود، الگوریتمی است که حالت یک سیستم پویا را با استفاده از مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های شامل خطا در طول زمان برآورد می‌کند. این فیلتر معمولاً تخمین دقیق‌تری را نسبت به تخمین بر مبنای یک اندازه‌گیری واحد را بر مبنای استنباط بیزی و تخمین توزیع احتمال مشترکی از یک متغیر تصادفی در یک مقطع زمانی ارائه می‌کند؛ این فیلتر از نام رودولف ای کالمن، یکی از پایه‌گذاران این تئوری گرفته شده‌است (Kalman, 1960).

[2] Frequency of Dust Storm Days (FDSD)

[3] Beaufort Index

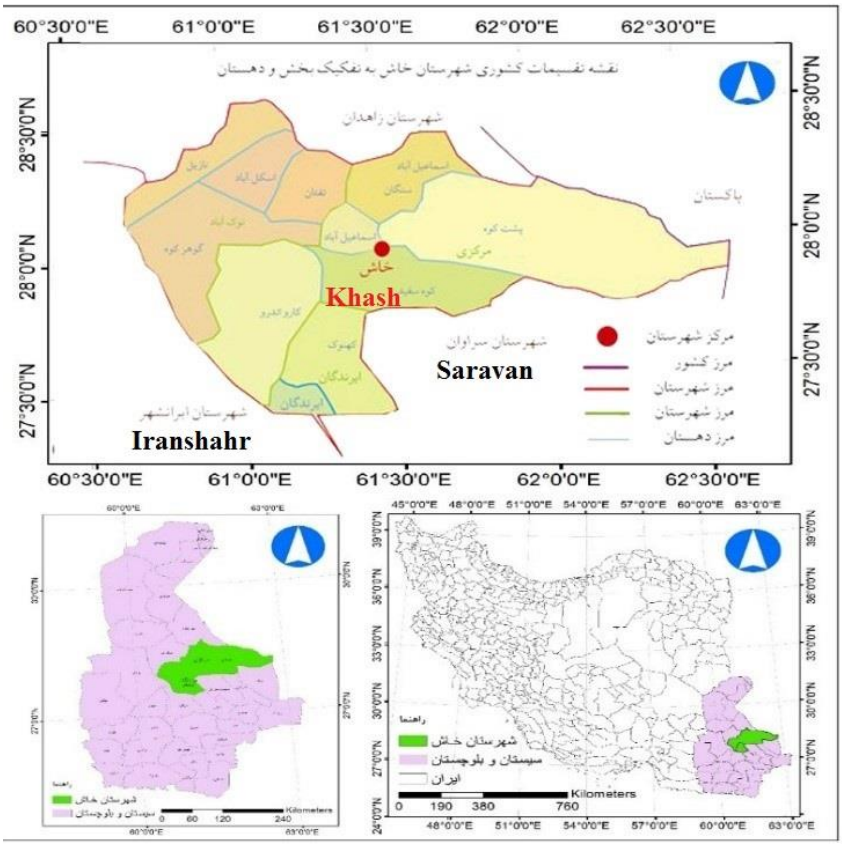
ساله نشان داد که وزش تندبادهایی با سرعت نزدیک به ۱۴۴ کیلومتر در ساعت، در دشتِ کم‌وبیش هموار سیستان محتمل است؛ بنابراین، در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای و ایمن‌سازی سازه‌ها بایستی وقوع این مخاطره طبیعی را مدنظر قرار داد تا در صورت وقوع، خسارات وارده به حداقل ممکن کاهش یابد. خدابنده (Khodabandeh, 2012)، تندبادهای شرق اصفهان را بر پایهٔ بررسی بیشینهٔ روزانهٔ سرعت باد با مدل آماری تجزیه‌وتحلیل سری‌های جزئی و نیز با استفاده از مدل ویبول بررسی کرده است. این پژوهش احتمال وزش بادهایی با سرعت ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه را برای منطقه شرق اصفهان پیش‌بینی کرده است. رئیسی‌پور و همکاران (Raeispoor, Beykrezaei & Tavoosi, 2013)، بیشینهٔ روزانهٔ سرعت باد در استان کرمانشاه را با روش تجزیه‌وتحلیل سری‌های جزئی تحلیل کرده‌اند؛ نتایج این پژوهش بیانگر این مهم است که: احتمال وزش بادهای شدید در هرسال با سرعتی دست‌کم برابر با ۱۸ متر در ثانیه در استان کرمانشاه نزدیک به ۱۰۰ درصد است. حسینی (Hosseini, 2012)، طوفان‌های ماسه‌ای منطقهٔ سیستان را با روش همدید موردمطالعه قرار داده، برای انجام این پژوهش از داده‌های اقلیمی شهرستان زابل استفاده گردید؛ نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که: در هر دورهٔ بازگشت ۱ ساله، احتمال وزش طوفان تا سرعت ۱۸/۸۳۵ متر بر ثانیه نزدیک به ۰/۵۰۰ درصد است. همچنین برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بیشترین سرعت طوفان ۳۴/۳۴۷ متر بر ثانیه خواهد بود محمدخان (Mohammadkhan, 2017)، تغییرات طوفان‌های گردوغبار در ایران را برای بازه زمانی ۱۳۸۴-۱۳۶۴ موردمطالعه قرار داد. نتایج مؤید آن است که به ترتیب با تبخیر، دما و بارش دارای همبستگی می‌باشند. ولی با ژئومورفولوژی و ارتفاع دارای همبستگی نمی‌باشند. دلیل این امر را می‌توان در منشأ خارجی ریزگردها، ارتفاع بالای حرکت آن‌ها و نقش رطوبت در نشست آن‌ها جستجو کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ موردمطالعه

شهر خاش با ارتفاع ۱۳۹۴ متر از سطح آب‌های آزاد در جنوب‌شرق ایران واقع شده است. پس از تبدیل‌شدن بخش نوک‌آباد به شهرستان جدید تفتان، مساحت شهرستان خاش به حدود ۱۵۰۶۷ کیلومترمربع کاهش یافت. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های میرجاوه و تفتان، از جنوب‌غرب و غرب به شهرستان ایرانشهر، از

جنوب و جنوب‌شرق به شهرستان‌های سراوان، سیب سوران و از شرق به کشور پاکستان محدود شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. The location of the study area

۲-۲ روش مطالعه

روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی، و نوع آن کاربردی است. به‌منظور دستیابی به هدف پژوهش و آمار و اطلاعات موردنیاز در رابطه با موضوع موردمطالعه به روش اسنادی-کتابخانه‌ای، اطلاعات گردآوری شد. داده‌ها مورداستفاده در این پژوهش شامل آخرین داده‌های بیشینه باد روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر خاش می‌باشد که از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ به ثبت رسیده است (جدول۱). تغییرات بیشینه باد شهر خاش نشان

می‌دهد که سرعت باد از دهه ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ یعنی آخرین سالی که داده‌های سینوپتیکی ثبت شده، همواره در حال افزایش بوده است. این وضعیت در شکل شماره ۲ نشان داده می‌شود (شکل ۲).

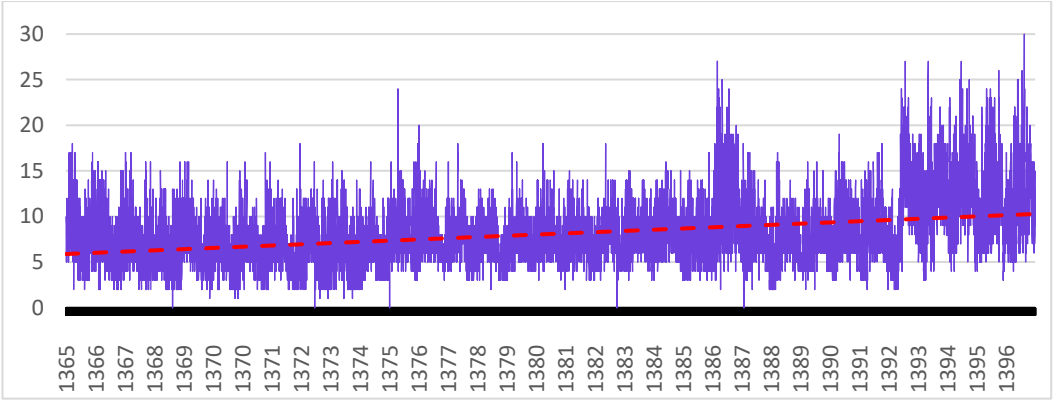
جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی شهر خاش

Table 1- The location of the Meteorological Station in Khash

نوع ایستگاه Type of station	طول دوره آماری The statistical period	ارتفاع Elev	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Station name
سینوپتیک Synoptic	1986-2018	1394	28 ° 13 '	61 ° 12 '	خاش Khash

منبع: سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰

Source: Weather Organization of Sistan and Baluchestan 2021



شکل ۲- تغییرات بیشینه باد روزانهٔ شهر خاش از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷

(منبع: سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان،۱۴۰۰)

Fig.2. Daily Maximum Wind Speed Changes in the City of Khash from 1986 to 2018

Source: Weather Organization of Sistan and Baluchestan 2021

طول بازه زمانی دوره موردمطالعه بر اساس داده‌های موجود از ۱۳۶۵/۰۲/۱۱ تا ۱۳۹۷/۰۶/۳۱ (۱۱۷۶۸روز) می‌باشد که بر اساس آستانهٔ سرعت طوفان بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی[1] (۱۵ متر در ثانیه)، روزهای طوفانی شهر خاش استخراج می‌شود. صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) انجام شد که تفسیر و نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

[1] World Meteorological Organization (WMO)

جدول ۲- نتایج آزمون Run-Test برای داده‌های بیشینه سرعت باد روزانه شهر خاش (۱۳۶۵-۱۳۹۷)

Table 2- The results of the Run-Test for the maximum daily wind speed data of Khash city (1986-2018)

Max. wind speed بیشینه سرعت باد Based on (بر اساس میانگین) (mean	Max. wind بیشینه سرعت باد speed Based on (بر اساس میانه) (median	Variables متغیرها پارامتر ارزیابی Evaluation parameter
8.0907	7.00	Test Value
7477	4350	Cases < Test Value
4291	7418	Cases >= Test Value
۱۱۷۶۸	11768	Total Cases
3302	3606	Number of Runs
۸۱/۴۲-	-37.172	Z
0.000	0.000	Asymp.Sig.(2-tailed)

آزمون فرض: توالی گردش‌ها تصادفی است H_0

H_1: توالی گردش‌ها تصادفی نیست

آماره آزمون: Number of Runs,

R= Z= |Z|

مقدار بحرانی: $Z_{0.01}$= 2.327

چون $|Z| > Z_{0.01}$=2.327 ها می‌باشند فرض H_0 رد می‌شود. پس توالی گردش داده‌ها تصادفی نیست. پس از بررسی همگنی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ترسیم گلباد، گل‌طوفان‌های فصلی شهر خاش ترسیم شده است. برای بررسی احتمال و پیش‌بینی رخداد طوفان از دو روش گامبل و سری‌های جزئی استفاده شده است.

تابع چگالی احتمال در روش گامبل (توزیع حد نهایی نوع اول[1]) به‌صورت رابطه۱ تعریف می‌شود(Yue, 2000; Mahdavi,2006):

رابطه ۱. $f(x) = \frac{1}{\alpha} exp\left[\pm\frac{x-b}{a} - exp\left(\pm\frac{x-b}{a}\right)\right]$ $-\infty < x < +\infty$

که احتمال تجاوز متغیر بیش از یک مقدار معین از رابطه ۲، تعیین می‌شود:

[1] Extreme value type 1

رابطه ۲.
$$F(x) = 1 - e^{-e^{-Y}}$$

همچنین برای برآورد احتمال رخداد رویداد حدی در دوره‌های بازگشت مختلف از روابط ۳ و۴ استفاده می‌شود:

رابطه ۳.
$$X_{T_r} = \bar{X} + k.s$$

رابطه ۴.
$$y = -ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

برای انجام محاسبات در روش سری‌های جزئی نیز از روابط ۵ و ۶ استفاده می‌شود (Bhunya, Singh, Berndtsson & Panda, 2012; Mahdavi,2006; Cunnane, 1979):

رابطه ۵.
$$\lambda(f) = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{N}}$$

که در آن M تعداد داده‌های سری جزئی و N تعداد سال‌های آماری است. با در نظر گرفتن توزیع نمایی[1]، مقدار β از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۶.
$$\beta = \sum_{i=1}^{M} (W_i - W_o)/M$$

همچنین طوفان با دوره بازگشت موردنظر و متوسط سرعت طوفان‌ها از روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شود:

رابطه ۷.
$$W_T = \left(W_o + (\beta \times Ln\,\lambda) + (\beta \times Ln\,T)\right)$$

رابطه ۸.
$$\bar{W} = \left(W_o + (\beta \times Ln\,\lambda) + (0.5772 \times \beta)\right)$$

۳-نتایج و بحث

به‌منظور بررسی طوفان‌های شهر خاش ابتدا بادهای با سرعت پایه بیش از ۱۵ متر بر ثانیه طی بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۶۵ برای ماه‌ها و فصول مختلف به تفکیک استخراج شد. سپس به بررسی آماری آن‌ها پرداخته شد و گل طوفان‌های ماه‌های مختلف و فصول سال ترسیم و درنهایت نتایج پیش‌بینی آماری با دو روش گامبل و

[1] Exponential distribution

سری‌های جزئی ارائه و تحلیل شد. بر اساس داده‌های موجود طی بازه زمانی ۹۷-۱۳۶۵ میانگین رخداد طوفان حدوداً ۲۰ روز در سال محاسبه گردید. همچنین ویژگی‌های آماری طوفان‌ها برای ماه، فصل و سال بر اساس آماره‌های فراوانی، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی، تیزی، کمینه و بیشینه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 محاسبه شد، که نتایج در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند.

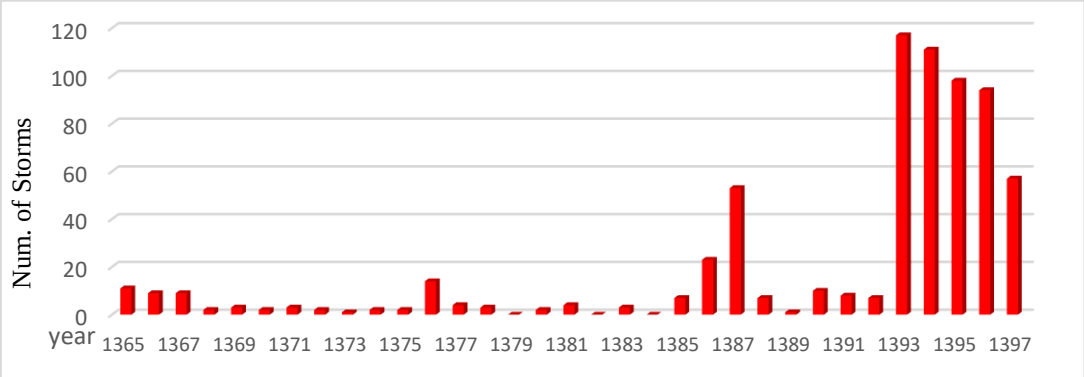
جدول ۳- ویژگی‌های آماری طوفان‌های شهر خاش (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Table 3- Statistical characteristics of storms in Khash City (1986-2018)

ماه Month	بیشینه Max.	کمینه Min.	تیزی Kurtosis	چولگی Skewness	واریانس Variance	انحراف معیار Standard deviation	میانگین سرعت باد (متر در ثانیه) Average wind speed	تعداد طوفان Num. of Storms	تعداد داده Num.
فروردین Apr	22	15	-0.25	0.78	4.48	2.12	17.04	0.73	24
اردیبهشت May	27	15	-0.46	1.04	8.11	2.85	17.95	1.85	61
خرداد Jun	27	15	0.31	0.96	9.10	3.02	18.08	2.27	75
تیر Jul	27	15	0.16	0.98	9.25	3.04	18.11	2.55	84
مرداد Aug	30	15	6.35	2.33	8.04	2.84	17.10	2.55	84
شهریور Sep	24	15	3.00	1.73	4.86	2.20	16.97	2.15	71
مهر Oct	26	15	4.09	1.84	4.76	2.18	17.10	2.94	97
آبان Nov	21	15	-0.11	0.75	2.05	1.43	16.60	2.55	84
آذر Dec	20	15	0.73	1.19	1.96	1.40	16.38	1.12	37
دی Jan	19	15	0.05	0.96	1.56	1.25	16.00	0.58	19
بهمن Feb	23	15	0.60	1.14	6.23	2.50	17.69	0.39	13
اسفند Mar	22	15	1.69	1.42	3.96	1.99	16.80	0.61	20
زمستان Winter	27	15	0.51	1.03	8.07	2.84	17.88	4.85	160
بهار Spring	30	15	2.72	1.64	7.72	2.78	17.41	7.24	239
تابستان Summer	26	15	4.99	1.82	3.30	1.82	16.78	6.61	218

پاییز Fall	23	15	2.11	1.51	3.93	1.98	16.73	1.58	52
سالانه	30	15	2.81	1.61	6.24	2.50	17.27	20.27	669

مطابق جدولِ ۳، در کل دوره آماری، ۶۶۹ مورد رخداد طوفان (سرعت بیش از ۱۵ متر بر ثانیه) در شهر خاش رخ داده است که بیشترین رخداد طوفان در فصل بهار (۲۳۹ رخداد) و کمترین رخداد طوفان در فصل پاییز (۵۲ رخداد) به وقوع پیوسته است. همچنین بیشترین رخداد طوفان در ماه مهر (۹۷) و کمترین رخداد طوفان در ماه بهمن (۱۳) اتفاق افتاده‌است. شدیدترین طوفان‌ها در تیر و ضعیف‌ترین طوفان‌ها در دی به وقوع پیوسته است. از نظر فصلی نیز به‌طور میانگین بیشترین رخداد طوفان در فصل بهار (۷/۲۴ مورد) و کمترین رخداد طوفان در فصل پاییز (۱/۵۸ مورد) بوده است. بازهٔ فصلی زمستان شدیدترین طوفان‌ها و پاییز ضعیف‌ترین طوفان‌ها را به‌طور میانگین تجربه کرده است. ولی در مجموع شدیدترین طوفان با سرعت ۳۰ متر بر ثانیه در ماه می (فصل بهار) رخ داده است. شکل فراوانی رخداد طوفان در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در انتهای دوره آماری به‌طور چشمگیری رخداد طوفان افزایش یافته‌است، از سال ۱۳۹۳ تا انتهای دوره هرسال بیش از ۵۰ رخداد طوفان به وقوع پیوسته ولی قبل از آن فقط در سال ۱۳۸۷ تعداد طوفان‌ها به بیش از ۵۰ مورد به ثبت رسیده و در سایر سال‌ها کمتر از ۱۰ مورد به وقوع پیوسته است (شکل ۳).



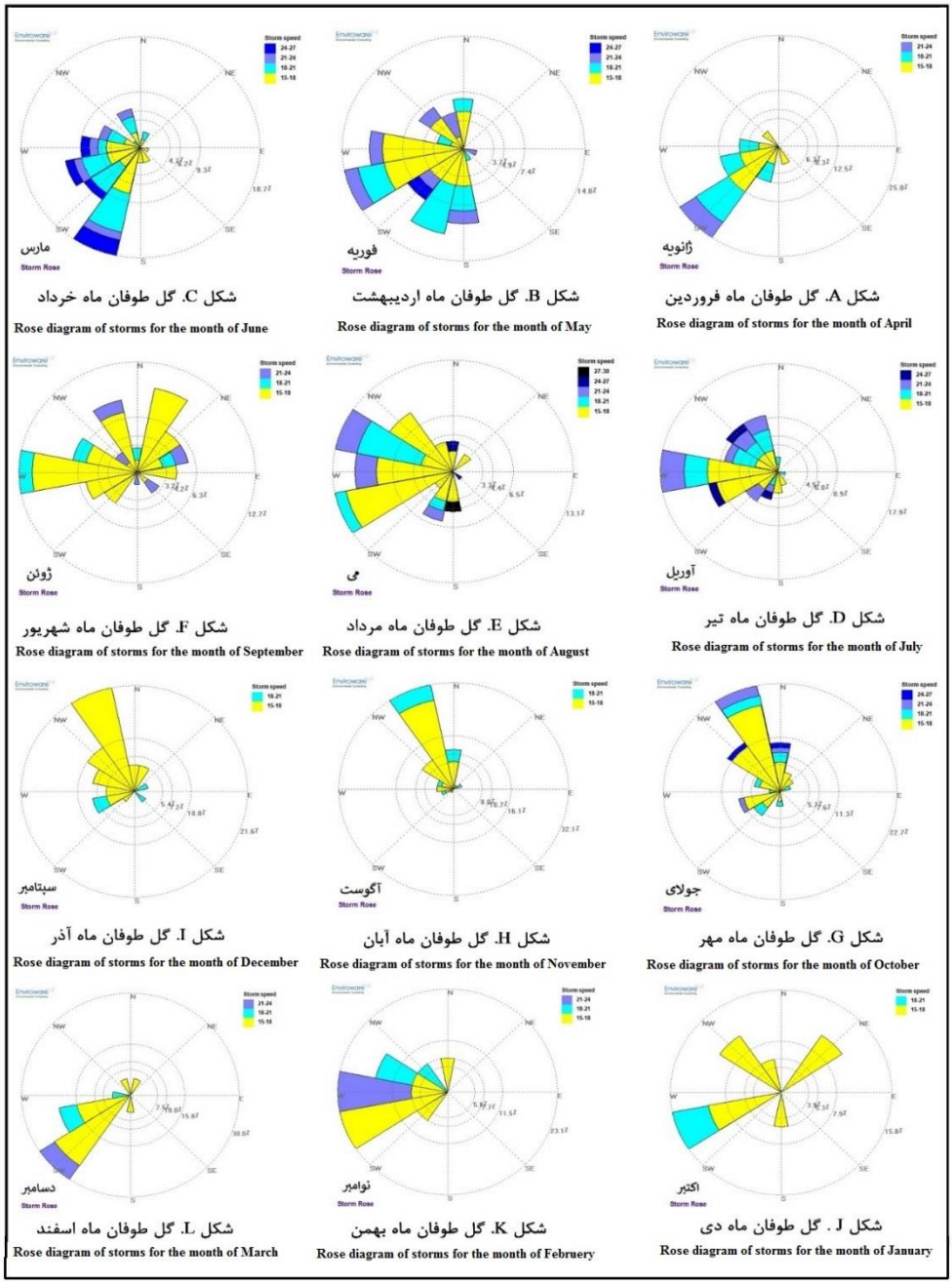
شکل ۳- فراوانی رخداد طوفان در شهر خاش (۱۳۶۵-۹۷)

Fig.3. Frequency of storm occurrences in Khash City (1986-2018)

بر اساس داده‌های سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه گل طوفان‌های ماهانه، فصلی و سالانه شهر خاش با نرم‌افزار WRPLOT 8.0.2 برای شدت و جهت وزش طوفان‌ها برای سال‌های مورد بررسی یعنی سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ترسیم شد.

در فروردین، جهت غالب وزش طوفان‌ها جنوب‌غربی است. همچنین شدیدترین طوفان‌ها نیز از همین جهت وزیده‌اند (شکل(A)۴). در اردیبهشت جهت وزش طوفان‌ها بین جهت جنوبی تا غربی متغیر است، در این ماه شدیدترین طوفان‌ها جهت جنوب‌غربی دارند و نیز وزش طوفان از سمت شمال و شمال‌غرب به‌وقوع پیوسته است(شکل(B)۴). در ماه خرداد، طوفان‌ها غالباً جهتی بین جنوب‌غرب تا شمال‌غرب دارند که فراوانی رخداد طوفان‌های جنوب‌سو بیشتر است(شکل(C)۴). در ماه تیر غالب طوفان‌ها از سمت غرب وزیده‌اند، لیکن وزش طوفان در جهات جنوب‌غربی تا شمال‌غربی نیز رخ داده که اتفاقاً در این جهات طوفان‌ها قوی‌تر بوده‌اند (شکل(D)۴). غالب طوفان‌های ماه مرداد در جهات بین جنوب‌غرب تا غرب و غرب تا شمال‌غرب وزیده‌اند. قوی‌ترین طوفان‌های این ماه از سمت جنوب و شمال وزیده‌اند(شکل(E)۴). تنوع جهت وزش طوفان‌ها در ماه شهریور بیشتر است، در این ماه تقریباً وزش طوفان از تمام جهات رخ داده ولی فراوانی رخداد طوفان از سمت غرب بیشتر است. شدیدترین طوفان‌ها جهت شمال‌غربی، شمال‌شرقی، جنوب‌شرقی و جنوبی را داشته‌اند (شکل(F)۴). در ماه‌های مهر، آبان و آذر بیشترین فراوانی رخداد طوفان از سمت بین شمال‌غرب تا شمال است. شدیدترین طوفان‌ها در ماه‌های مهر و آبان جهتی بین شمال‌غرب تا شمال دارند. به‌طور محدود از سمت جنوب‌غرب نیز طوفان‌های شدیدی وزیده‌است(شکل‌های(G,H,I)۴). ولی در آذر شدیدترین طوفان‌ها از سمت جنوب‌غرب، جنوب‌شرق و شمال‌شرق وزیده‌اند(شکل(I)۴). بیشترین و شدیدترین طوفان‌های ماه دی از جهتِ جنوب‌غرب تا غرب بوده است. این ماه که تقریباً آرام‌ترین ماه سال محسوب می‌شود، وزش طوفان از جهت‌های شمال‌غرب، شمال شرق و جنوب انجام شده است(شکل(J)۴). بیشترین فراونی رخداد طوفان در ماه بهمن نیز از سمت غرب است، در این ماه، شدیدترین وزش طوفان بین جهت غرب تا شمال‌غرب می‌باشد. در این ماه به‌طور محدودتر از جهت‌های جنوب‌غربی، شمال‌غربی و شمال طوفان رخ داده است(شکل(K)۴). بیشترین فراوانی رخداد طوفان در ماه اسفند از سمت جنوب‌غرب و بعد از آن مابین جهات جنوب‌غرب تا غرب است. شدت وزش طوفان نیز در

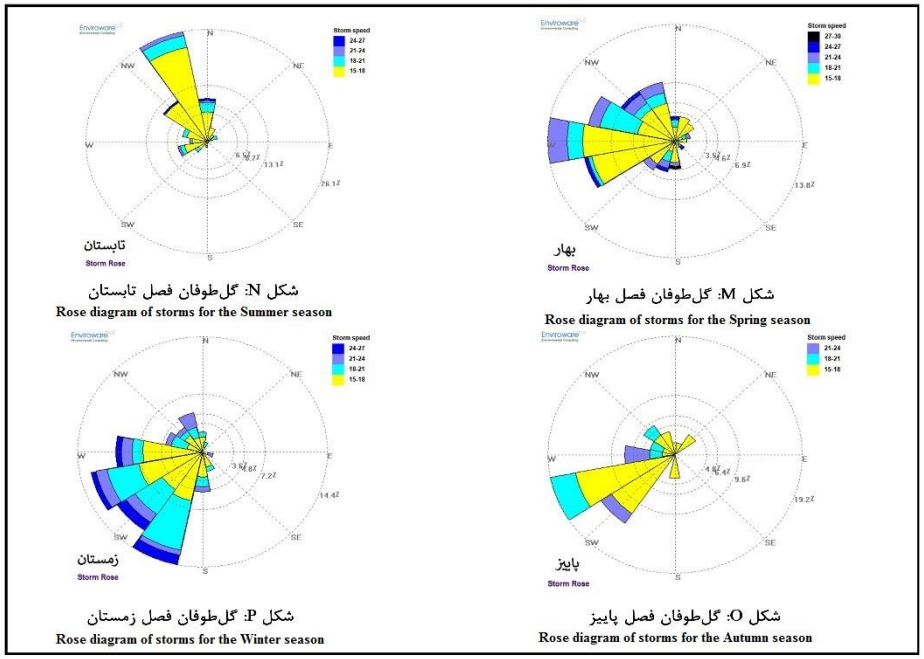
همین جهات مشاهده می‌شود. در این ماه به‌طور محدود از جهات دیگر نیز طوفان رخ داده است(شکل(L)۴).



شکل ۴- گل‌طوفان‌های شهر خاش در دوازده ماهِ سال (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Fig.4. Rose diagram of storms in Khash city across the twelve months of the year (1986-2018)

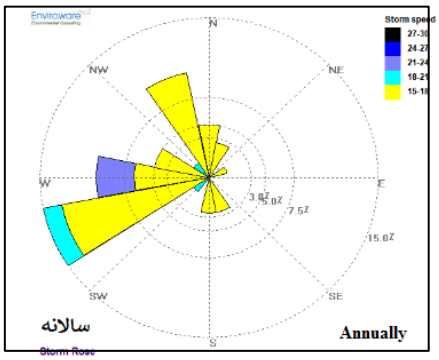
گل طوفان‌های فصلی و سالانه نیز بر اساس داده‌های ثبت شده بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ سرعت و جهت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه ترسیم شده است. بر این اساس تنوع وزش طوفان در فصل بهار بسیار زیاد بوده و از تمام جهات تقریباً شهر خاش شاهد ورود طوفان است. لیکن جهت غالب طوفان‌ها در فصل بهار، غربی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی است. با این وجود شدیدترین طوفان این فصل، که اتفاقاً شدیدترین طوفان شهر خاش طی دوره آماری محسوب می‌شود، از سمت جنوب وزیده‌اند (شکل(M)۵). در تابستان بیشترین فراوانی طوفان از سمت شمال غرب بوده، در این فصل از سمت‌های شمال، جنوب غرب و به‌طور محدودتر از بقیه جهات طوفان‌های ضعیفی به وقوع پیوسته‌است (شکل(N)۵). در فصل پاییز که آرام‌ترین فصل سال است، طوفان‌ها غالباً از سمت جنوب غرب می‌وزند ولی شدیدترین طوفان‌ها جهت غربی و جنوب‌غربی دارند (شکل(O)۵). فصل زمستان که منطبق بر ورود هوای سرد و بارندگی است، با افزایش فراوانی طوفان‌ها همراه بوده، در این فصل غالب طوفان‌ها از سمت جنوب غرب و غرب می‌وزند، همچنین جهت وزش شدیدترین طوفان‌های این فصل نیز منطبق بر همین جهات است (شکل(P)۵).



شکل ۵- گل‌طوفان‌های شهر خاش در فصول چهارگانه (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Fig. 5. Rose diagram of storms in Khash city for the four seasons (1986-2018)

در مجموع گل‌طوفان سالانه شهر خاش بر اساس داده‌های ثبت شده (۱۳۶۵ تا۱۳۹۷) نشان می‌دهد بیشترین فراوانی رخداد طوفان منطبق بر جهات جنوب‌غربی، شمال‌غربی و غرب است که منطبق بر جهت شدیدترین طوفان‌های شهر خاش نیز می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- گل طوفان سالانه شهر خاش

Fig. 6. Annual rose diagram of stoorms in Khash City

۳-۱- پیش‌بینی آماری طوفان‌های خاش با روش گامبل

پس از انجام محاسبات با روش توزیع گامبل برای بازه ماهانه، فصلی و سالانه، احتمال و دوره بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله طوفان‌ها با شدت مختلف به دست آمد که نتایج در جداول ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند. در دورهٔ بازگشت یک سالهٔ طوفان، در هیچ ماهی طوفان (سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر) نخواهد بود. ولی در دوره بازگشت دو ساله در همه ماه‌ها احتمال رخداد طوفان وجود دارد. شدیدترین طوفان برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای ماه تیر، با سرعت ۲۹/۱ متر بر ثانیه محاسبه شد. ماه‌های اردیبهشت تا مرداد، پتانسیل رخداد شدیدترین طوفان‌ها را در شهر خاش دارند و ماه‌های دی، آذر و آبان، آرام‌ترین ماه‌های سال در شهر خاش هستند.

جدول ۴- پیش‌بینی طوفان‌های ماهانه شهر خاش در توزیع گامبل

Table 4- Monthly storm prediction for Khash city in the Gumbel distribution

ماه	Probability احتمال	٪ 1	٪ 2	٪ 5	٪ 10	٪ 20	٪ 50	٪ 99

Month	دورهٔ بازگشت (سال) Return Period(yr)	100	50	20	10	5	2	1
	فروردین.Apr	24.7	23.4	21.6	20.3	18.9	16.7	12.8
	اردیبهشتMay	28.3	26.5	24.1	22.3	20.4	17.5	12.2
	خرداد.Jun	29	27.1	24.6	22.7	20.7	17.6	12
	تیر.Jul	29.1	27.2	24.7	22.8	20.7	17.6	11.9
	مرداد.Aug	27.4	25.6	23.3	21.4	19.5	16.7	11.4
	شهریور.Sep	24.9	23.6	21.7	20.3	18.9	16.6	12.5
	مهر.Oct	25	23.6	21.8	20.4	19	16.8	12.7
	آبان.Nov	21.8	20.9	19.7	18.8	17.8	16.4	13.7
	آذر.Dec	21.4	20.6	19.4	18.5	17.6	16.2	13.5
	دی.Jan	20.5	19.7	18.7	17.9	17.1	15.8	13.5
	بهمن.Feb	26.8	25.2	23.1	21.5	19.8	17.3	12.6
	اسفند.Mar	24	22.8	21.1	19.8	18.5	16.5	12.8

نتایج محاسبات بازه زمانی فصلی و سالانه نشان داد که در دورهٔ بازگشت ۱ ساله احتمال رخداد طوفان وجود ندارد و عملاً از دوره بازگشت ۲ ساله می‌توان شاهد رخداد طوفان بود. از نظر فصلی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله شدیدترین طوفان‌ها در زمستان و بهار و کم شدت‌ترین طوفان‌ها در فصل تابستان به وقوع خواهد پیوست. در زمستان که رخداد طوفان‌ها گاه همراه با بارش شدید است و احتمال رخداد توامان طوفان و سیلاب وجود دارد که اهمیت مخاطره را دو چندان خواهد کرد. لذا این محاسبات پایه علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی و همچنین انطباق مقاومت انواع سازه با شدت آن می‌باشد تا از این طریق میزان خسارات به حداقل برسد.

جدول ۵- پیش‌بینی طوفان‌های فصلی و سالانه شهر خاش در توزیع گامبل

Table 5- Prediction of seasonal and annual storms in Khash city using the Gumbel distribution

فصل و سال Season & year	Probability احتمال	٪ 1	٪2	٪5	٪10	٪20	٪ 50	٪ 99
	دورهٔ بازگشت (سال) (Return period yr)	100	50	20	10	5	2	1
زمستان Winter		28.2	26.4	24.0	22.2	20.3	17.4	12.1
بهار Spring		27.5	25.8	23.5	21.7	19.8	17	11.8
تابستان Summer		23.4	22.2	20.7	19.6	18.3	16.5	13.1
پاییز Autumn		23.9	22.7	21	19.8	18.4	16.4	12.7
سالانه Annually		26.3	24.8	22.7	21.1	19.4	16.9	12.2

۲-۳- پیش‌بینی آماری طوفان‌های خاش با روش سری‌های جزئی

با انجام محاسبات به کمک معادلات روش سری‌های جزئی برای بازه ماهانه، فصلی و سالانه، احتمال و دورهٔ بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله طوفان‌ها با شدت مختلف به دست آمد. پارامترهای محاسبه روش سری‌های جزئی برای بازه زمانی ماهانه در جدول۶ نشان داده شده است. بیشترین طوفان‌ها در ماه‌های مهر، تیر، مرداد و آبان و کمترین آن در ماه‌های بهمن، دی، اسفند و فروردین اتفاق افتاده‌است.

جدول ۶- محاسبه پارامترهای سری جزئی برای بازه زمانی ماهانه شهر خاش

Table 6- Calculation of partial series parameters for the monthly time period of Khash city

ماه **Month**	تعداد طوفان **Number of Storms**	λ	β	β*lnλ	$\overline{w}$
Jul.تیر	84	2.55	3.11	2.90	19.7
Aug.مرداد	84	2.55	2.10	1.96	18.2
Sep.شهریور	71	2.15	1.97	1.51	17.6
Oct.مهر	97	2.94	2.10	2.27	18.5
Nov.آبان	84	2.55	1.60	1.49	17.4
Dec.آذر	37	1.12	1.38	0.16	16.0
Jan.دی	19	0.58	1.00	-0.55	15.0
Feb.بهمن	13	0.39	2.69	-2.51	14.0
Mar.اسفند	20	0.61	1.80	-0.90	15.1
Apr.فروردین	24	0.73	2.04	-0.65	15.5
Mayاردیبهشت	61	1.85	2.95	1.81	18.5
Jun.خرداد	75	2.27	3.08	2.53	19.3

در بازه زمانی ماهانه در ماه‌های دی، بهمن، اسفند و فروردین در دوره بازگشت یک ساله احتمال رخداد طوفان (سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر) وجود ندارد. ولی در سایر ماه‌ها احتمال رخداد طوفان وجود داشته، که شدیدترین آن در ماه تیر با سرعت ۱۷/۹ متر بر ثانیه می‌باشد. در دوره بازگشت دو ساله فقط در ماه بهمن احتمال رخداد طوفان وجود ندارد و در سایر ماه‌ها احتمال رخداد طوفان انتظار وجود دارد. برای دوره بازگشت ۲ ساله نیز احتمال وزش شدیدترین طوفان‌ها برای ماه‌های تیر و خرداد است. در کل شدیدترین طوفان‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف در ماه‌های تیر، خرداد و اردیبهشت و ضعیف‌ترین طوفان‌ها برای ماه‌های بهمن، دی، آذر و اسفند پیش‌بینی شد (جدول۷).

جدول ۷- پیش‌بینی طوفان‌های ماهانه شهر خاش به روش سری‌های جزئی

Table 7- Monthly storm prediction for Khash city using partial series method

ماه Month	احتمال Probability	٪ 99	٪ 50	٪20	٪10	٪5	٪2	٪1
	دوره بازگشت Return period	1	2	5	10	20	50	100
	تیر.Jul	17.9	20.1	22.9	25.1	27.2	30.1	32.2
	مرداد.Aug	17.0	18.4	20.3	21.8	23.2	25.2	26.6
	شهریور.Sep	16.5	17.9	19.7	21.1	22.4	24.2	25.6
	مهر.Oct	17.3	18.7	20.7	22.1	23.6	25.5	27.0
	آبان.Nov	16.5	17.6	19.1	20.2	21.3	22.7	23.8
	آذر.Dec	15.2	16.1	17.4	18.3	19.3	20.5	21.5
	دی.Jan	14.4	15.1	16.1	16.8	17.4	18.4	19.1
	بهمن.Feb	12.5	14.4	16.8	18.7	20.6	23.0	24.9
	اسفند.Mar	14.1	15.3	17.0	18.2	19.5	21.1	22.4
	فروردین.Apr	14.3	15.8	17.6	19.1	20.5	22.3	23.8
	اردیبهشت May	16.8	18.9	21.6	23.6	25.7	28.4	30.4
	خرداد.Jun	17.5	19.7	22.5	24.6	26.8	29.6	31.7

پارامترهای مورد نیاز برای برآورد شدت طوفان‌های فصلی و سالانه در جدول شمارهٔ ۸ نمایش داده شده است؛ بیشترین رخداد طوفان متعلق به فصل بهار و کمترین آن متعلق به فصل پاییز است.

جدول ۸- محاسبه پارامترهای سری جزئی برای بازه زمانی فصلی و سالانه شهر خاش

Table 8- Calculation of partial series parameters for seasonal and annual time periods in Khash city

فصل و سال Season & year	تعداد طوفان Number of Storms	λ	B	$\beta^*\ln\lambda$	$\overline{W}$
بهار Spring	239	7.24	2.41	4.78	21.2
تابستان Summer	218	6.61	1.78	3.37	19.4
پاییز Autumn	52	1.58	1.73	0.79	16.8
زمستان Winter	160	4.85	2.88	4.54	21.2
سالانه Annually	669	20.27	2.27	6.82	23.1

در بازه زمانی فصلی و سالانه در تمام دوره‌های بازگشت احتمال رخداد طوفان وجود دارد. تقریباً در تمام دوره‌های بازگشت و احتمالات شدیدترین طوفان‌ها در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق خواهد افتاد. بطوریکه

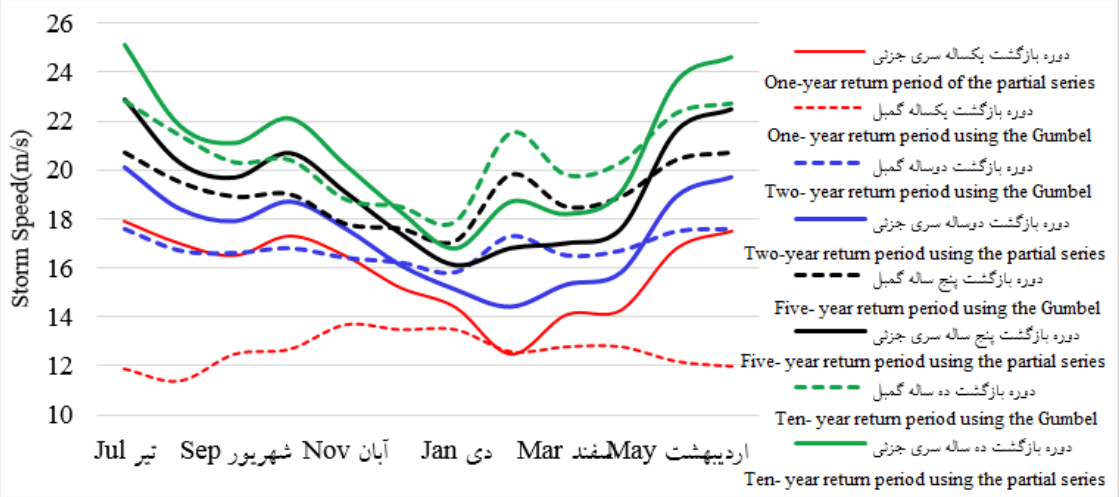
در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در فصل زمستان انتظار رخداد طوفان با شدت ۳۲/۸ متر بر ثانیه و در بهار احتمال رخداد طوفان با شده ۳۰/۹ متر بر ثانیه وجود دارد (جدول ۹).

جدول ۹- پیش‌بینی طوفان‌های فصلی و سالانه شهر خاش به روش سری‌های جزئی

Table 9- Prediction of seasonal and annual storms in Khash city using partial series method

فصل و سال Season & year	Probability احتمال	٪ 1	٪2	٪5	٪10	٪20	٪ 50	٪ 99
	دورهٔ بازگشت (سال) Return period(yr)	1	2	5	10	20	50	100
Winter زمستان		19.8	21.5	23.7	25.3	27	29.2	30.9
Spring بهار		18.4	19.6	21.2	22.5	23.7	25.3	26.6
Summer تابستان		15.8	17	18.6	19.8	21	22.6	23.8
Autumn پاییز		19.5	21.5	24.2	26.2	28.2	30.8	32.8
Annually سالانه		21.8	23.4	25.5	27	28.6	30.7	32.3

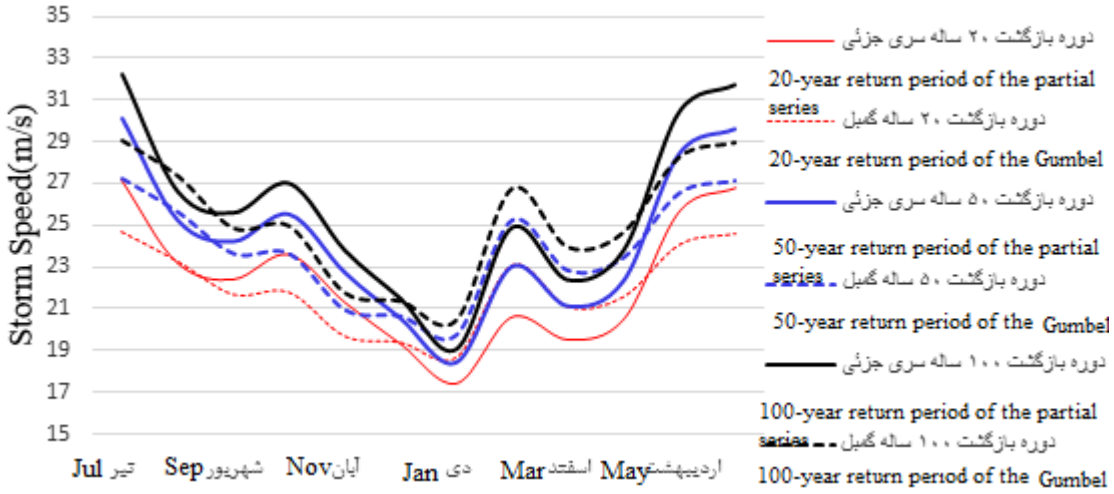
مقایسه نتایج ماهانه روش سری‌های جزئی و توزیع گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ساله در شکل ۷ نمایش داده شده است. در دوره بازگشت ۱ ساله فقط در ماه بهمن نتایج نزدیک به هم و در بقیه ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بالاتری را برآورد کرده است. در دوره بازگشت ۲ ساله از آذر تا فروردین توزیع گامبل مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده و در بقیه ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بیشتری را برآورد نموده‌است. در دوره بازگشت ۵ ساله و ۱۰ ساله نیز شرایط مشابه دوره بازگشت ۲ ساله است؛ اما در مجموع مقادیر بالاتر حدی توسط روش سری جزئی پیش‌بینی شده است (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه نتایج ماهانه روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ساله

Fig.7. Comparison of monthly results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, and 10 years

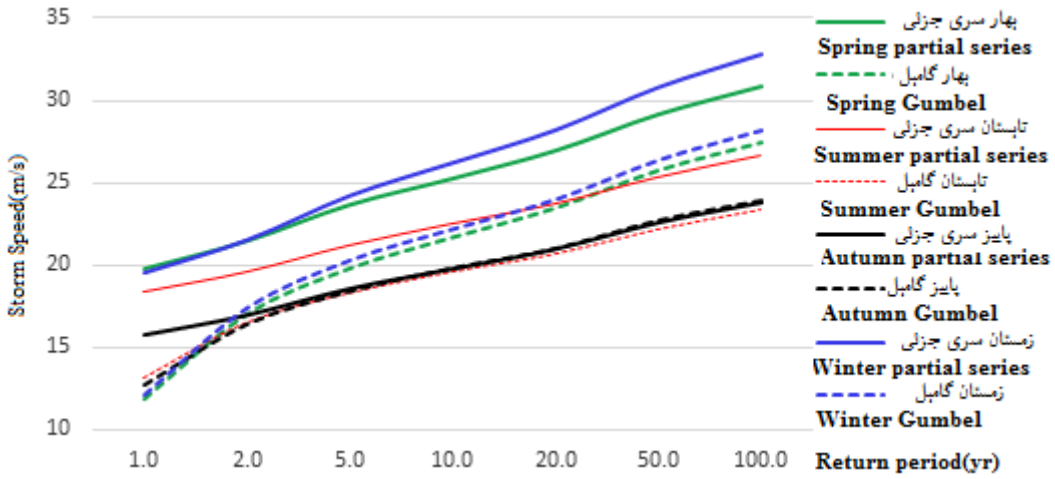
همچنین در دوره‌های بازگشت ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز بین ماه‌های آذر تا فروردین، توزیع گامبل مقادیر بالاتری پیش‌بینی نموده و در سایر ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده است؛ نکتهٔ حائز توجه، مقادیر حدی است که مجدد توسط مدل سری جزئی مقادیر بالاتری را در تیر، خرداد و اردیبهشت برآورد کرده است (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه نتایج ماهانهٔ روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

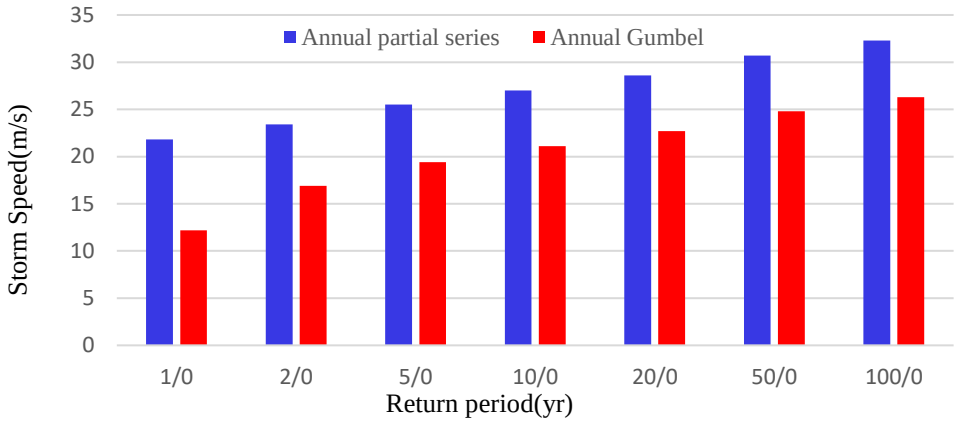
Fig. 8. Comparison of monthly results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 20, 50, and 100 years

نتایج پیش‌بینی فصلی اندکی متفاوت است. در فصل پاییز مقادیر دورهٔ بازگشت یک ساله در توزیع گامبل کمتر از روش سری جزئی است. ولی در دوره‌های بازگشت دیگر نتایج تقریباً مشابه یکدیگر هستند. در بقیه فصول به‌طور آشکارتری، پیش‌بینی روش سری‌جزئی، مقادیر بالاتری را برآورد نموده‌است. فصل زمستان و بهار شدیدترین طوفان‌ها را در روش سری جزئی پیش‌بینی کرده‌اند (شکل ۹). در مقیاس سالانه نیز نتایج به همین منوال تکرار شده و روش سری جزئی مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده است. البته در مقیاس سالانه در دورهٔ بازگشت یک ساله اختلاف نتایج روش سری جزئی و توزیع گامبل چشمگیرتر است (شکل ۱۰).



شکل ۹- مقایسه نتایج فصلی روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Fig. 9. Comparison of seasonal results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years.



شکل ۱۰- مقایسه نتایج سالانه روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Fig. 10. Comparison of annual results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years.

۴- جمع‌بندی

شهر خاش به سبب موقعیت جغرافیایی ویژه از توده‌های هوایی حاره‌ای و برون‌حاره‌ای متأثر است. برخی از این توده‌های هوایی سبب وزش‌های طوفان‌های سهمگین می‌شوند. بر این اساس تعداد پدیده‌های گردوخاکی استان سیستان و بلوچستان بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور در جداول ۱۰ و ۱۱ آمده است.

جدول ۱۰- کدهای مرتبط با پدیده‌های گردوخاک

Table 10- Codes related to dust storm phenomena

Num.	Code definitions تعاریف کدها
06	گردوخاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است. Suspended dust and sand in the air, brought to the station from outside areas by a dust storm.
07	گردوخاک یا شنی که به‌وسیلهٔ باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است. Dust or sand that has been raised by the wind at the station or nearby during the observation hour
09	طوفان گردوخاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه Dust storm at the observation hour around the station
30	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن–طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has decreased during the past hour
31	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن–طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has remained the same during the past hour.
32	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has increased during the past hour.
33	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has remained the same during the past hour.
34	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has increased during the past hour.

منبع: سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰

جدول ۱۱- تعداد پدیده‌های گردوخاکی استان سیستان و بلوچستان طی دورهٔ ۱۳۶۵-۱۳۹۷

Table 11- Number of dust storm events in Sistan and Baluchestan province during the period of 1986-2018

ایستگاه Station	کدهای 06 و 07		کدهای 09 و 30 تا 35		جمع کل Total Sum	میانگین کل Total Mean
	مجموع Sum	میانگین Mean	مجموع Sum	میانگین Mean		
زابل Zabol	27333	667	1224	30	28557	697
زاهدان Zahedan	8946	218	85	2	9031	220
خاش Khash	4062	99	33	0.8	4095	100
سراوان Saravan	4490	110	19	0.5	4509	110
ایرانشهر Iranshahr	5854	143	96	2.3	5950	145
چابهار chabahar	3103	76	2	0.05	3105	76

طبق تعریف سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)، بحران به‌عنوان «وضعیت با سطح بالایی از عدم اطمینان که فعالیت‌های اصلی و یا اعتبار یک سیستم را مختل می‌کند و نیاز به اقدام فوری دارد» تعریف می‌شود؛ بنابراین طوفان‌های حدی در شهر خاش به‌عنوان یک بحران این منطقه را تحت تأثیر قرارداده و سبب خسارت‌های مالی و گاه جانی می‌شوند. ازین رو اقدامات کاهشی در مدیریت قبل از وقوع بحران، به‌عنوان حیاتی‌ترین موضوع قابل توجه و پیگیری است. نتایج توصیف آماری داده‌ها اعم از میانگین، بیشینه و فراوانی وزش‌های بیش از ۱۵ متر بر ثانیه نشان داده که فصل‌های زمستان و بهار بیشترین فراوانی و شدت طوفان را دارند و پاییز آرام‌ترین فصل سال است. همچنین در بازه زمانی ماهانه تیر و خرداد بیشترین و ماه‌های بهمن و دی کمترین فراوانی و شدت طوفان را نشان دادند. نتایج ترسیم گل طوفان‌ها نشان داد که غالب طوفان‌های شهر خاش از سمت جنوب غرب وارد منطقه شده‌اند و پس از آن وزش‌های با جهت غربی، جنوبی و شمال غربی بیشترین فراوانی طوفان را داشته‌اند که بیانگر اثرات درون مرزی و ضرورت تدوین برنامه راهبردی مدیریت بحران برای استان‌های نیمه جنوبی با تاکید بر جنوب غربی کشور است؛ بنابراین طوفان‌های شهر خاش نتیجهٔ فعالیت سامانه‌های سودانی، غربی و گاه موسمی هستند که در فصل‌های منطبق بر آن‌ها طوفان‌ها غالباً رخ داده و شدت گرفته‌اند. این وضعیت نیازمند همکاری‌های زیست‌محیطی فعال و چند جانبه کشورهای همجوار در یک چشم انداز ۲۰ ساله است.

بررسی آماریِ دو روش پیش‌بینی توزیع گامبل و سری‌های جزئی، نشان داد روش سری‌های جزئی، دوره‌های بازگشت مختلف طوفان‌ها با شدت بیشتری و در روش گامبل شدت کمترپیش‌بینی شده‌اند؛ بنابراین روش سری‌های جزئی به سبب پیش‌بینی‌های حد بالاتر، روش مناسب‌تری نسبت به توزیع گامبل برای پیش‌بینی طوفان‌های شهر خاش می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های (Tavosi & Raeispoor, 2011; Raeispoor et al., 2013; Khodabandeh, 2012) همسو می‌باشد. یافته‌ها و نتایج این پژوهش در پیش‌بینی شدت طوفان‌ها در شهر خاش، ضرورت پیشگیری و برنامه‌ریزی راهبردی در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی را با تاکید بر پایداری کالبدی و اجتماعی دوچندان کرده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در سند توسعه و آمایش استان سیستان و بلوچستان و شهر خاش اقدامات اجرایی برای کاهش اثرات پدیده ماهانه و فصلی طوفان از سوی مدیران محلی و استانی در دستور کار قرار گیرد.

References

Bajo, M. (2020). Improving storm surge forecast in Venice with a unidimensional Kalman filter. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *239*, 106773. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106773

Baker, A. J. (2014). *Lagrangian modelling of precipitation and speleothem proxy oxygen isotope systematics in the East Asian Summer Monsoon region*. Durham theses, Durham University. http://etheses.dur.ac.uk/11460/

Balamir, M. (2007). Afet Riski ve Planlama Politikaları. *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB, Ankara, ss. 31-43.

Bhunya, P. K., Singh, R. D., Berndtsson, R., & Panda, S. N. (2012). Flood analysis using generalized logistic models in partial duration series. *Journal of Hydrology*, *420*, 59-71. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.037

Campbell, S. (1996). Green cities, growing cities, just cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable 706 Development. *Journal of the American Planning Association*, *62*, 3, 296-312.

Coppola, D. P. (2006). *Introduction to International Disaster Management*. Elsevier.

Cunnane, C. (1979). A note on the Poisson assumption in partial duration series models. *Water Resources Research*, *15*(2), 489-494. https://doi.org/10.1029/WR015i002p00489

Farajzadeh Asal, M., & Alizadeh, Kh. (2010). Time and place analysis of dust storms in Iran. *Space Planning and Planning*, *15*(1), 65-84. [In Persian] http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-6166-fa.html

Gencer, E. A. (2013). Natural Disasters, Urban Vulnerability, and Risk Management: A Theoretical Overview. *The interplay between urban development, vulnerability, and risk management: A case study of the Istanbul metropolitan area*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29470-9_2

Hosseini, S. M. (2012). *Synoptic analysis of severe sandstorms in Sistan region*. Master's thesis. University of Sistan and Baluchistan. [In Persian]

Houghton, J. T. (1996). *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2). Cambridge University Press.

Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, *82*(1), 35-45. https://doi.org/10.1115/1.3662552

Kapucu, N., Hawkins, C. V., & Rivera, F. I. (2013). Disaster preparedness and resilience for rural communities. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, *4*(4), 215-233. https://doi.org/10.1002/rhc3.12043

Khodabandeh, A. (2012). *Simultaneous analysis of strong winds in the east of Isfahan city*. Master's thesis. University of Sistan and Baluchestan. [In Persian]

Kim, S., Pan, S., & Mase, H. (2019). Artificial neural network-based storm surge forecast model: Practical application to Sakai Minato, Japan. *Applied Ocean Research*, *91*, 101871. https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.101871

Kiyani, S., Kiyani, V., & Behdarvand, N. (2021). Forecasting occur probability intense storm using Gumbel Distribution; Case study: Nahavand township. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, *2*(6), 219-226. https://doi.org/10.22034/CAJESTI.2021.06.01

Kohno, N., Dube, S. K., Entel, M., Fakhruddin, S. H. M., Greenslade, D., Leroux, M. D., ... & Thuy, N. B. (2018). Recent progress in storm surge forecasting. *Tropical Cyclone Research and Review*, *7*(2), 128-139. https://doi.org/10.6057/2018TCRR02.04

Lin, G. (2002). Dust storm in the 1930 and sand storm in 1999 in the USA. *Global Alarm, dust and sand storm from the world dry lands*,160-170.

Liu, M., Westphal, D. L., Wang, S., Shimizu, A., Sugimoto, N., Zhou, J., & Chen, Y. (2003). A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *108*(D23). https://doi.org/10.1029/2002JD003178

Mahdavi, M.(2006). *Applied Hydrology*. Tehran: Tehran University Press. [In Persian]

Mohammadkhan, S. (2017). Status and trends of dust storms in Iran from 1364 to 1384. *Journal of Range and Watershed Managment*, *70*(2), 495-514. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.123300.867

Ocal, A. (2021). Disaster management in Turkey: a spatial approach. *International Journal of Disaster Risk Management*, *3*(1), 15-22. https://doi.org/10.18485/ijdrm.2021.3.1.2

Pakzad, E., Kalat, O. P., & Pirzaman, Y. K. (2024). Comparative study of the state of sustainability between Iran and Turkey using the triangular sustainable development model. *Environmental Engineering & Management Journal*, *23*(2), 331-344. http://doi.org/10.30638/eemj.2024.027

Pilehvar, A. A., Jamshidzehi, J., & Pirean kalat, O. (2022). Capacity Assessment of the Vulnerability of Settlements in the Tahlab Watershed of Sistan and Baluchistan Through Accidental Floods. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(2), 193-218. [In Persian] http://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72667.1111

Piryan Kalat, O., Kamkar Ghorbanzadeh, R., Zamani, P., & Ziari, K. (2023). Evaluating and Identifying Potential Areas for the Construction of Industrial Parks in Urmia City. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 217-240. [In Persian] http://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78283.1268

Pourgholam Amiji, M., Ansari Ghojghar, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., & Araghinejad, S. (2020). Comparing the Performance of SARIMA and Holt-Winters Time Series Models With Artificial Intelligence Methods in Dust Storms Forecasting (Case Study: Sistan and Baluchestan Province). *Physical Geography Research*, *52*(4), 567-587. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.303847.1007524

Raeispoor, K., Beykrezaei, E., & Tavoosi, T. (2013). Statistical Analyze and Predicting Incident Probability of Stormy and Strong Winds in Kermanshah Province. *Geography and Environmental Planning*, *24*(3), 93-106. [In Persian] https://dor.20.1001.1.20085362.1392.24.3.9.8

Song, Z. (2004). A numerical simulation of dust storms in China. *Environmental Modelling & Software*, *19*(2), 141-151. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00116-6

Tavosi, T., & Raeispoor, K. (2011). Statistical analysis and prediction of occurrence probability of violent. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, *1*(2), 93-105. [In Persian] https://jargs.hsu.ac.ir/article_161268.html?

Wälitalo, L., & Missimer, M. (2022) The Organization of Social Sustainability Work in Swedish Eco-Municipalities. *Sustainability, 14*(5), 2770. https://doi.org/10.3390/su14052770

Wetphal, D. L. (2002). Status and Future of Dust Storm Forecasting, Available in naval research laboratory

World Bank & UN. (2010). *Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention*. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development.

Yue, S. (2000). The Gumbel logistic model for representing a multivariate storm event. *Advances in Water Resources*, *24*(2), 179-185. https://doi.org/10.1016/S0309-1708(00)00039-7

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.367-392 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.86229.1452 Open access

Analysis of the relationship between land use changes and land cover metrics (The Case of Barandozchay Watershed)

Mohammad Koohani[a], Javad Behmanesh[b*]

[a] *Ph.D. Student in Water Engineering , Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.*
[b] *Professor in Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.*

Received: 5 January 2024 ***Revised: 27 April 2024*** ***Accepted: 12 May 2024***

Abstract

This study analyzes the relationship between land use changes over different time periods and land cover metrics using data from the Barandozchay watershed in West Azerbaijan Province, Iran. To achieve this goal, Sentinel-2 satellite images for the years 2016 and 2022 were obtained from the European Union's Copernicus website. Pre-processing techniques were applied using various software tools, and the images were classified through knowledge-based and object-oriented methods in the eCognition software environment. Land use maps were generated, and land cover metrics were quantified and calculated at landscape and class levels using Fragstats 8.2 software.

The results at the class level showed that the split index (SPLIT) had the highest value for the blue area, while the cohesion index (COHESION) had the lowest value in both years. The grassland class exhibited the highest SHAPE-MN and LSI indices, indicating patch disorder. If protective measures are not implemented, further degradation of grasslands in the Barandozchay watershed could occur in the coming years.

At the landscape level, the results revealed a decreasing trend in most indices related to watershed connectivity. The ENN_MN index, representing the mean Euclidean distance between nearest neighbors, the CONTAG index, representing contagion, and the COHESION index, representing patch cohesion, all showed a decline from 2016 to 2022. Conversely, the LSI and NP indices displayed an increasing trend, indicating greater irregularity within the area. The findings also showed that the blue area experienced the highest level of fragmentation, whereas dry farming exhibited the least. Additionally, grassland patches demonstrated the highest connectivity, while dry farming patches had the lowest. At the landscape level, the results indicated a uniform distribution of patches in the Barandozchay watershed. The increasing number of patches, extended margins, and reduced patch size led to fragmentation and the formation of smaller, isolated patches.These outcomes highlight the ongoing land use changes and their impact on the structure and connectivity of the landscape. They provide valuable insights for land use management and conservation efforts in the study area, ensuring the sustainability of natural resources for future generations.

Keywords: Land Use Change, Landscape Metrics, Sentinel-2 Satellite Imagery, Object-Oriented Classification, Fragmentation Analysis, Ecosystem Degradation.

[*] .Corresponding author: Javad Behmanesh Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir Tel:+989141460272

How to cite this Article: Koohani, M., & Behmanesh, J. (2024). Analysis of the Relationship between Land Use Changes and Landscape Metrics (Case study: Barandozchai Watershed, Subbasin of Urmia lake watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 367-392.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۹۲-۳۶۷

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22067/geoeh.2024.86229.1452

دسترسی آزاد

تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز باراندوزچای، زیر حوضه آبخیز دریاچه ارومیه)

محمد کوهانی- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

جواد بهمنش[1] - استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۱۰/۱۵ تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۲/۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۲/۲۳**

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوضه آبریز باراندوزچای در آذربایجان غربی است. بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (Sentinel2) مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ از سایت کپورنیک اتحادیه اروپا دریافت گردید. سپس روش‌های پیش‌پردازش در محیط نرم‌افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم‌افزار eCognition ارسال شد. برای سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 8.2 در دو سطح سیما (۲۲ سنجه) و کلاس (۱۳ سنجه) کمّی‌سازی و محاسبه شدند. در سطح کلاس پهنه‌آبی، نتایج نشان می‌دهند در هر دو سال، بیشترین مقدار سنجه تکه‌شدگی (SPLIT) و کمترین مقدار سنجه یکپارچگی (COHESION) به دست آمده است. کلاس مرتع دارای بیش‌ترین مقدار در شاخص (SHAPE-MN) و (LSI) داشته است که این نشان‌دهنده بی‌نظمی در لکه‌های مرتع است. شاخص‌های (ENN_MN)، (CONTAG) و (COHESION) که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی، شاخص سرایت و شاخص پیوستگی لکه روند کاهشی را از سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۴۰۱ تجربه کرده است. شاخص‌های شاخص شکل لکه (LSI)، تعداد لکه (NP) بی‌نظمی را نشان می‌دهد که روند افزایشی داشته است و نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی در منطقه موردمطالعه است. نتایج حاصل از سطح سیما نشان داد که پراکنش لکه‌ها در حوزه آبخیز باراندوزچای یکنواخت است و افزایش تعداد لکه‌ها، افزایش حاشیه و کوچک شدن لکه‌ها باعث تکه‌شدگی و درنتیجه ایجاد لکه‌های جدا از هم در حوزه آبخیز باراندوزچای می‌شود. این نتایج می‌تواند در مدیریت کاربری اراضی و حفاظت منطقه موردمطالعه برای نسل‌های آتی مفید باشد.

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۴۶۰۲۷۲

Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

کلیدواژه‌ها: تغییرکاربری اراضی، شاخص‌های چشم‌انداز ، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲، طبقه‌بندی شیءگرا ، تحلیل تکه‌تکه‌شدگی، تخریب اکوسیستم.

۱- مقدمه

تغییـــر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عوامل برای درک تغییر محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی اســـت (Kumar, Bhaskar & Padmakumari, 2015). تغییـــر کاربری زمین با عامل‌هایی مانند افزایش ارتفاع در حوضه‌های آبریز، افزایش ارتفاع آب بر حجـــم رواناب در رودخانه و افزایش ظرفیت ســـیلابی رودخانه‌ها تأثیر خواهد داشت(Idham et al., 2017) . یکـــی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریـــزی زمین در مقیاس جهانـــی و ناحیه‌ای آگاهی از تغییر کاربری زمین است. پیشـــرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمین (سیلاب و ...) در آینده مناســـب باشـــد(Armenteras, Murcia, González, Barón & Arias, 2019).

مهم است که چنین تغییراتی به‌طور دقیق ثبت شود تا فرآیندهای انسانی در کار بهتر درک شود. کاربری اراضی و پوشش اراضی ازجمله فرآیندهایی طبیعی و انسانی است که تغییرات در آن خیلی سریع است (Dezhbani, Mustafazadeh, Esmaaliouri & Nazila, 2023). فناوری سنجش از راه دور راهکاری ارزشمند در تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی است که امروزه در جهت شناسایی، پایش، تشخیص و پهنه‌بندی منابع طبیعی، به‌ویژه در مورد روند تهیه نقشه کاربری اراضی، استفاده می‌شود. این روش، به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن عملیات زمینی، جایگزین مناسبی برای تهیه اطلاعات دقیق و در سطح وسیع می‌باشد (Nazar Neghad, Hosseine & Mostafazadeh, 2020). برای استخراج اطلاعات کاربردی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود (Blaschke, 2010).

در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش پیکسل‌پایه، شیءگرا و آموزش‌گرای انجام می‌شود (Ghafari, Moradi & Modares, 2018). اخیراً روش جدید شیءگرا برای تجزیه‌وتحلیل تصویر استفاده می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین و بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید از طریق نرم‌افزار eCognition، که شامل محیطی شیءگرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود، طراحی گردید(Tzotsos & Argialas, 2008) . در روش

طبقه‌بندی شیءگرا اطلاعات طیفی، شکل و بافت‌ها را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌شوند. در این روش، خطاهای متعددی نسبت به روش‌های پیکسلی قابل‌انتظار است. در روش شیءگرا مجموعه‌ای پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی و سپس عملیات طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی اعمال می‌شوند (Nazar Neghad et al., 2020). در تجزیه‌وتحلیل تغییرات کاربری زمین، از عوامل طبیعی و اجتماعی_اقتصادی نیز استفاده می‌شود(Aunap, Uuemaa, Roosaare & Mander, 2006). تأثیرات کاربری‌های مختلف زمین بر خدمات بوم‌سازگان‌ها (ES) از طریق سه روش اصلی شامل الگوهای کاربری زمین، شیوه‌های استفاده از زمین و شدت‌های مختلف استفاده از زمین نمود پیدا می‌کنند (Uuemaa, Antrop, Roosaare, Marja & Mander, 2009). مطالعه تغییرات کاربری اراضی زمینه اصلی پژوهش‌های سیمای سرزمین است که یکی از مسائل مهم در تغییرات بوم‌شناختی جهانی است(Dezhbani et al., 2023). نرم‌افزار Fragstats یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، می‌باشد(McGarigal, 2002). برای ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی می‌توان از سنجه‌های سیمای سرزمین که یک رویکرد تلفیقی با سنجش‌ازدور است، استفاده کرد. این سنجه‌ها درواقع شاخص‌هایی هستند که ویژگی‌های اجزای ساختار فضایی سیمای سرزمین مثل هندسه، شکل، ماهیت پراکنش و توزیع این اجزا را به‌صورت کمی قابل‌مقایسه می‌سازند(Kakehmami, Moamari, Qurbani & Ghaffari, 2020). سیمای سرزمین شامل محدوده‌ای است که عناصر زیست‌شناختی و فیزیکی، لکه‌ها و زیستگاه‌ها را در بر می‌گیرد. سنجه‌های سیمای سرزمین در سه سطح کلاس، سیما و لکه محاسبه می‌شوند. سنجه‌های سطح کلاس برای یک نوع کاربری، سنجه‌های سطح لکه ویژگی مکانی لکه‌ها و سنجه‌های سیمای سرزمین برآیند ویژگی‌های لکه‌ها و طبقه‌ها هستند(Nasiri & Darvishsefat, 2018) . بسیاری از معیارهای الگوی سیمای سرزمین نسبت به تغییرات فضایی وضوح داده‌ها یا مساحت (وسعت) سیمای سرزمین حساس هستند و همبستگی‌های متعددی بین شاخص‌های سیمای سرزمین رخ می‌دهد (Uuemaa et al., 2009).

لام و همکاران (Lam, Cheng, Zou & Cai, 2018) به بررسی اثر تکه‌شدگی (SPLIT) سیمای سرزمین بر از دست دادن زمین در ساحل Louisiana در ایالت جنوبی آمریکا پرداختند. در این پژوهش از تصاویر لندست TM+، سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ و از ابعاد فراکتال منطقه و همبستگی فضایی[1] استفاده شد. نتایج نشان داد که

[1]. Spatial autocorrelation

تکه‌شدگی سیمای سرزمین منجر به از دست دادن بیش‌تر زمین می‌شود. برلیا و ایسوفی (Berila & Isufi, 2021) در مطالعه‌ای در منطقه کوزوو پراکندگی شهرها با استفاده از GIS، سنجش‌ازدور و سنجه‌های سیمای سرزمین را بررسی نمودند. نتایج نشان داد در طول دوره ۲۰۰۰–۲۰۲۰ در شهر پریشتینا[1] مساحت مناطق شهری به میزان ۱۶/۴۶ کیلومترمربع افزایش یافته است. در ایران نیز غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2018) در دشت‌های اصفهان- برخوار، نجف‌آباد و چادگان با استفاده از تصاویر لندست TM سال ۱۹۸۵ و OLIسال ۲۰۱۵، تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از روش طبقه‌بندی شیءگرا و پیکسل پایه مقایسه کرد. نتایج نشان داد طبقه‌بندی شیءگرا با دقت بالای ۹۰ درصد نسبت به طبقه‌بندی پیکسل‌پایه، دقیق‌تر بوده است. نظرنژاد و همکاران(Nazar Neghad et al., 2020) به ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز زولاچای، سلماس پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش سنجه تعداد لکه (NP) و افزایش تراکم لکه (PD) بود که این امر افزایش ناهمگنی در کاربری اراضی را نشان می‌دهد. همچنین اسفندیاری و همکاران(Esfandiari darabad, Hamzaei, Alaei & Mostafazadeh, 2021) در ارزیابی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین در پوشش گیاهی جوامع حاشیه متأثر از نوع کاربری اراضی در رودخانه قره‌سو استان اردبیل نتیجه گرفتند که تفاوت معنی‌داری بین کاربری باغ با سایر کاربری‌ها در سطح لکه و سیما وجود دارد. در مطالعه‌ی کیانی و فقهی (Kiyani & Feghhi, 2015) بررسی ساختار کاربری اراضی حوزه آبخیز سفیدرود با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین بررسی شد. در این پژوهش، از نرم‌افزار ArcGIS برای طبقه‌بندی مجدد نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سفیدرود استفاده شد. سپس لایه‌ها به فرمت Grid تبدیل و با استفاده از نرم‌افزارFragstats ، سنجه‌های مربوطه استخراج شدند. نتایج نشان داد که بیشترین گسستگی مربوط به کاربری کشاورزی بوده و کمترین گسستگی مربوط به کاربری آب است. در مطالعه‌ی دژبانی و همکاران(Dezhbani et al., 2023) ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی در آبریز کوزه‌تپراقی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی مختلف بررسی شد. این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۰ استفاده کرد. سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح سیما و کلاس محاسبه شدند. نتایج نشان داد که در سطح کلاس، زراعت دیم و زراعت آبی در

[1] Prishtina

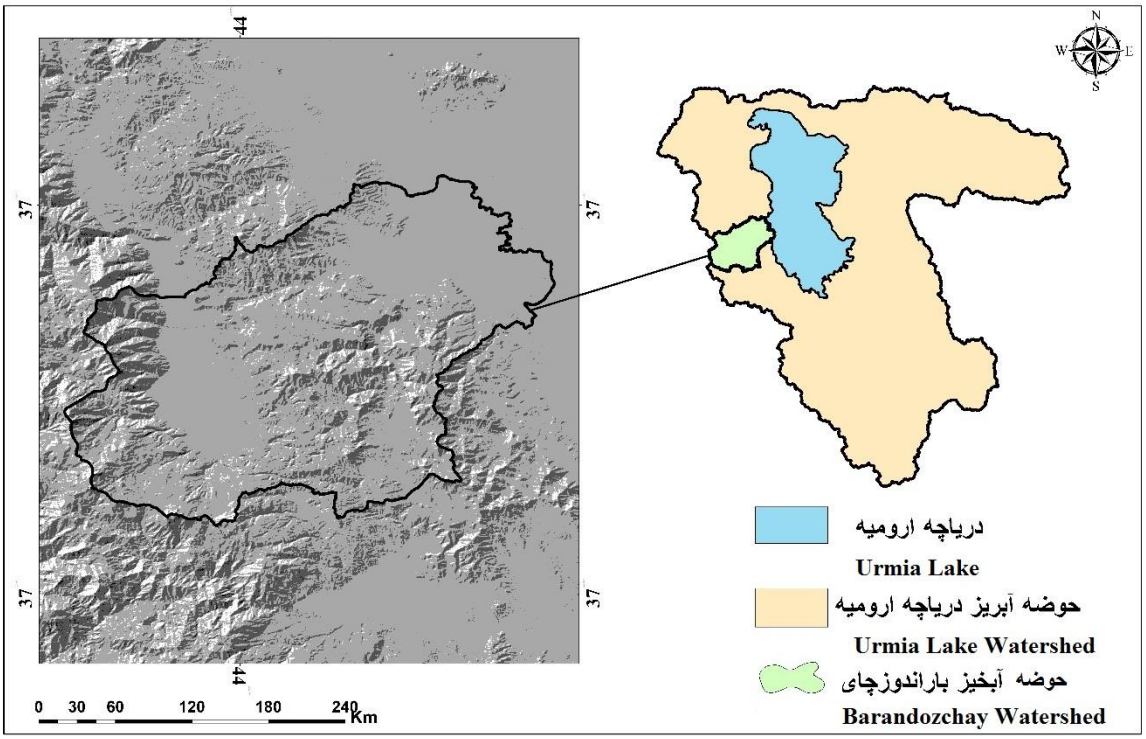
سنجه‌های مختلف بیشترین مقدار را داشته‌اند. در سطح سیما، شاخص تکه‌شدگی در سال ۱۳۸۹ کاهش جزئی داشته و سپس در سال ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است. شاخص بزرگ‌ترین لکه نیز در سال ۱۴۰۰ کاهش قابل‌توجهی داشته است.بر اساس پژوهش‌های انجام شده و تأکید بر لزوم انجام مطالعات گسترده‌تر و جامع‌تر در زمینه ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و نیز تحلیل ارتباط بین آن‌ها و تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین دارد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین برای حوزه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی انجام شد تا با اطلاع داشتن از تغییرات هر یک از کاربری‌ها، اقدامات و تصمیمات مدیریتی مناسبی برای استفاده درست از صورت گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز باراندوز چای واقع در استان آذربایجان غربی است. گستردگی جغرافیایی این حوضه از ′۰۶°۳۷ تا ′۳۷°۲۹ عرض‌های شمالی و ′۴۵°۴۴ تا ′۴۵°۱۴ طول‌های شرقی واقع گردیده است. رودخانه باراندوزچای از دو رشته ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه و ایران و عراق به نام‌های جمال‌الدین و ارتفاعات ککوداغ و الوق سرچشمه می‌گیرد و در بستر عمیقی با شیب تند حرکت کرده، پس از دریافت شاخه‌هایی چند و طی مسافتی وارد جلگه شده دشت بیل را آبیاری می‌کند و سپس از آبادی زیوه گذشته به روستای هفتوان باراندوز می‌رسد و از این ناحیه به بعد به نام باراندوزچای نامیده می‌شود. رودخانه باراندوز پس از طی مسافتی و آبیاری کردن زمین‌های متعدد روستایی، در چندین شاخه که شعبه اصلی آن بابارود است به دریاچه اورمیه می‌ریزد. این حوضه در محدوده شهرستان‌های ارومیه و نقده قرار دارد. مساحت حوضه مذکور، ۱۳۶۱/۵۴ کیلومترمربع است. آب‌های حاصل از این حوضه با جهت غربی ـ شرقی، درنهایت وارد دریاچه ارومیه می‌شوند. حوضه مذکور اغلب کوهستانی بوده و تنها بخش‌های شمال شرقی و مرکزی دارای ارتفاع پایین بوده و عمدتاً از دشت‌های حاصلخیز تشکیل شده است. این امر سبب شده تا در این قسمت‌ها، پوشش گیاهی وسیعی باغات کشاورزی وجود داشته باشد. این حوضه عمدتاً از سنگ‌های آهکی، دولومیت‌ها، شیل‌ها، کنگلومراها و در

دشت‌ها از رسوبات کواترنری تشکیل شده است. شرایط ناهمواری، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فعالیت‌های انسانی و پوشش گیاهی شرایط مناسبی را برای وقوع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مختلف ایجاد کرده است. از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیکی حوضه باراندوزچای، دارای ٤ واحد کاری بابارود، قاسملو، دیزج و هاشم‌آباد می‌باشد. بابارود با مساحت ۱۱٤۹/۱۵ کیلومترمربع. بیشترین وسعت و قاسملو با مساحت ۳۳۱/۷٤ کیلومترمربع کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. بیشترین شیب متوسط وزنی با مقدار ۳۲/٦۷ درصد مربوط به واحدکاری قاسملو و کمترین با مقدار ۲۷/۱۷ درصد مربوط به واحد کاری بابارود می‌باشد (Irani, Abghari & Rasouli, 2024). شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز باراندوزچای را در سطح کشور و استان آذربایجان غربی نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز باراندوزچای- دریاچه ارومیه

Fig.1. Geographical location of the Barandozchay Watershed - Urmia Lake

۲-۲- روش تحقیق

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع (۱۳ باند برای Sentinel2) استفاده گردید. اطلاعات تصاویر مورداستفاده در این مطالعه در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات ماهواره Sentinel2

Table 1- Sentinel 2 satellite information

باند band	وضوح Resolution	طول‌موج مرکزی Central wavelength	شرح Description
B1	60m	443 nm	آبی فوق‌العاده (ساحلی و آئروسل) Ultra Blue (Coastal and Aerosol)
B2	10 m	490 nm	آبی Blue
B3	10 m	560 nm	سبز Green
B4	10 m	665 nm	قرمز Red
B5	20 m	705 nm	مادون‌قرمز مرئی و نزدیک (VNIR) Visible and Near Infrared (VNIR)
B6	20 m	740 nm	مادون‌قرمز مرئی و نزدیک (VNIR) Visible and Near Infrared (VNIR)
B7	20 m	783 nm	مادون‌قرمز مرئی و نزدیک (VNIR) Visible and Near Infrared (VNIR)
B8	10 m	842 nm	مادون‌قرمز مرئی و نزدیک (VNIR) Visible and Near Infrared (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	مادون‌قرمز مرئی و نزدیک (VNIR) Visible and Near Infrared (VNIR)
B9	60m	940 nm	موج‌کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) Short Wave Infrared (SWIR)
B10	60m	1375 nm	Short Wave Infrared (SWIR) موج‌کوتاه مادون‌قرمز (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	موج‌کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) Short Wave Infrared (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	موج‌کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) Short Wave Infrared (SWIR)

جدول ۲- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table 2- Information of satellite images used in the study of change and prediction of land use

نام سنجنده **The name of the gauge**	تاریخ کسب داده **Date of data acquisition**	قدرت تفکیک مکانی **Spatial resolution**
سنتینل ۲	2016.07.16 معادل 2016.04.26	چندطیفی 10، 20 و 60 متر
Sentinel2	2016.04.26 Equivalent 2016.07.16	Multispectral 10, 20 and 60 meters
سنتینل ۲	2022.06.20 معادل 1401.03.30	چندطیفی 10، 20 و 60 متر
Sentinel2	1401.03.30 Equivalent 2022.06.20	Multispectral 10, 20 and 60 meters

۱-۲-۲- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای: در مرحله پیش‌پردازش تبدیل فرمت تصاویر، برش تصاویر و موزائیک‌سازی در محیط نرم‌افزارهای (ERDAS Imagine and ENVI) انجام گردید.

۲-۲-۲- در مرحله پردازش: ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد پروژه‌های مورد نیاز، سگمنت‌سازی چند متغیره، ویراستاری شی‌های تصویری، طبقه‌بندی اراضی زمین، تولید شاخص‌های طیفی، برآورد دقت و صحت نتایج، فیلترگذاری و ویراستاری، ارسال لایه‌های رقومی و طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش‌های NNC تولید نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام گردید. در ادامه بعد از فراخوانی تصویر و ایجاد ترکیبی باندی مناسب، لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از باندهای ۲،۳،٤،۸ و ۱۱ استفاده گردید. بعد از ایجاد ترکیب باندی سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی) انجام شد. سگمنت‌سازی به مفهوم جداسازی پیکسل‌های تصویری در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یک پارچه‌سازی مجدد آن بر مبنای پارامترهای مختلف نظیر شباهت‌های بازتابشی، هندسی، تراکمی، فشردگی، ارتباط ذاتی آن‌ها باهمدیگر از طریق اعمال الگوریتم‌های تقسیم‌بندی متعدد تعریف می‌گردد (Nazar Neghad et al., 2020). نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 جهت طبقه‌بندی راه‌های مختلفی در پیش روی کاربر قرار می‌دهد. طبقه‌بندی‌هایی که غالباً در این زمینه و با استفاده از این نرم‌افزار انجام گرفته به‌صورت مراحل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی است. ازآنجایی‌که در مرحله طبقه‌بندی شیءگرا تعریف شی‌ها یا سگمنت‌ها است، به همین منظور برای سگمنت‌سازی، مقدار ٥٦، ۰/۳ و ۰/۷ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و

فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. جهت تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص (NDWI[1]) و (NDVI[2]) استفاده شد. رابطه شاخص‌ها برای ماهواره Sentinel2 در روابط ۱ و ۲ نشان داده شده است (Moharrami & Derafshi, 2015).

NDVI Sentinel2 = (Near Infraredb8 – REDb4) /(Near Infraredb8 + REDb4) (۱)

NDWI Sentinel2 = (Greenb3 – Near Infraredb8) /(Greenb3 + Near Infraredb8) (۲)

پس از ایجاد شاخص‌ها، با توجه به هدف پژوهش که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، کلاس‌های کاربری در نظر گرفته‌شده شامل کاربری پهنه‌آبی، مسکونی، مرتع، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک است. در طبقه‌بندی تصویر با روش شیءگرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری و به کمک شاخص‌ها نمونه برای هرکدام از کلاس‌ها انتخاب و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای ۲ دوره با روش شیءگرا استخراج گردید و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید.

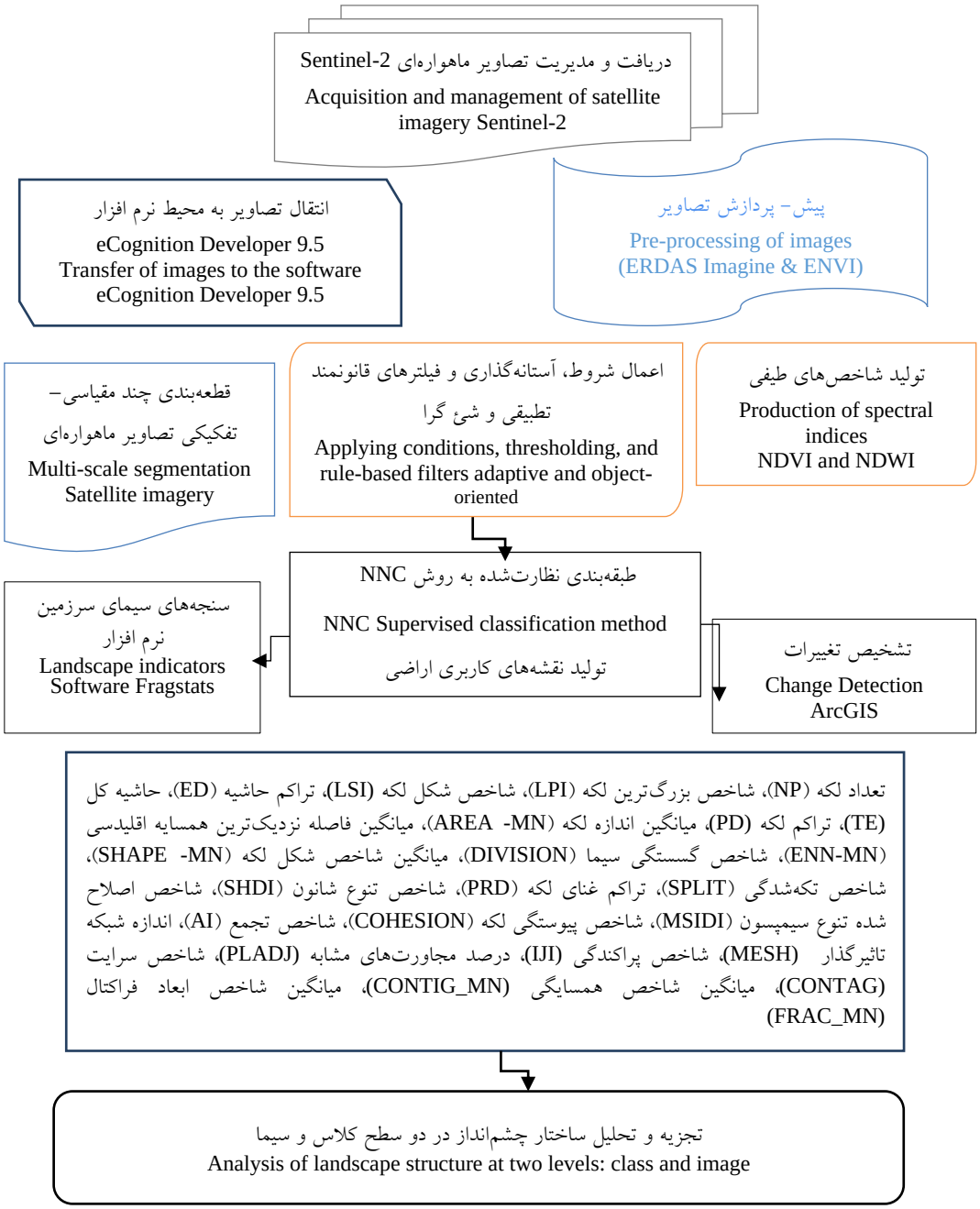
۲-۲-۳- محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، نرم‌افزار Fragstats می‌باشد که استفاده از آن به دلیل قابلیت بیش‌تر و محاسبه تعداد بیش‌تری از سنجه‌های سیمای سرزمین معمول‌تر است (McGarigal, 2002). نرم‌افزار Fragstats مجموعه کاملی از سنجه‌های سیمای سرزمین می‌باشد. این برنامه محدودیتی در مقیاس (پهنه و بزرگ‌نمایی) نداشته و برای تجزیه‌وتحلیل الگوی مکانی و سنجه‌های مختلف لکه‌های تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در محیط‌های ناهمگن و شرایط متفاوت مناسب است. به‌ازای هر ورودی در نرم‌افزار Fragstats، سه فایل خروجی Patch، Class و Landscape در محیط Excel ذخیره شده و قابل مشاهده و تجزیه‌وتحلیل است. آنچه که سنجه‌های سیمای سرزمین را کاربردی‌تر ساخته است، امکان مقایسه سیمای سرزمین‌های مختلف با استفاده از یک روش مشابه، ارزیابی در یک سیمای سرزمین خاص برای دفعات متعدد

[1] Normalized Difference Water Index

[2] Normalized Difference Vegetation Index

و مقایسه سیمای سرزمین‌های مشخص با گزینه‌های متفاوت است (McGarigal, Cushman, & Ene, 2012) در شکل (۲) فرآیند کلی انجام پژوهش ارائه شده است.

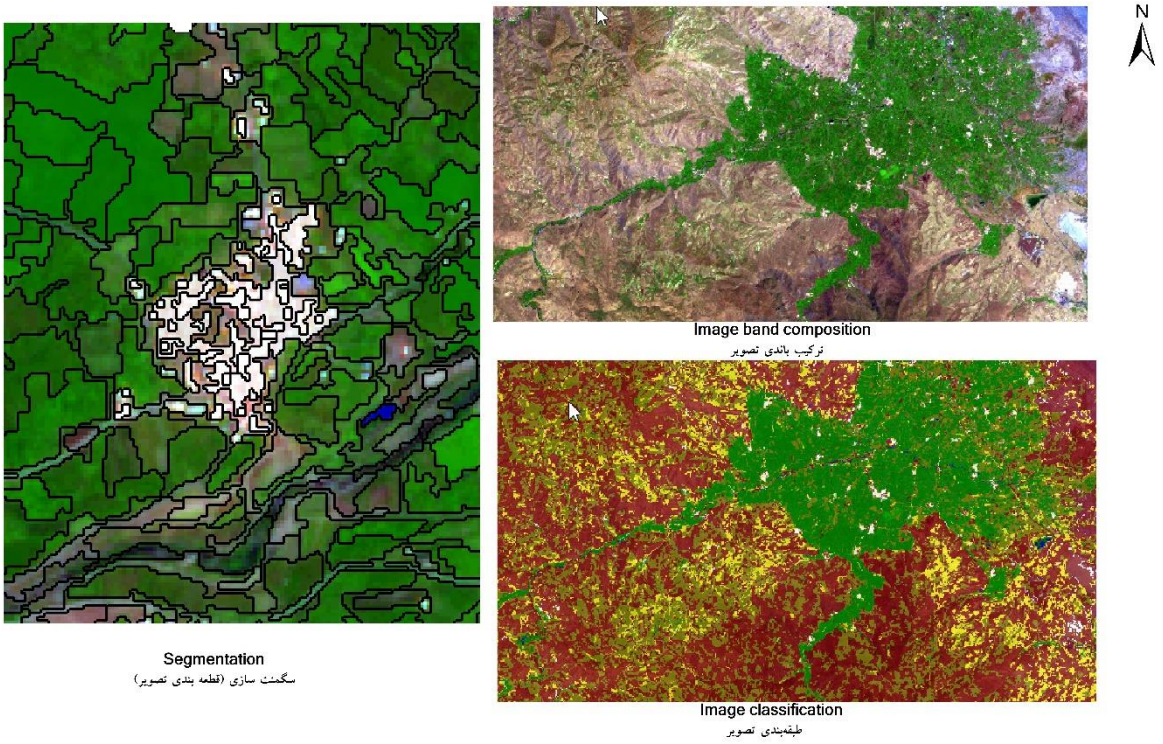


شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش

Fig. 2. Flow chart of research steps

۳- نتایج و بحث

پردازش تصاویر به روش‌های شیءگرا پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای (تشکیل‌دهنده باندهای تصویری) با اعمال الگوریتم‌های سگمنت‌سازی (Segmentation) و با توجه به میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های زمین-آماری به شی‌های تصویری تبدیل گردید با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. در این پژوهش از ترکیب باندهای ۲، ۳، ٤، ۸ و ۱۱ تصویر Sentinel2 استفاده شده است. نتایج ترکیب باندی تصویر، سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصویر در شکل (۳) ارائه شده است.

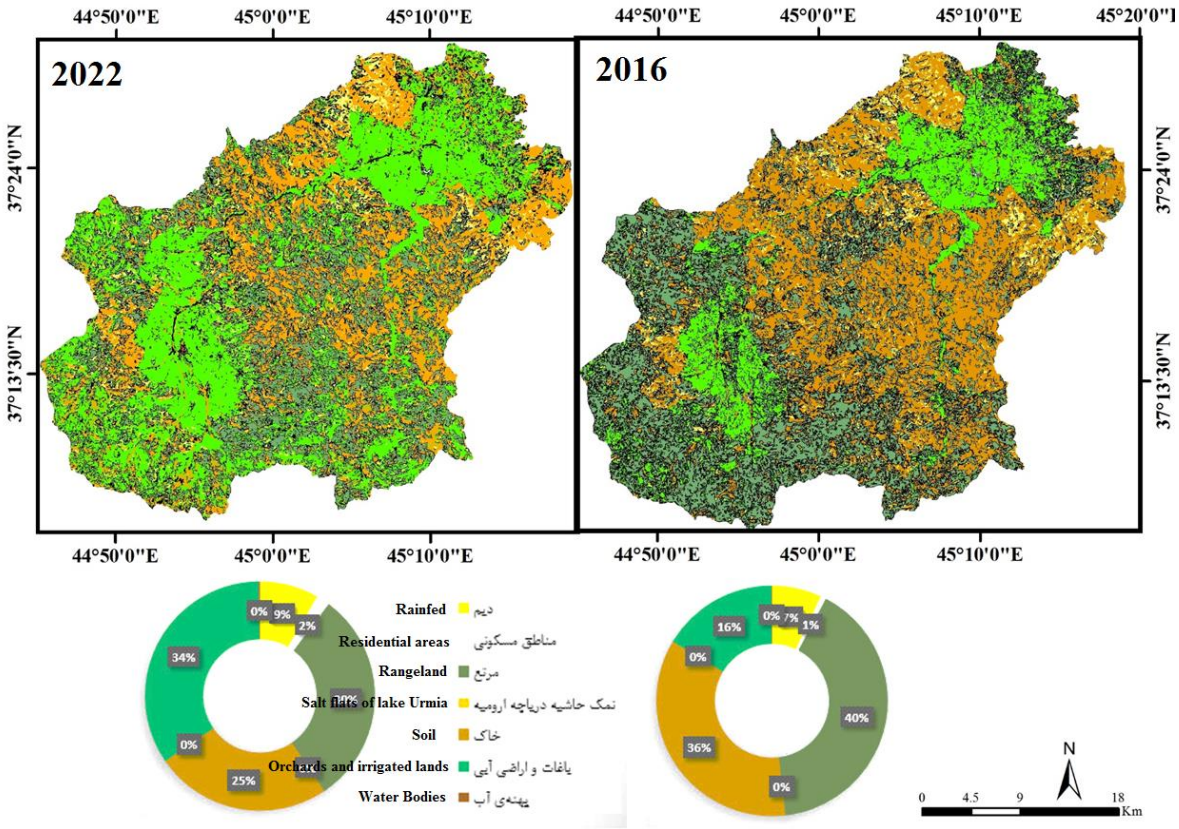


شکل ۳- ترکیب باندی، سگمنت سازی و طبقه‌بندی تصویر

Fig. 3. Band composition, segmentation and image classification

بعد از طبقه‌بندی تصاویر به روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۲ تهیه گردید و مساحت هر کاربری محاسبه شد. شکل (٤) نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۲ نمایش می‌دهند. طبق نتایج برای سال ۲۰۱٦ مساحت پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه

ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۱/۳۵، ٤۸۲/۷٤، ۲۲۱/۱٤، ۹۵/۵۱، ۰/۰۱، ۵۵۰/۷۳ و ۱۰/۰٦ کیلومترمربع به دست آمد. همچنین در سال ۲۰۲۲ تغییرات مساحت برای کاربری‌های پهنه آب، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲/۷۰، ۳۳۸/۷٤، ٤٦۷/٤۸، ۱۱٤/۱۸، ۰/۰۵، ٤۱۲/۹۱ و ۲۵/۵۰ کیلومترمربع بود.



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های موردبررسی در حوزه آبخیز باراندوزچای-دریاچه ارومیه

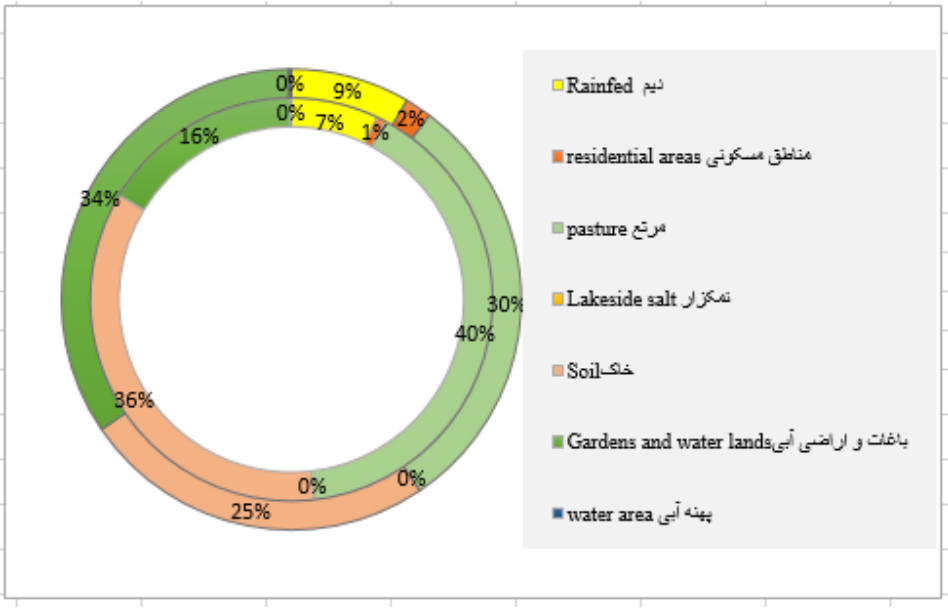
Fig. 4. Land use map for the studied years in the Baranduzchay catchment area

بعد از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱٦ و ۲۰۲۲ به کیلومترمربع و درصد در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- مساحت کاربری اراضی به کیلومترمربع و درصد

Table 3- land use area in square kilometers and percentage

2022		2016		سال Year
درصد Percent	کیلومترمربع square kilometer	درصد Percent	کیلومترمربع square kilometer	کاربری اراضی Land Use
8.39	114.18	7.02	95.51	دیم Rainfed
1.87	25.50	0.74	10.06	مناطق مسکونی Residential areas
30.33	412.91	40.45	550.73	مرتع pasture
0	0.05	0	0.01	نمک حاشیه دریاچه ارومیه Salt on the edge of Lake Urmia
24.88	338.74	35.46	482.74	خاک Soil
34.33	467.48	16.24	221.14	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands
0.2	2.7	0.1	1.35	پهنه‌ی آب water area



شکل ۵- روند تغییرات کاربری اراضی به روش شی‌گرا

Fig. 5. The trend of land use changes by object-oriented method

بر اساس نتایج حاصل از روند تغییرات شکل (۵) در این پژوهش، بیش‌ترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری مرتع و خاک به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی را نشان می‌دهد که با نتایج (Birhanu, Masih, van der Zaag, Nyssen & Cai, 2019) در پژوهش بر روی حوضه آبریز گومارا[1] اتیوپی نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت مراتع کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی کشت شده افزایش یافته و همین امر باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است مطابقت دارد.

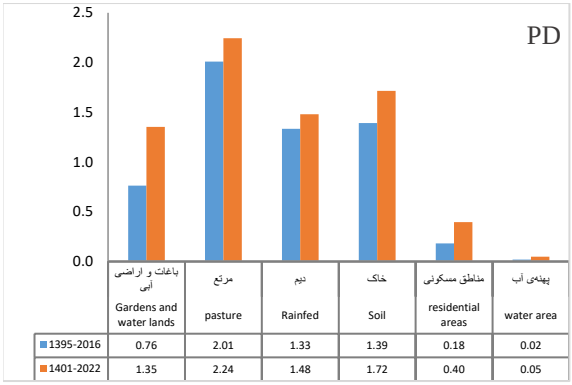
تجزیه‌وتحلیل سنجه‌ها در سطح کلاس

نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین حوزه آبخیز باراندوزچای در شکل (٦) نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری میزان گسستگی سیمای سرزمین تعداد لکه (NP) به کار می‌رود و تعداد لکه‌های یک کلاس معین را نشان می‌دهد. مقدار آن بزرگ‌تر یا مساوی یک است. وقتی سیمای سرزمین فقط از یک لکه تشکیل شده باشد این مقدار برابر واحد است (Kiyani & Feghhi, 2015). برای حوضه موردمطالعه بیش‌ترین تعداد لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۲۷۳٦) و کم‌ترین آن برای پهنه آبی (۲٦) و برای سال ۱٤۰۱

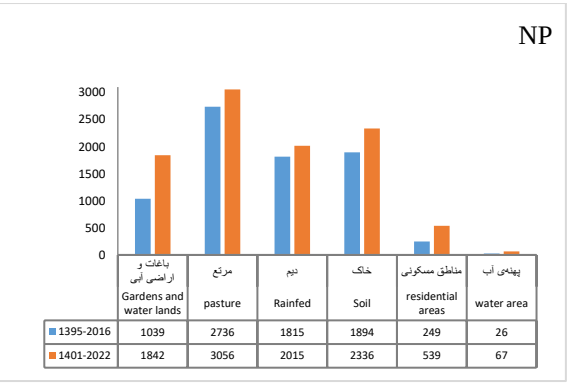
[1]. Gomara

بیش‌ترین تعداد لکه (NP) مربوط به مرتع (۳۰۵۶) و کم‌ترین آن برای پهنه آبی (٦٧) به دست آمد.

سنجه تراکم لکه (PD) برای اندازه‌گیری پیوستگی کاربری‌ها و میزان اتصال کاربرد دارد. پیوستگی بین لکه‌ها (Cohesion) به‌صورت معکوس با سنجه تراکم لکه ارتباط دارد. به‌این‌ترتیب با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک‌تر می‌شوند(Nazar Neghad et al., 2020). بیش‌ترین تراکم لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۲/۰۱) و کم‌ترین آن مربوط به پهنه‌آبی (۰/۰۲) است. برای سال ۱۴۰۱ بیش‌ترین تراکم لکه مربوط به مرتع (۲/۲٤) و کم‌ترین آن مربوط به پهنه‌آبی (۰/۰۵) به دست آمد. نتایج پژوهش در ارزیابی الگوی کاربری اراضی و تغییرات پیوستگی نشان‌دهنده افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها بود. این نتیجه با یافته‌های نظرنژاد و همکاران (Nazar Neghad et al., 2020)، مبنی بر این‌که افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها، افزایش ناهمگنی در کاربری اراضی را نشان می‌دهد، مطابقت دارد. حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع(۹/٦) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه آبی (۰/۰۱) است و در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۹/۱) و حداقل مقدار آب مربوط به پهنه آبی (۰/۰۱) به دست آمده است.

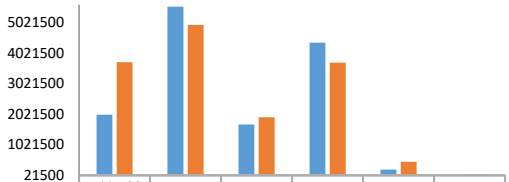


	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	0.76	2.01	1.33	1.39	0.18	0.02
1401-2022	1.35	2.24	1.48	1.72	0.40	0.05



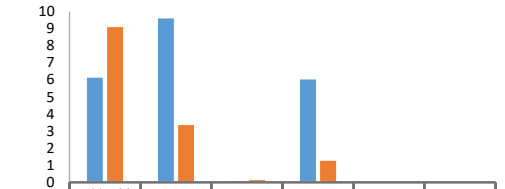
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	1039	2736	1815	1894	249	26
1401-2022	1842	3056	2015	2336	539	67

TE



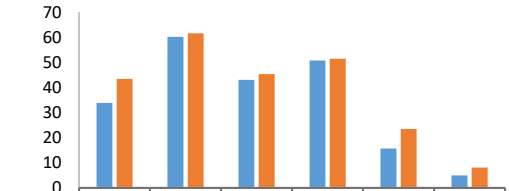
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	2003580	5535000	1681920	4358520	206820	21600
1401-2022	3720240	4935960	1918980	3701880	467100	52200

LPI



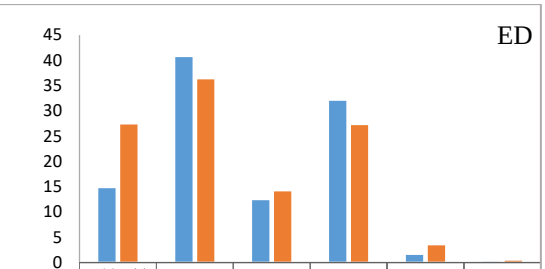
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	6.13	9.60	0.07	6.03	0.02	0.01
1401-2022	9.10	3.36	0.13	1.26	0.03	0.01

LSI



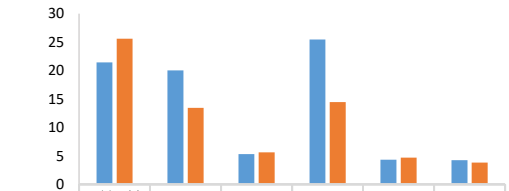
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	33.82	60.18	43.03	50.71	15.68	5.00
1401-2022	43.41	61.60	45.29	51.41	23.46	8.11

ED



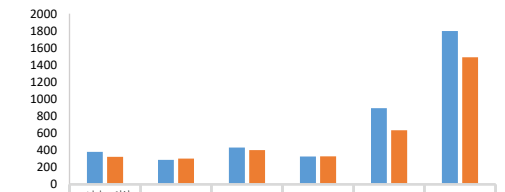
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	14.72	40.66	12.35	32.02	1.52	0.16
1401-2022	27.33	36.26	14.10	27.19	3.43	0.38

Area-MN



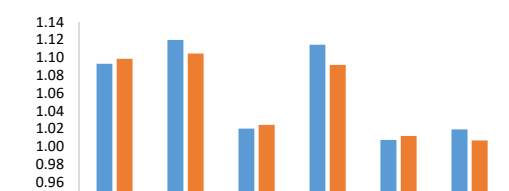
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	21.45	20.04	5.31	25.44	4.35	4.24
1401-2022	25.59	13.45	5.61	14.47	4.71	3.82

ENN-MN



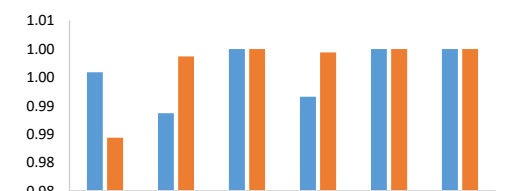
	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	381.1791	287.179	430.5127	325.5447	893.5575	1795.8953
1401-2022	323.0031	302.5816	402.0233	328.6267	634.4477	1489.3629

SHAPE-MN

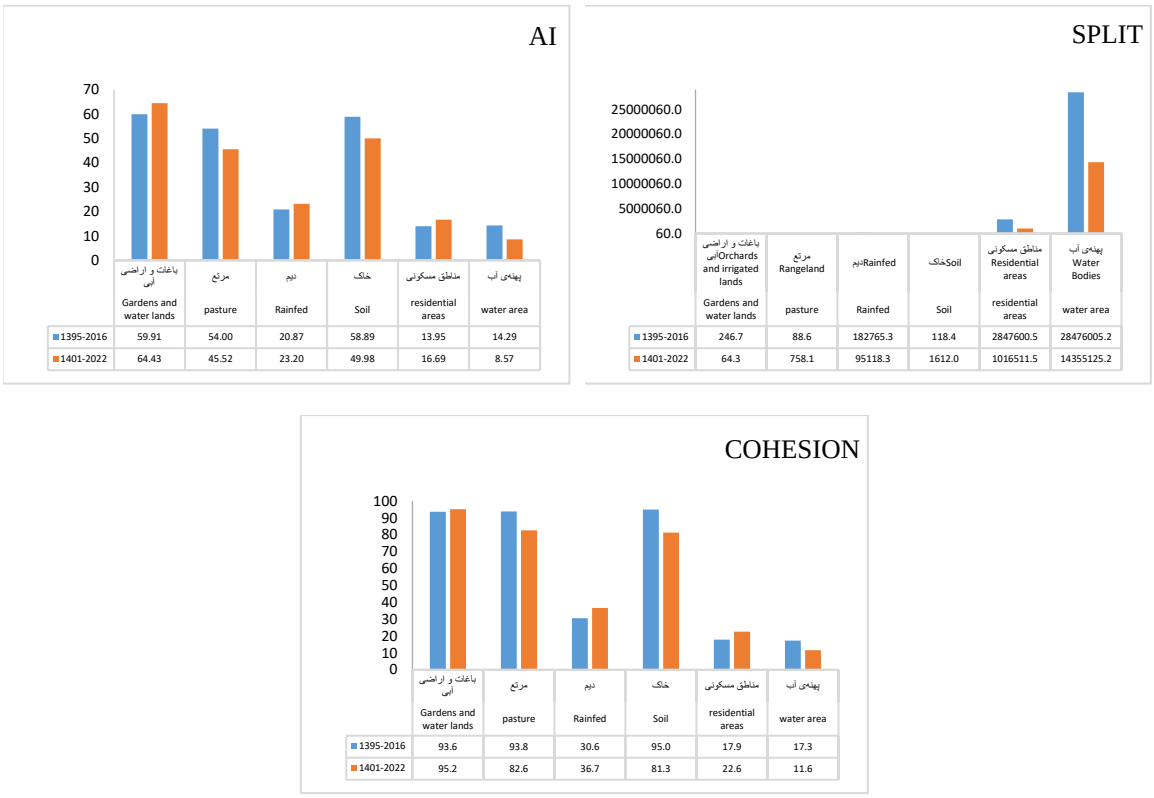


	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	1.09	1.1199	1.02	1.11	1.01	1.02
1401-2022	1.10	1.10	1.02	1.09	1.0118	1.01

DIVISION



	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands	مرتع pasture	دیم Rainfed	خاک Soil	مناطق مسکونی residential areas	پهنه‌ی آب water area
1395-2016	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
1401-2022	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



شکل ٦- مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس در سال‌های موردبررسی

Fig. 6. Values of land surface parameters at the class level in the years under review

در سطح سیمای سرزمین حاشیه کل (TE)، اندازه مطلق مجموع حاشیه از طول حاشیه کل یک نوع لکه خاص است (McGarigal at al., 2012). با افزایش حاشیه کل، پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک و منظم‌تر می‌شوند. اگر هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد مقدار عددی این شاخص زمانی برابر صفر خواهد بود. یعنی زمانی‌که کل سیمای سرزمین و مرز آن دارای یک لکه باشد McGarigal, (2002). در سطح سیمای سرزمین رابطه بین تکه‌شدگی (SPLIT) و تراکم حاشیه (ED) مثبت است، و با افزایش تراکم حاشیه (ED)، تکه‌شدگی در آن زیرحوضه افزایش می‌یابد. مقدار عددی این شاخص برابر صفر خواهد بود. زمانی‌که هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد. یعنی زمانی‌که کل سیمای سرزمین و مرز سیمای سرزمین، شامل یک لکه باشد (McGarigal, 2002). بیش‌ترین تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (٤٠/٦٦) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به کاربری پهنه آبی (٠/١٦) است. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار

تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۴۰۱ مربوط به کاربری مرتع (۶۱/۶) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی برابر با (۰/۳۸) به دست آمد.

حداکثر مقدار شاخص شکل لکه (LSI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۱/۱۲) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۱/۰۱) و حداکثر مقدار شاخص شکل لکه در سال ۱۴۰۱ مربوط به کاربری‌های باغات و اراضی آبی و مرتع (۱/۱) و حداقل مقدار شاخص شکل لکه به ترتیب مربوط به کاربری‌های مسکونی و پهنه آبی (۱/۰۱) است.

میانگین اندازه لکه (AREA-MN) یک نوع ماتریس سیمای سرزمین است که بر اساس ویژگی میانگین لکه ارائه شده است (McGarigal, 2002). حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه در هرسال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری خاک (۲۵/۴۴) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۴/۲۴) است و در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۲۵/۵۹) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه آبی (۳/۸۲) است. معیار نزدیک‌ترین فاصله همسایگی (ENN_MN) با استفاده از هندسه ساده اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین نزدیک‌ترین همسایه و لکه مرکزی آن کلاس تعریف شده است (McGarigal at al., 2012. این معیار با افزایش بی‌نظمی شکل، بزرگ‌تر می‌شود و برای یک لکه مربع شکل برابر با یک است (Kiyani & Feghhi, 2015)). حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به پهنه‌آبی (با مقدار عددی ۱۷۹۵/۹) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مرتع (با مقدار عددی ۲۸۷/۱۸) است. هم‌چنین حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال‌های ۱۴۰۱ مربوط به کاربری پهنه آبی (۱۴۸۹/۳۶) و حداقل آن مربوط به کاربری مرتع (۳۰۲/۵۸) است. حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه (SHAPE-MN) برای حوزه آبخیز باراندوزچای در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۱/۱۲) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۱/۰۱) است. برای سال ۱۴۰۱ نیز حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی و مرتع (۱/۱) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری پهنه آبی و مسکونی (۱/۰۱) است. معیارهای تکه‌شدگی (SPLIT) و گسستگی سیما (DIVISION) به توصیف دخالت انسان‌ها و میزان انسجام اشاره دارند (McGarigal, 2002). تکه‌شدگی (SPLIT) بر اساس توزیع لکه‌های تجمعی است و به‌عنوان تعداد لکه‌هایی با اندازه ثابت زمانی یا شبکه مؤثر تفسیر می‌شود

McGarigal at al., 2012). این معیار حداکثر مقدار را دارد؛ وقتی‌که سیمای سرزمین به لکه‌های کوچک تقسیم می‌شود،یعنی زمانی‌که هر سلول یک لکه جداگانه باشد (McGarigal, 2002). حداکثر مقدار تکه‌شدگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به پهنه‌آبی (۲۸۴۷۶۰۰۵/۲) و حداقل آن مربوط به کاربری مرتع (۸۸/۶) است. هم‌چنین، برای سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار تکه‌شدگی مربوط به پهنه‌آبی (۱۴۳۵۵۱۲۵/۲) و حداقل آن مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۶۴/۳) به دست آمد (Su, Naqui, Mata-Contreras & Martín, 2014). در بررسی تکه‌شدگی (SPLIT) سیمای سرزمین از سنجه‌های حاشیه کل (TE)، تعداد لکه (NP)، شکل سیمای سرزمین، میانگین سطح لکه (AREA –MN)، بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE -MN) استفاده شد. نتایج نشان داد که زراعت می‌تواند انجام شود. مقدار گسستگی سیما (DIVISION) در حوزه آبخیز باراندوزچای در سال ۱۳۹۵ بین ۰/۹۹-۱ و در سال ۱۴۰۱ بین ۰/۹۸-۱ متغیر بوده است. این نتایج با نظرنژاد و همکاران (Nazar Neghad et al., 2020). که در سال‌های ۱۸۸۸، ۱۹۰۹، ۱۹۶۱ و ۲۰۰۲ به این نتیجه رسیدند تنوع در سیمای سرزمین کاهش یافته و نواحی علفزار، شهری، مرتع و شالیزار در داخل لکه‌های بزرگ متمرکز شده‌اند و جداشدگی مربوط به پهنه آبی بوده است، مطابقت دارد. حداکثر مقدار شاخص تجمع (AI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۵۹/۹۱) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۱۳/۹۵) است. در سال ۱۴۰۱ نیز حداکثر مقدار شاخص تجمع مربوط به باغات و اراضی آبی (۶۴/۴۳) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۸/۵۷) به دست آمد. شاخص پیوستگی لکه (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را بیان می‌کند. مقدار این شاخص با افزایش پیوستگی لکه‌ها نیز افزایش خواهد یافت. (Alaei, Mustafazadeh, Esmaaliouri, Sharari & Hazbavi, 2020) حداکثر مقدار شاخص پیوستگی لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری خاک (۹۵) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۱۷/۳) است. در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار این شاخص مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۹۵/۲) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۱۱/۶) به دست آمد.

تجزیه‌وتحلیل سنجه‌ها در سطح سیما

نتایج حاصل از ۲۲ سنجه حوزه آبخیز باراندوزچای جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج مشخصه‌های آماری این سنجه‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حداکثر تراکم لکه مربوط به سال ۱۴۰۱ و حداقل مقدار

مربوط به سال ۱۳۹۵ بوده است. وجود تراکم بالای لکه در حوزه آبخیز نشان‌دهنده تخریب کاربری اراضی است که باعث افزایش تکه‌شدگی نیز شده است. پایین بودن سنجه میانگین اندازه لکه و بزرگ‌ترین اندازه لکه، به معنی تکه‌شدگی بیش‌تر سیمای سرزمین است. مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه در سال ۱۳۹۵ با مقدار عددی ۹/٦ و کم‌ترین آن در سال ۱٤۰۱ با مقدار ۹/۱ به دست آمد. با افزایش و کاهش مقدار عددی شاخص بزرگ‌ترین لکه به ترتیب میزان تکه‌شدگی سیمای سرزمین کاهش و افزایش می‌یابد. ازاین‌رو، در سال ۱۳۹۵ میزان تکه‌شدگی کم‌ترین مقدار و در سال ۱٤۰۱ بیش‌ترین مقدار می‌باشد. هر چه تراکم حاشیه (ED) بیش‌تر باشد اتصال و پیوستگی سیمای سرزمین بیش‌تر می‌شود؛ بنابراین با توجه به جدول (۳)، حداکثر اتصال بین لکه‌ها در سال ۱٤۰۱ بوده و در سال ۱۳۹۵ حداقل تراکم حاشیه (ED) و درنتیجه بیش‌ترین تکه‌شدگی مشاهده می‌شود. سنجه شکل لکه (LSI)، نسبت محیط لکه به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع را نشان می‌دهد، زمانی که مقدار عدد آن برابر یک باشد، یعنی سیمای سرزمین شامل یک لکه با حداکثر فشردگی و تقریباً مربع شکل است، وقتی‌که لکه پراکنده‌تر، شکل آن پیچیده‌تر و مرز بی‌نظم‌تر شود مقادیر آن بدون محدودیت افزایش می‌یابد. با توجه به جدول (۳)، چون در اکثر زیر حوضه‌های آبریز بیش‌تر از یک می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت شکل لکه‌ها در تمامی سال‌های موردبررسی نامنظم می‌باشد. میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE_MN) از نسبت محیط لکه به بیش‌ترین فشردگی یا کم‌ترین محیط ممکن برای لکه به دست می‌آید. این سنجه برای لکه مربع شکل برابر یک است و با نامنظم شدن شکل، بیش‌تر می‌شود. با توجه به جدول (۳)، روند تغییرات SHAPE_MN برای سال‌های موردبررسی روند کاهشی کمی داشته است، به‌طوری‌که از مقدار عددی ۱/۰۹ در سال ۱۳۹۵ به مقدار ۱/۰۸ در سال ۱٤۰۱ رسیده است. حداکثر کل حاشیه (TE) ٦۹۰٤۸۰۰ برای سال ۱۳۹۵ و برای سال ۱٤۰۱ مقدار ۷۳۹۹۲٦۰ ارزیابی شد. طبق تغییرات این سنجه روند به‌صورت افزایشی بوده است. با افزایش حاشیه کل، پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک می‌شوند (McGarigal at al., 2012). شاخص پیوستگی لکه‌ها (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به کاربری‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به نتایج جدول (٤)، مقادیر به دست آمده برای تمام بخش‌های حوزه آبخیز کاهشی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیوستگی لکه‌ها در تمامی سال‌های

موردبررسی روند کاهشی دارد. سنجه‌های شانون و سیمپسیون از مهم‌ترین سنجه‌ها برای مطالعه تنوع اجـزای تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین هستند. شاخص شانون، تنوع را در هر لکه به‌طور نسبی محاسـبه می‌کنـد. ایـن سنجه‌ها زمانی برابر با صفر هستند که در سیمای سرزمین فقط یک لکه وجود داشـته باشـد، و زمـانی مقـدار آن‌ها یک خواهد بود که تعداد لکه افـزایش می‌یابـد و توزیـع منطقـه متناسـب بـا انـواع لکـه بیش‌تـر شـود (McGarigal at al., 2012). سنجه شانون (SHDI) نسبت به نادرترین لکه‌ها حساس است. زمانی میزان تنـوع افزایش می‌یابد که میـزان سـنجه‌هـای تنـوع بـه یـک نزدیک شود، هرچه این مقدار بـه صـفر نزدیک شـود از میزان تنوع کاسته می‌شود.

جدول ٤- مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح سیما در سال‌های موردبررسی

Table 4- The values of land surface measurements at the surface level in the years under review

روند تغییرات			اختصار	نام فارسی سنجه
Trend of changes	2022	2016	Abbreviated	The Persian name of Sanjeh
افزایشی increasing	9858	7762	NP	تعداد لکه Number of Patches
افزایشی increasing	7.24	5.7	PD	تراکم لکه Patch Density
کاهشی decreasing	9.1	9.6	LPI	شاخص بزرگ‌ترین لکه largest patch index
افزایشی increasing	7399260	6904800	TE	حاشیه کل Total Edge
افزایشی increasing	54.35	50.72	ED	تراکم حاشیه Edge Density
افزایشی increasing	51.88	48.52	LSI	شاخص شکل لکه Landscape Shape Index
کاهشی decreasing	13.81	54.17	AREA_MN	میانگین اندازه لکه Mean patch area
کاهشی	1.08	1.09	SHAPE_MN	میانگین شاخص شکل لکه

decreasing				Mean patch shape index
ثابت constant	1.01	1.01	FRAC_MN	میانگین شاخص ابعاد فراکتال Fractal Dimension Index
ثابت constant	0.16	0.16	CONTIG_MN	میانگین شاخص همسایگی Contiguity Index
کاهشی decreasing	361.07	371.53	ENN_MN	میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance
کاهشی decreasing	37.83	39.61	CONTAG	شاخص سرایت Contagion index
کاهشی decreasing	50.23	53.50	PLADJ	درصد مجاورت‌های مشابه Percentage of similar adjacencies
افزایشی increasing	56.82	51.28	IJI	شاخص پراکندگی dispersion index
کاهشی decreasing	88.19	93.36	COHESION	شاخص پیوستگی لکه Patch Cohesion Index
ثابت constant	0.98	0.98	DIVISION	شاخص گسستگی سیما Landscape Division Index
کاهشی decreasing	2383.13	3238.48	MESH	اندازه شبکه تأثیرگذار
افزایشی increasing	57.13	42.04	SPLIT	شاخص تکه‌شدگی Splitting Index
ثابت constant	0.01	0.01	PRD	تراکم غنای لکه Patch Richness Density
افزایشی increasing	1.37	1.26	SHDI	شاخص تنوع شانون Shannon's Diversity Index
افزایشی increasing	1.27	0.14	MSIDI	شاخص اصلاح شده تنوع سیمپسون Modified Simpson's Diversity Index
کاهشی decreasing	50.71	54	AI	شاخص تجمع Aggregation index

٤- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز باراندوزچای با لحاظ معیارهای مؤثر بر آن شامل ۲۲ سنجه در سطح سیما و ۱۳ سنجه در سطح کلاس محاسبه شد. سنجه تکه‌شدگی نشان داد که کاربری پهنه‌آبی حداکثر تکه‌شدگی و زراعت دیم حداقل تکه‌شدگی را دارا می‌باشند. نتایج نشان داد که با توجه به سنجه‌های تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، تراکم حاشیه و شاخص شکل لکه کاربری مرتع حداکثر و کاربری زراعت دیم حداقل پیوستگی بین لکه‌ها را دارند. در این پژوهش با توجه به نتایج حاصل از سنجه‌های تنوع شانون و سیمپسیون در سطح سیما مشاهده شد که اگر مقدار این نسبت بیش‌تر از ۱ باشد، پراکنش کپه‌ای و اگر برابر یک باشد، تصادفی و درصورتی‌که کم‌تر از یک باشد به‌صورت یکنواخت توزیع یافته‌اند، بنابراین همان‌گونه که مشاهده شد، این مقدار برای بازه زمانی ۱۳۹۵ و ۱٤۰۱ بیش از یک به دست آمد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در حوزه آبخیز باراندوزچای پراکنش لکه‌ها به‌صورت یکنواخت می‌باشد. نتایج نشان داد که افزایش تعداد لکه‌ها، افزایش حاشیه و کوچک شدن لکه‌ها باعث تکه‌شدگی و درنتیجه ایجاد لکه‌های جدا از هم در حوزه آبخیز باراندوزچای می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت کاربری اراضی، جلوگیری از بهره‌برداری بیش‌ازحد در منطقه موردمطالعه و حفاظت از آن برای نسل‌های آتی مفید باشد.

References

Alaei, N., Mustafazadeh, R., Esmaaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and Comparison of Landscape Connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, *8*(4),19-34.[In Persian] http://dx.doi.org/10.47176/ijae.8.4.2572

Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, Ó .J., & Arias, J. E. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, *17*, e00567. http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567

Aunap, R., Uuemaa, E., Roosaare, J., & Mander, Ü. (2006). Spatial correlograms and landscape metrics as indicators of land use changes. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, *89*. http://dx.doi.org/10.2495/GEO060311

Berila, A., & Isufi, F. (2021). Two decades (2000–2020) measuring urban sprawl using GIS, RS and landscape metrics: a case study of Municipality of Prishtina (Kosovo). *Journal of Ecological Engineering*, *22*(6),114-125. https://doi.org/10.12911/22998993/137078

Birhanu, A., Masih, I., van der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X., (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, *112*, 165-174. https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *65*(1), 2-16. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004

Dezhbani, H., Mustafazadeh, R., Esmaaliouri, A., & Nazila, A. (2023). Analysis of the relationship between spatial and temporal changes in land use and landscape metric in the Kozetaparaghi watershed. *Journal of Geography and Environmental Studies*, *12(*45), 82-99. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087845.1402.12.45.5.7

Esfandiari darabad, F., Hamzaei, M., Alaei, N., & Mostafazadeh, R. (2021). Spatial Variations of Landscape Metrics in Riparian Area Vegetation of Gharesou River Reaches under the Effect of Different Land Uses, Ardabil Province. *Geographical Planning of Space*, *10(38)*, 219-234. [In Persian] https://www.doi.org/10.30488/gps.2020.197834.3091

Ghafari, S., Moradi, H. R., & Modares, R. (2018). Comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for land use mapping (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains*). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 9(1)*, 40-57. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1397.9.1.3.3

Idham, R. M., Nurul, F. J., Mohammad, F., Keiko, U., So, K., & Shunichi, K. (2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, *11*(2), 99-105. https://doi.org/10.3178/hrl.11.99

Irani, T., Abghari, H., & Rasouli, A. (2024). Analysis of the Relationship between Landuse Changes and Landuse Metrics: the Case Study of Godarchai Watershed. *Geographical Planning of Space*, *14*(1), 165-188. [In Persian] https://www.doi.org/10.30488/GPS.2024.406033.3661

Kakehmami, A., Moamari, M., Qurbani, A., & Ghaffari, S. (2020). Analysis of land use/cover changes in Ardabil province using landscape metric. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, *11*, 68-86. [In Persian] https://doi.org/10.30495/girs.2020.674952

Kiyani, V., & Feghhi, J. (2015). Investigating of cover/land use structure of Sefidroud watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*, *17*(2), 131-141. [In Persian] https://sanad.iau.ir/en/Journal/jest/Article/839655

Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, *3*(1), 773-783.

Lam, N. S. N., Cheng, W., Zou, L., & Cai, H. (2018). Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment*, *209*, 253-262. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.034

McGarigal, K. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Prog-ram for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachuse-tts, Amherst.

McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.

Moharrami, M., & Derafshi, A. (2015). Signifying of the urmia lake changes using objected-oriented image processing techniques. *Journal of Applied Hydrology*, *2*(2), 13-23.

Nasiri, V., & Darvishsefat, A. A. (2018). Analysis of land use and land cover using ecological landscape metrics (case study: Arasbaran region). *Environmental Sciences*, *16*(3), 101-118. [In Persian] https://envs.sbu.ac.ir/article_97954.html

Nazar Neghad, H., Hosseine, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas. *Geographical Planning of Space*, *9*(34), 53-66. [In Persian] https://doi.org/10.30488/gps.2020.95381.2570

Su, L., Naqui, J., Mata-Contreras, J., & Martín, F. (2014). Modeling metamaterial transmission lines loaded with pairs of coupled split-ring resonators. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *14*, 68-71. https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2355035

Tzotsos, A., & Argialas, D. (2008). Support vector machine classification for object-based image analysis. *Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven Remote Sensing Applications*, 663-677. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_36

Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research*, *3*(1), 1-28. http://hdl.handle.net/1854/LU-695518

Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.393-424 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.87900.1484 Open access

Evaluation of extra-local resilience of rural settlements in Shaho district against drought

Sahar Maleki[a], Mohammad Akbarpour[b*],Omid ali Moradi[c]

[a] *Master in Geography and Rural Planning, Razi University, Kermanshah, Iran.*
[b] *Assistant Professor in Geography and Rural Planning, Razi University, Kermanshah, Iran.*
c Instructor in Physical Geography, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 3 May 2024 ***Revised: 27 May 2024*** ***Accepted: 10 June 2024***

Abstract

Identifying the overall level of translocal resilience to drought in rural areas is of special importance for ensuring good rural governance. By identifying and ranking translocal resilience in these areas, it is possible to adopt appropriate management strategies to mitigate the damages caused by drought. The general purpose of this research is to evaluate the translocal resilience of rural settlements in the Shahu district of Ravansar city in response to drought conditions.

This quantitative study is applied in nature and employs a descriptive-analytical method to prioritize the translocal resilience of the Shahu district. The TOPSIS technique was used to analyze resilience levels. The statistical population consists of the two districts of Ghori Qala and Mansour Aghaei, which include nine villages. A sample size of 285 individuals was determined using Cochran's formula.

The results of the study indicate that the higher population density in some of the villages, due to their fluidity, dynamism, and proximity to the village center within an interconnected network of villages, has fostered the formation of numerous links and flows of capital, goods, products, information, technologies, and innovations. This process, combined with diverse income sources, extensive agricultural land under cultivation, and the adoption of innovations such as modified seeds through cooperative breeding methods and protective cultivation, has significantly contributed to livelihood stability. Additionally, experimental skills transferred from farmers in Hamadan Province have further enhanced translocal resilience during drought conditions for the mentioned villages.

The findings of this study provide practical recommendations for fostering cooperation and coordination between villagers and officials, including those from the Agricultural Jihad, Ravansar Governorate, and other responsible institutions. Such efforts can promote good governance in the studied villages, reduce vulnerability, and enhance rural resilience to drought.

Keywords: Translocal Resilience, Drought Vulnerability, Rural Settlements ,Ravansar County, TOPSIS Technique, Livelihood Stability.

[*] .Corresponding author: Mohammad Akbarpour Email: m.akbarpour@razi.ac.ir Tel:+989124361258

How to cite this Article: Maleki, S., Akbarpour, M, . & Moradi , O (2024). Evaluation of extra-local resilience of rural settlements in Shaho district against drought. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 393-424.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۴۲۴-۳۹۳

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.87900.1484 دسترسی آزاد

ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی بخش شاهو در مواجهه با خشکسالی

سحر ملکی – کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

محمد اکبرپور[1] – استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

امیدعلی مرادی– مربی جغرافیای طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

تاریخ **دریافت:**۱۴۰۳/۱/۱۴ **تاریخ بازنگری:**۱۴۰۳/۳/۷ **تاریخ پذیرش:**۱۴۰۳/۳/۲۱

چکیده

شناسایی سطح کلی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی نسبت به خشکسالی به‌منظور حکمرانی خوب روستاها از اهمیت خاصی برخوردار است؛ زیرا با شناسایی و رتبه‌بندی تاب‌آوری فرامحلی روستاها، اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی متناسب برای کاهش آسیب‌های ناشی از خشکسالی میسر می‌گردد. در شرایط وقوع خشکسالی، پیوندها و جریان‌های فرامحلی نقش مؤثری در تاب‌آوری اقتصادی و اجتماعی نواحی روستایی ایفا می‌نمایند. این جریان‌ها شامل جریان افراد، محصولات کشاورزی، سرمایه، فناوری و اطلاعات هستند که در بین نواحی روستایی و شهری وجود دارند. هدف کلی این تحقیق ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی بخش شاهو در مواجهه با خشکسالی است. تحقیق کمّی حاضر به لحاظ ماهیت از نوع کاربردی و از لحاظ روش بررسی از نوع توصیفی–تحلیلی است که به دنبال اولویت‌بندی تاب‌آوری فرامحلی بخش شاهو شهرستان روانسر نسبت به خشکسالی با بهره‌گیری از تکنیک تاپسیس است. جامعه آماری تحقیق شامل دو دهستان قوری قلعه و منصور آقایی که دارای ۹ روستا است با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه ۲۸۵ نفر تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد تراکم جمعیت بیشتر بعضی از روستاهای موردمطالعه به دلیل سیال بودن، پویایی و مجاورت به مرکز دهستان با شبکه درهم‌تنیده روستاهای تحت پوشش خود، منشأ شکل‌گیری پیوندها و جریان‌های سرمایه‌ای، کالایی و محصولات، اطلاعات و

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۴۳۶۱۲۵۸ Email:m.akbarpour@razi.ac.ir

فناوری‌ها و نوآوری‌های متعدد شده‌اند، این فرآیند توأم با منابع درآمدی متنوع، وسعت زمین‌های کشاورزی زیر کشت، پذیرش و بهره‌گیری از نوآوری‌هایی نظیر بذرهای اصلاح‌شده به شیوه به نژادی مشارکتی و کشت حفاظتی، همراه با مهارت تجربی منتقل شده از کشاورزان استان همدان، بستر نوعی پایداری معیشتی و درنهایت تاب‌آوری فرامحلی را در شرایط خشکسالی برای روستاهای مذکور فراهم نموده است. نتایج این مطالعه می‌تواند پیشنهادهای کاربردی همکاری و هماهنگی دهیاران با مدیران و مسئولان جهاد کشاورزی، فرمانداری روانسر و سایر نهادهای مسئول برای حکمروایی خوب روستایی موردمطالعه به‌منظور تعدیل آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری روستاییان نسبت به خشکسالی داشته باشند.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری فرامحلی ، آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی ، سکونتگاه‌های روستایی ، شهرستان روانسر، تکنیک تاپسیس، پایداری معیشت.

۱-مقدمه

از روابط فرامحلی به‌عنوان «همه پدیده‌هایی که توسط جابجایی ایجاد می‌شوند» نظیر جریان افراد، کالاها، ایده‌ها و نمادها و ... که فواصل مکانی و ایدئولوژیکی را در سراسر مرزها در مقیاس‌های مختلف در بر می‌گیرند، یاد می‌شود (Freitag & Open, 2010). در شرایط وقوع خشکسالی، پیوندها و جریان‌های فرامحلی نقش مؤثری در تاب‌آوری اقتصادی و اجتماعی نواحی روستایی ایفا می‌نمایند. این جریان‌ها شامل جریان افراد، محصولات کشاورزی، سرمایه، فناوری و اطلاعات هستند که در بین نواحی روستایی و شهری وجود دارند (Mohammadi yeganeh & Hoseinzadeh, 2013). در نواحی مختلف جغرافیایی شدت و دامنه این جریان‌ها متفاوت است. در این راستا توان‌های محیطی نواحی جغرافیایی تأثیر زیادی در جذب و گسترش جریان‌های سرمایه دارد. به صورتی که برآیند جریان‌ها نقش زیادی در دگرگونی‌هایی بخش‌های اقتصادی روستاها از طریق پایدارسازی و تنوع اقتصادی سکونتگاه‌های روستایی ایفا می‌کنند. درواقع جریان‌های فضایی در قالب روابط فرامحلی بین شهر و روستا به شکل پیوندهای روستایی- شهری، نقش بسیار مهمی در توازن و توسعه یکپارچه ناحیه‌ای دارند. این جریان‌ها مابین سکونتگاه‌ها در اثر حوادث طبیعی، اقتصادی و اجتماعی یا سیاسی دستخوش تحول و دگرگونی می‌شوند (Ghasemi Siyani, Afrakhteh, Aziz poor & Riyahi, 2019)؛ بنابراین تاب‌آوری اجتماعی فرامحلی به‌عنوان فضا و فرآیند استفاده از منابع و ظرفیت‌ها برای

مقابله با استرس، مخاطرات یا تغییرات و بهره‌برداری از فرصت‌ها در مواجهه با تغییر تعریف شده است (Sakdapolrak et al., 2016). تاب‌آوری اجتماعی فرامحلی با بهره‌مندی کارآمد از جریان‌ها باعث کسب ارزش‌افزوده بیشتر برای خانوار روستایی و تقویت معیشت آنان به‌ویژه در شرایط خشکسالی می‌شود. از طرفی توزیع نابرابر جریان‌های فرامحلی در خانوارهای روستایی و شهری، باعث تضاد میان رفاه خانوارهای روستایی و شهری می‌شود و نارسایی‌ها و کمبودهای زیرساختی نواحی روستایی باعث ایجاد جریان‌های مهاجرتی به شهرها شده که عدم تعادل‌های ناحیه‌ای را به همراه خواهد داشت، چراکه عدم تعادل فضایی در توزیع امکانات و خدمات مختلف در سطح ناحیه باعث افزایش جابه‌جایی‌ها و شکل‌گیری پیوندهای گوناگون اجتماعی- فرهنگی می‌گردد و الگوی جریان‌ها را تغییر می‌دهد. در این میان خشکسالی‌ها نیز این روند را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این راستا ساک داپولارک (Sakdapolrak et al., 2016) کارکرد دوگانه مهاجرت را به‌مثابه جریان افراد از بعد استراتژی سازگاری یا ابزار ایجاد ناامنی در تایلند موردبررسی قرار دادند و برای رمزگشایی پیوندهای متقابل بین سازه مهاجرت و تاب‌آوری، یک رویکرد فرامحلی را پیشنهاد نمودند که به‌طور سیستماتیک به تحلیل ابعاد اجتماعی- مکانی و هم‌زمانی تحرک و موقعیت مهاجران و غیرمهاجران در پهنه فضایی می‌پردازد، درنهایت آنان دریافتند که نقش مهاجرت روستا به شهر گاهی به‌عنوان استراتژی فرامحلی در هدایت تاب‌آوری خانوارهای روستایی مؤثر است. از منظر فرامحلی، مهاجران هم زمان، در مقصد و مبدأ زیست دوگانه دارند. بنابراین زمینه خطر و آسیب‌پذیری در مبدأ یک مهاجر بر زندگی روزمره آن‌ها در مقصد تأثیر می‌گذارد. درعین‌حال مشکلاتی که مهاجران با آن مواجه می‌شوند یا فرصت‌هایی که از آن‌ها استفاده می‌کنند، ممکن است بر خانواده مبدأ تأثیر بگذارد. در واقع مهاجران و حتی روستاییان می‌توانند خواستگاه پیوندها و جریان‌های سرمایه، کالا و محصولات، اطلاعات، فنـــاوری‌ها و نـــوآوری‌ها به سکونتگاه‌های روستایی باشند که در معرض خشکسالی قرارگرفته‌اند. پس روابط فرامحلی به مواردی نظیر پیوند بازیگران متحرک و بی‌حرکت در سراسر فضا، پیوند و تغییر شکل مکان‌ها، تعدی از مرزهای مکانی و حوزه‌ی اجتماعی که سطوح اجتماعی- فضایی متعددی را در بر می‌گیرد، اشاره دارد(Greiner & Sakdapolrak, 2013)، که این پیوندها و جریان‌های فرامحلی قادرند آسیب‌پذیری جوامع محلی را کاهش داده و تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی را ارتقا ببخشد؛ چراکه شناخت صحیح روابط جاری میان محیط‌های

روستایی و شهری می‌تواند به کوشش در راستای تغییر ساختاری- کارکردی روابط و مناسبات موجود میان آن‌ها و برقرار کردن پیوندهای متناسب یاری رساند (Saeidi, 2011). خشکسالی یک پدیده طبیعی است که عمدتاً ناشی از کمبود بارندگی در مقایسه با مقدار موردنیاز یا نرمال است که بیشترین گستره فضایی و طولانی‌ترین مدت را در بین تمام بلایای طبیعی دارد (Wu, Ma & Yan, 2020). خشکسالی خسارات شدیدی به کشورهای گرمسیری در سراسر جهان وارد می‌کند و آسیب‌پذیری خشکسالی بر اساس داده‌های اجتماعی- اقتصادی در دسترس ارزیابی می‌باشد که با استفاده از متغیرهای بارش، وضعیت پوشش گیاهی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. اگرچه آب فراوان است اما مقاومت آن‌ها در برابر کمبود آب در طول دوره‌های خشک بسیارکم است و دانش کمی در مورد ویژگی‌های خشکسالی وجود دارد (Maysoun, Ahmadalipour & Moradkhani, 2020). خشکسالی یک پدیده شدید هیدرولوژیکی کمبود آب طولانی‌مدت است که برخلاف دیگر پدیده‌های هیدرولوژیکی شدید مثل سیل، شروع آن آهسته و طولانی‌مدت است که منجر به خسارات اقتصادی هنگفتی می‌شود (Khayyati & Aazami, 2016). پیش‌بینی خشکسالی هشداری اولیه برای مدیریت خشکسالی می‌باشد؛ خشکسالی یکی از فاجعه‌بارترین مخاطرات طبیعی است و تقریباً در مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد که خشکسالی‌ها از ناکافی بودن بارندگی‌ها سرچشمه می‌گیرند و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی عمدتاً توسط دو ویژگی آب‌وهوا و حوضه آبریز کنترل می‌شود (Solh & van Ginkel, 2014). تأثیرات خشکسالی ابعاد گوناگونی دارد که معمولاً پس از گذشت زمان نسبتاً طولانی پس از وقوع قابل‌مشاهده می‌باشد تأثیرات خشکسالی را می‌توان به تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم یا اثرات اولیه و ثانویه طبقه‌بندی کرد. تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم خشکسالی نیاز به بازنگری دارد به‌این‌ترتیب تأثیر خشکسالی بر سلامتی یک نگرانی در جوامع آسیب‌پذیر است در سال‌های اخیر در جهان پیشرفت‌هایی توسط انسان انجام شده است که اثرات انسانی بر خشکسالی غالب بوده و فراوانی خشکسالی افزایش چشمگیری داشته است (Gebremeskel Haile et al., 2019). تأثیرات مستقیم خشکسالی اغلب مربوط به مشخصه‌های اقلیمی و اکولوژیک است و تأثیرات غیرمستقیم خشکسالی که وسیع‌تر و نامحسوس‌تر است مربوط به آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی می‌شود، زیرا آسیب‌های وارده به کشاورزان و پیامدهای وقوع خشکسالی خود بیانگر عدم آمادگی و تاب‌آوری کشاورزان در برابر مخاطره و پیامدهای آن است و کم‌توجهی به آن، آثار

جبران‌ناپذیری بر روستاها و کل جامعه بر جای می‌گذارد (Imani & Mohamadi Mashkool, 2019). برای جلوگیری از تلفات زیست‌محیطی ناشی از حوادث خشکسالی آینده دولت مربوطه به دنبال راهبردی مؤثر برای آن‌ها بوده است. تأثیر خشکسالی را می‌توان یک اثر منفی زیست‌محیطی، اقتصادی یا اجتماعی که در شرایط خشکسالی تجربه می‌شود تعریف کرد. نمونه‌های از اثرات خشکسالی عبارت‌اند از: کمبود تأمین آب، تلفات محصول، افزایش مرگ‌ومیر گونه‌های آبزی، کاهش تولید در نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای دانست. بنابراین خشکسالی به‌عنوان یک پدیده طبیعی در صورت همراهی با فعالیت‌های انسانی نامناسب به ناکارآمدی روند اقتصادی و بروز و تشدید شوک‌های اقتصادی در مناطق روستایی می‌انجامد (Einali, Farahani & Mohammadi, 2022). در ارتباط یا ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی در برابر خشکسالی پژوهش‌های متعددی صورت‌گرفته که در این پژوهش به‌اختصار چند مورد از پژوهش‌های داخلی و خارجی بیان می‌گردد: کاظمی و عندلیب (Kazemi & Andalib, 2017) در پژوهشی با عنوان ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر تاب‌آوری اجتماعی سکونتگاه‌های روستایی در شرایط بحرانی به این نتایج رسیده‌اند که مخاطرات طبیعی با توجه به شرایط محیطی و جغرافیایی کشور باعث آسیب‌های جدی مالی و تلفات انسانی می‌شود که نگرش‌های آن حاکم بر مدیریت بحران عمدتاً بر مدیریت انفعالی بحران و کاهش آسیب‌پذیری‌های کالبدی توجه دارد و با تقویت زمینه‌های اجتماعی می‌تواند نقش بسیار مؤثری بر میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های انسانی در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس مفهوم تاب‌آوری و ویژگی‌های اجتماعی سکونتگاه‌های تاب آور در برابر بحران ایفا کند. سلیمانی و همکاران (Soleymani, Afrakhteh, Azizpour & Tahmasebi, 2016) در پژوهشی با عنوان تحلیل فضایی ظرفیت‌سازی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان روانسر در مواجه با خشکسالی دریافتند که شناسایی سطح کلی ظرفیت سازگاری سکونتگاه‌های روستایی نسبت به خشکسالی به‌منظور مدیریت اثربخش روستاها از اهمیت بیشتری برخوردار است با شناسایی و اتخاذ استراتژی مدیریتی می‌توان باعث کاهش آسیب‌های ناشی از خشکسالی شد این امر می‌تواند توصیه‌هایی برای برنامه ریزان روستایی جهت مدیریت مؤثر بحران خشکسالی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و ارتقای تاب‌آوری روستاییان به همراه داشته باشد. سواری و خسروی پور (Savari & Khosravipour, 2018) در پژوهشی با عنوان تحلیل آثار تاب‌آوری بر سرزندگی خانوارهای روستایی در شرایط خشکسالی شهرستان

دیواندره دریافتند که خانوارهای روستایی به دلیل وابستگی معیشت آن‌ها به بخش کشاورزی بیشتر از سایر قشرهای جامعه از خشکسالی‌ها آسیب دیده‌اند و به دلیل نبود تاب‌آوری مناسب از بخش کشاورزی خارج شده‌اند و سرزندگی خود را از دست داده‌اند و می‌توان نتیجه گرفت که خانوارها از نظر تاب‌آوری و سرزندگی وضعیت مناسبی ندارند و باید در این زمینه آموزش مناسبی ببینند تا بتواند رهیافت و توان مقابله با خشکسالی را داشته باشد. ورهوئو و همکاران (Verhoeve, Keijzer, Kaitila, Wickama & Sterk, 2021) در پژوهشی به‌عنوان انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی تحت شرایط افزایش تاب‌آوری و خشکسالی در تانزانیا شمالی به این نتیجه رسیده‌اند که وقوع مکرر خشکسالی، چرای بی‌رویه دام و سایر تأثیرات ناشی از فعالیت‌های انسانی ممکن است باعث کاهش پوشش گیاهی و تخریب زمین شود و در نتیجه با کاهش کلی پوشش گیاهی تغییرات به‌صورت چشمگیر نبوده و تاب‌آوری پوشش گیاهی مناسب نبوده که باعث وقوع بیشتر خشکسالی می‌شود. لیو و همکاران (Liu, shi & sivakumar, 2020) در پژوهشی به‌عنوان خشکسالی اجتماعی و اقتصادی تحت جمعیت روبه رشد و تغییر اقلیم شاخصی جدید با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری سیستم منابع آب منطقه‌ای؛ خشکسالی اجتماعی و اقتصادی زمانی رخ می‌دهد که تأمین آب از یک سیستم منابع آب نتواند نیاز آبی را برآورده سازد و حتی اگر خشکسالی هم پایان یابد کاهش میزان آب برای مدتی اثرات خود را دارد و بر انعطاف‌پذیری اثر می‌گذارد و می‌توان به این نتیجه رسید که توانایی ما را در ارزیابی منابع آب در شرایط اجتماعی و اقتصادی آینده افزایش می‌دهد. گلوریا و همکاران (Salmoral, Ababio & Holman, 2020) در پژوهشی به‌عنوان تأثیر خشکسالی پاسخ‌های مقابله‌ای و سازگاری در بخش دام در فضای باز بریتانیا دریافتند خشکسالی اثرات مخربی بر سیستم کشاورزی و دامداری در سراسر جهان دارد و تغییرات سیاسی در کشورها فرصتی منحصربه‌فرد برای سیاست کشاورزی را فراهم می‌کند تا به خدمات مطلوب دست پیدا کند؛ سپس با افزایش تاب‌آوری در برابر خشکسالی و افزایش و دوام کشاورزی حمایت شود. راکنباچ و همکاران (Rockenbauch, Sakdapolrak & Sterly, 2022) شبکه‌های فرامحلی برای نوآوری کشاورزی در جوامع کشاورزی: در این پژوهش به دیدگاه‌های شبکه فرامحلی برای توسعه در نوآوری کشاورزی پرداخته ولی در پژوهش حاضر علاوه بر دیدگاه‌ها و نظریه‌ها به روابط بین پدیده‌ها و شاخص‌ها پرداخته شده است. آیرینه (Schöfberger, 2018)، در پژوهشی با عنوان تغییرات محیطی و آسیب‌پذیری

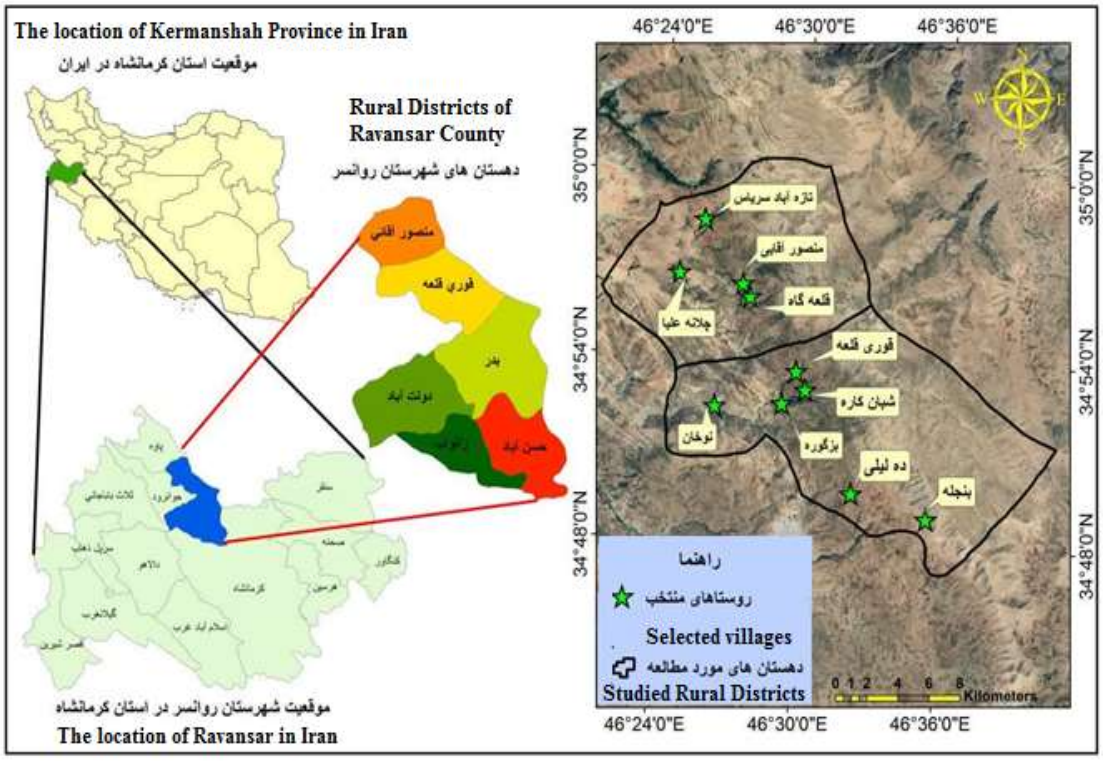
فرامحلی در سنگال دریافت که خانوارها از طریق مهاجرت از بحران‌های معیشتی جلوگیری می‌کنند و آسیب‌پذیری بر توانایی خانوارها در اتخاذ راهبردهای معیشتی فرامحلی تأثیر دارد که هدف برنامه‌های توسعه مقابله با آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی و بهبود خدمات آموزشی و تنوع بخشیدن به اقتصاد محلی می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که اقدامات سیاستی برای مقابله با تأثیر عوامل آسیب‌پذیر بر توانایی خانوارها برای مقابله با تخریب محیط‌زیست از طریق مهاجرت موردنیاز می‌باشد و این می‌تواند پتانسیل تحرک را برای تاب‌آوری تقویت کند. بنابراین تاب‌آوری فرامحلی با روابط شهر و روستا و دامنه پیوندهای روستایی–شهری در روستاهای دهستان‌های قوری قلعه و منصور آقایی همراه با تنوع بسترهای اجتماعی – اقتصادی متفاوت جلوه‌گر شده است، اما به‌طورکلی روابط سلطه‌جو در این عرصه به پیوندهای مکمل و سازنده دگردیسی نموده (Saeidi, 2011) و برخی روستاهای دهستان‌های مذکور را به لحاظ تاب‌آوری فرامحلی نسبت به خشکسالی غنی‌تر ساخته است. همچنین با توجه به جمعیت و تعداد کمتر روستاهای تحت پوشش بخش شاهو که شامل دهستان‌های قوری قلعه و دهستان منصور آقایی و موقعیت فضایی مکانی استقرار آن‌ها در نواحی کوهستانی بخش شاهوی شهرستان روانسر، جریان‌ها و پیوندهای ضعیف‌تری را نسبت به بقیه دهستان‌های شهرستان روانسر رقم زده و تعامل محدود و معیشت کم تنوع این دهستان نیز مزید بر علت شده تا تاب‌آوری فرامحلی ضعیف‌تری را تجربه نمایند و در معرض آسیب‌پذیری به‌مراتب بیشتری در مواجهه با پدیده خشکسالی باشند. درعین‌حال روندها و فرایندهای بسترساز نابرابری و تفاوت فوق‌الذکر را می‌توان به سطح توسعه‌یافتگی نامتوازن اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و کالبدی دهستان‌های مذکور نسبت داد. حال سؤال محوری پژوهش حاضر، مهم‌ترین عوامل ارزیابی تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی دهستان‌های قوری قلعه و منصور آقایی شهرستان روانسر در مواجهه با خشکسالی کدامند؟

۲–مواد و روش‌ها

۲–۱ منطقه موردمطالعه

شهرستان روانسر در ۵۲ کیلومتری مرکز استان حدود ۱۲۰۲ کیلومتر مربع، معادل ٤٨ درصد کل مساحت کل استان را در بر می‌گیرد. این شهرستان در ٤٦ درجه و ٤٠ دقیقه طول شرقی و ٤٢ درجه و ٣٥ دقیقه عرض

شمالی واقع شده است. از نظر تقسیمات سیاسی این شهرستان دارای ۲ شهر، ۲ بخش ٦ دهستان و ۱٤۲ آبادی است. محدوده جغرافیایی شهرستان روانسر از شمال به شهرستان پاوه، از جنوب به به شهرستان اسلام آباد و کرمانشاه، از شرق به کامیاران و از غرب به شهرستان جوانرود محدود می‌گردد (شکل۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲ داده‌ها وابزارهای مورد استفاده

تحقیق کمّی حاضر به لحاظ ماهیت از نوع کاربردی و از لحاظ روشِ بررسی از نوع توصیفی – تحلیلی است که به دنبال اولویت‌بندی تاب‌آوری فرامحلی دهستان‌های قوری قلعه و منصور آقایی شهرستان روانسر نسبت خشکسالی با بهره‌گیری از تکنیک تاپسیس است و سه گام اساسی را دربر خواهد گرفت:

گام اول: تعیین شاخص‌ها و متغیرهای تاب‌آوری فرامحلی کشاورزان (سرپرست خانوارها) نسبت به خشکسالی: جهت تعیین میزان تاب‌آوری فرامحلی‌کشاورزان در برابر مخاطره خشکسالی، ابتدا از طریق

مطالعه ادبیات نظری و پیشینه تحقیق اقدام به استخراج شاخص‌ها و متغیرهای تاب‌آوری فرامحلی شده است به طورکلی شاخص‌ها در مجموع دسته بندی شدند (جدول۱) و باتوجه به تعداد خانوارهای روستاهای مذکورکه بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن‌کشور در سال ۱۳۹۵، ۹۵۰ خانوار می‌باشند که نمونه-برداری در سطح روستا به صورت تصادفی در بین خانوار (سر پرستان خانوار به‌عنوان کشاورز) انجام شد و با استفاده ازفرمول کوکران حجم نمونه‌های روستاهای موردمطالعه ۲۷٤ پرسشنامه بدست آمده است که پس از تناسب‌گیری و به حدنصاب رساندن پرسشنامه‌ها به ۲۸۵ پرسشنامه رسیده است (جدول۲). همچنین پایایی قسمت‌های مختلف پرسشنامه‌ی مذکور، با آزمون آلفای کرونباخ مشخص شده است (جدول۳) و روایی سؤالات پرسشنامه‌ی مذکور نیز توسط اساتیددانشگاه مورد ارزیابی قرارگرفته است.

جدول ۱- ابعاد، شاخص‌ها و گویه‌های تاب‌آوری مناطق روستایی در برابر خشکسالی

Table 1- Dimensions, indicators and issues of resilience of rural areas against drought

شاخص‌ها **Indicators**	گویه ها **Objects**	منابع **Resources**
جریان افراد **flow of people**	میزان مهاجرت – شهرگرایی – تعامل و تردد با مناطق و نواحی-کاهش نیروی کار- تعامل فرهنگ‌ها- کالاهای مصرفی از مرکز به پیرامون The amount of immigration - urbanization - interaction and traffic with regions - reduction of labor force - interaction of cultures - consumer goods from the center to the periphery	Heydari Far & Soheili, (2012)
جریان اطلاعات **Information flow**	میزان استفاده روستائیان از رسانه‌ها و شبکه‌های ارتباطی – سطح سواد- مشاوره از جهاد کشاورزی- اطلاعات کشوری- اطلاعات جهانی- سهولت و دسترسی روستاییان به اطلاعات The extent of villagers' use of media and communication networks - literacy level - advice on agricultural organization - national information - global information - ease and access of villagers to information	Heydari Far & Soheili, (2012); Hassanzadeh & Sadeghzadeh Vayghan, (2012)
جریان سرمایه **capital flow**	میزان گردش مالی و وام وتسهیلات دریافتی- سرمایه گذاری در بخش‌های مختلف- مقدار فروش و عملکرد محصول Amount of financial turnover and loans and facilities received - investment in different sectors - amount of sales and product performance	Hafeznia, Ahmadipoor, Ezzati & Lashgari, (2014); Farzi ghareshiran, (2010); Ebrahimi, Bahraminasab & Parvaneh, (2016)
جریان محصول و کالا **Product and goods flow**	میزان تولید و تبادل نهاده‌های محصولات زراعی و باغی دیم و آبی-تولید شیر و فرآورده‌های آن – تنوع زراعی- صادرات محصولات زراعی و باغی The amount of production and exchange of agricultural and horticultural crops, rainfed and irrigated - production of milk and its products - crop diversity - export of agricultural and horticultural crops	Omorvand & Pourzamani, (2018); Karbasi & Asad Falsafizadeh, (2010); Hosseini & Homayounpour, (2013)
جریان نوآوری و فناوری	میزان پذیرش و استفاده از نوآوری و فناوری‌های نوین کشاورزی و دامی-ارتباط متقابل بین محققان و کشاورزان- تهیه و ترویج فایل‌های صوتی و برخط به کشاورزان- ایجاد فضای مجازی برای آموزش	Falaki, Shabanali Fami, Irvani & Movahed

The flow of innovation and technology	دهی به روستائیان- اتخاذ تدابیر تشویقی و ترقیب کارگزاران به استفاده از این فناوری - ایجاد توازن بین تولیدات کشاورزی The rate of acceptance and use of innovation and new agricultural and livestock technologies - mutual communication between researchers and farmers - preparing and promoting audio and online files to farmers - creating a virtual space for training villagers - adopting incentive measures and promoting agents to use This technology - creating a balance between agricultural production	mohammadi, (2008); Ghasemi, Nazari, Gharoon, Rohani & Gholifar, (2011).

جدول ۲- تعداد نمونه موردمطالعه

Table 2- Number of samples studied

منبع: (سرشماری نفوس و مسکن،۱۳۹۵ ومحاسبات نگارندگان،۱۴۰۲)

دهستان **Rural district**	روستاهای منتخب **Selected villages**	جمعیت **population**	تعداد خانوار **Number of households**	حجم نمونه **sample size**	فاصله از شهر روانسر به کیلومتر **Distance from Ravansar city in kilometers**
قوری قلعه **Q**orighaleh	ده لیلی Dehleyli	344	89	27	28
	شبان کاره Shabankareh	375	111	32	26
	بنچله Bencheleh	568	164	47	16
	بزگوره Bozgoreh	161	49	14	35
	قوری قلعه Qorighaleh	891	254	73	28
	نوخان Noukhan	13	4	4	39
منصور آقای Mansoor aghai	چلانه علیا Chalaneholiya	206	53	22	51
	تازه اباد سریاس Tazehabadseryas	685	195	56	42
	قلعه گاه Qalegah	121	31	10	31
کل Total	-	3364	950	285	-

گام دوم: تعیین میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در تاب‌آوری فرامحلی از طریق آزمون T تک نمونه‌ای یک طرفه: برای این منظور، در روستاهای موردمطالعه، میانگین برخورداری روستاییان دهستان‌های مذکور از مؤلفه‌های تاب‌آوری فرامحلی در برابر مخاطره خشکسالی از دیدگاه دهیارهای روستاهای دهستان‌های مذکور بررسی شده است که با نمونه گیری تمام سرشماری انتخاب شده است.

گام سوم: اولویت‌بندی تاب‌آوری فرامحلی دهستان‌های مذکور در برابـر مخـاطره خشکـسالی با استفاده از روش تاپسیس ازدیدگاه کارشناسان بومی و خبره‌ی جهاد کشاورزی (٤٥ نفر) و فرمانداری (۱۹ نفر) شهرستان روانسر می‌باشد.

در پژوهش حاضر، به‌منظور اولویت‌بندی سطح کلی تاب‌آوری فرامحلی مناطق روستایی دهستان‌های قوری قلعه و منصورآقایی نسبت به خشکسالی، ابتدا مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر تاب‌آوری فرامحلی روستاییان مذکور نسبت به خشکسالی براساس ادبیات تحقیق شناسایی شده، سپس میزان تأثیرگـذاری هـر یـک از شاخص‌های مذکور در تاب‌آوری فرامحلی کـشاورزان محاسبه شده و درنهایت از تکنیک تاپسیس جهت سنجش سطح کلی تاب‌آوری فرامحلی مناطق روستایی دهستان‌های موردمطالعه نسبت به خشکسالی استفاده شده است.

جدول ۳- پایایی ابزار تحقیق (پرسشنامه مسئولین و کشاورزان)

Table 3- Research instrument reliability (Questionnaire of officials and farmers)

ردیف **row**	طیف لیکرت **Likert scale**	میزان آلفای کرونباخ –کشاورزان **Cronbach's alpha rate - farmers**	میزان آلفای کرونباخ- مسئولین **Cronbach's alpha rate - officials**
1	جریان افراد People flow	0.71	0.73
2	جریان اطلاعات Information flow	0.85	0.75
3	جریان سرمایه capital flow	0.88	0.74
4	جریان محصول و کالا Product and goods flow	0.70	0.72
5	جریان نوآوری و فناوری Innovation and technology flow	0.79	0.73

۳-نتایج و بحث

براساس یافته‌های حاصل از جدول ٤ در وضع موجود، عوامل تاثیرگذار بر ارتقاء سطح تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روسـتایی نسبت به مخاطره خشکسالی، در پنج شاخص مطرح شده، از شرایط و وضعیت مطلوبی بـرای افـزایش سطح تاب‌آوری فرامحلی برخوردار است. تحلیل میانگین عددی حاصل از متغیرهای تحقیق نشان دهنـده ایـن نکته است که بیشتر متغیرها از شرایط مطلوب برخوردار بوده و نتایج نشان می‌دهد میـانگین عـددی ۵ شاخص بالاتر از مطلوبیت عددی آزمون یعنی عدد ۳/۵ بوده و آماره آزمون نیز مثبت است. بنـابراین بـا توجـه بـه سـطح معناداری به دست آمده متغیرهای ۵ شاخص مذکور دارای وضعیت

مناسبی به لحاظ تاثیرگذاری در افزایش تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی در برابـر مخـاطره خشکـسالی می‌باشند.

جدول ٤- میانگین و سطح معناداری شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی نسبت به خشکسالی از دیدگاه دهیاران

Table -4 Mean and Significance Level of Transboundary Resilience Indices to Drought from the Perspective of Village Heads

شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی به خشکسالی Indices of extra-local resilience to drought	میانگین Average	آماره آزمون t t test statistic	درجه آزادی Degree of freedom	سطح معنی داری Significant level	حدمطلوب Optimal limit	فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95% confidence interval	
						پایین‌تر Lower	بالاتر Higher
جریان افراد People flow	3	-2	98	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
جریان سرمایه‌ها capital flow	2	-8	98	0.000	-1.000	-1.000	0.000
جریان کالاها و محصولات Product and goods flow	3	0.000	98	0.000	0.000	0.000	0.000
جریان اطلاعات Information flow	2	0.000	98	0.000	0.000	0.000	0.000
جریان فناوری‌ها و نوآوری‌ها Innovation and technology flow	3	-7	98	0.000	0.000	-1.000	0.000

در ادامه به‌منظور چگونگی پراکنش و توزیع پنج شاخص تاب‌آوری فرامحلی در سطح روستاهای موردمطالعه از تکنیک تاپسیس و نظرات‌کارشناسان خبره جهاد کشاورزی و فرمانداری بهره گرفته شدکه مراحل اجرای این تکنیک در جدول (۵) تشریح شده است.

جدول۵- میانگین شاخص‌های مورد استفاده برای سنجش تاب‌آوری فرامحلی روستاییان نسبت به خشکسالی

Table -5 The average indicators used to measure the extra-local resilience of villagers to drought

روستا/شاخص Village/index	جریان افراد People flow x1	جریان سرمایه‌ها capital flow X2	جریان کالاها و محصولات X3 Product and goods flow	جریان اطلاعات Information flow x4	جریان فناوری‌ها و نوآوری‌ها Innovation and technology flow X5
قوری قلعه Qorighaleh	3	3	2	4	3
شبان کاره Shabankareh	5	4	4	4	4
بنچله Bencheleh	3	2	3	3	3
بزگوره Bozgoreh	5	4	5	4	4
نوخان Noukhan	3	2	2	3	3
ده لیلی Dehleyli	4	2	2	2	3
چلانه علیا Chalaneholiya	3	3	4	4	3
تازه آبادسریاس Tazehabadseryas	5	2	3	2	4
قلعه گاه Qalegah	3	2	2	3	3
Wj	0.21	0.23	0.20	0.17	0.19

پنج شاخص‌ارائه شده در جدول (۵)، به‌عنوان معیار اصلی سنجش تاب‌آوری فرامحلی روستاییان نسبت به خشکسالی در نظر گرفته شده و همچنین وزن هرشاخص با توجه به اهمیت هر یک در ایجاد تاب‌آوری فرامحلی روستاییان نسبت به خشکسالی محاسبه و در ستون مربوطه نگاشته شده است. جدول (٦) پس از تکمیل به صورت ماتریس ۹* ۵ (A_{ij}) استاندار شده و ماتریس R را تشکیل می‌دهد.

جدول٦- ماتریس استاندارد و نرمال شده

Table 6- Standard and normalized matrix

Matrix Nd				
0/311	0/412	0/254	0/478	0/364
0/518	0/549	0/508	0/478	0/485
0/311	0/275	0/381	0/359	0/364

0/518	0/549	0/635	0/478	0/485
0/311	0/275	0/254	0/359	0/364
۰/۵۱۸	0/549	0/508	0/478	0/485
0/311	0/275	0/381	0/359	0/364
۰/۵۱۸	0/549	0/635	0/478	0/485
0/415	0/275	0/254	0/239	0/364

جدول۷- وزن در دست اعمال به مقادیر ماتریس نرمال

Table 7- Weight to be applied to normalized matrix values

*Matrix Wn*n*

0.21	*0*	*0*	*0*	*0*
0	*0.23*	*0*	*0*	*0*
0	*0*	*0.20*	*0*	*0*
0	*0*	*0*	*0.17*	*0*
0	*0*	*0*	*0*	*0.19*

در مرحله بعد ماتریس (V) به شکل زیر تشکیل می‌گردد. این ماتریس حاصلضرب مقادیر استاندار شده‌ی هر شاخص در اوزان مربوط به خودش است.

جدول۸- ماتریس حاصلضرب مقادیر استاندار شده‌ی هر شاخص در اوزان مربوطه

Table 8- The matrix of the product of the standardized values of each index in the respective weights

Matrix V=Nd*W

0/065	0/095	0/051	0/081	0/069
0/109	0/126	0/102	0/081	0/092
0/065	0/063	0/076	0/061	0/069
0/109	0/126	0/127	0/081	0/092
0/065	0/063	0/051	0/061	0/069
0/087	0/063	0/051	0/041	0/069

حال با توجه مقادیر شاخص ایده آل و حداقل از ماتریس (V) خواهیم داشت:

S + =	**0/109**	**0/126**	**0/127**	**0/081**	**0/092**
S - =	0/065	0/063	0/051	0/041	0/069

در مرحله بعد از طریق روابط $S_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(V_{ij} - V_i^+)^2}$ و $S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(V_{ij} - V_i^-)^2}$ می‌توانیم معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو ایده آل و آلترناتیو حداقل بسازیم حاصل این روابط در زیر (جدول ۱۰) نشان داده شده است.

جدول۹- معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو ایده آل

Table 9- Distance criteria for the ideal alternative

Si+		***Si-***	
S1+=	0/096	*S1-=*	0/051
S2+=	0/025	*S2-=*	0/103
S3+=	0/097	*S3-=*	0/033
S4+=	0	*S4-=*	0/118
S5+=	0/112	*S5-=*	0/02
S6+=	0/112	*S6-=*	0/022
S7+=	0/093	*S7-=*	0/048
S8+=	0/078	*S8-=*	0/026
S9+=	0/112	*S9-=*	0/02

در نهایت می‌توان از طریق رابطه‌ی $C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}$ ضریب (C_i^*) را برای هر یک از روستاهای موردمطالعه محاسبه نمود؛ بنابراین نتیجه نهایی اولویت‌بندی سطح تاب‌آوری فرامحلی روستاها و روستاییان نسبت به خشکسالی از دیدگاه کارشناسان جهاد کشاورزی و فرمانداری به شرح جداول (۱۰) و (۱۱) است:

جدول۱۰- اولویت‌بندی سطح تاب‌آوری فرامحلی روستاییان نسبت به خشکسالی از دیدگاه کارشناسان و خبرگان

Table 10- Prioritization of Transboundary Resilience Levels of Rural Communities to drought from the Perspective of Experts and Specialists

Ci	
c1=	0/349

c2=	0/803
c3=	0/251
c4=	1
c5=	0/153
c6=	0/163
c7=	0/۱۶۹
c8=	0/151
c9=	0.121

جدول۱۱- اولویت‌بندی تاب‌آوری فرامحلی روستاهای موردمطالعه ازدیدگاه کارشناسان و خبرگان

Table 11- Prioritization of Transboundary Resilience of the Studied Villages from the Perspective of Experts and Specialists

ضریب اولویت (رتبه)iC Priority coefficient (rank)	C2=1	C4= 0.803	C1= 0.349	C3= 0/251	C6= 0/163	C5= 0/153	C7= 0/169	C8= 0/151	C9= 0/121
نام روستا Name of the village	بزگوره bozgoreh	شبان کاره shabankareh	قوری قلعه qorighaleh	بنچله bencheleh	ده لیلی Dehleyli	نوخان noukhan	چلانچه chalanehol iya	آبادسریاس تازه tazehabads eryas	قلعه گاه qalegah

براساس یافته‌های جدول (۱۱)، روستاهای بزگوه و شبان کاره براساس پنج شاخص جریان‌های افـــراد، سرمایه‌ها، کالاها و محصولات، اطلاعات، فناوری‌ها و نوآوری‌ها، از بالاترین رتبه تاب‌آوری فرامحلی نسبت به خشکسالی بر اساس روش تاپسیس برخوردارند می‌باشند. جدول (۱۲) نتایج مربوط به وزن هر گویه و میانگین وزن‌های هر شاخص را در مقیاس تاب‌آوری فرامحلی توسط مسئولین (کارشناسان بومی و خبره جهاد کشاورزی) (٤٥ نفر) و فرمانداری (۱۹ نفر) نشان می‌دهد. بر این اساس، بالاترین میانگین مربوط به شاخص جریان افراد (۳/۰۱) و کمترین آن مربوط به جریان‌کالا و محصول (۲/۳٦) بود.

جدول۱۲- ابعادشاخص ها و گویه های تاب‌آوری فرامحلی و میانگین ارائه شده توسط مسئولین

Table 12- Dimensions of indicators and items of extra-local resilience and the average presented by the officials

میانگین شاخص Average index	میانگین گویه Average object	گویه ها Objects	شاخص‌ها Indicators
3.01	2.96	میزان مهاجرت روستاییان پس از خشکسالی	**جریان افراد**

		Migration rate of villagers after drought	**People flow**
	2.58	نیروی کار روستا Village workforce	
	3.47	تعامل و تردد با مناطق روستایی Interaction and transportation with rural areas	
	3.29	کالای مصرفی Consumer goods	
	2.91	میزان تعاملات فرهنگی The amount of cultural interactions	
	2.83	تأثیرات تفکرات شهری The effects of urban thinking	
2.83	2.68	میزان گردش مالی Amount of turnover	**جریان سرمایه** **Capital flow**
	2.45	میزان وام و تسهیلات دریافتی روستاییان دربرابر خشکسالی The amount of loans and facilities received by villagers against drought	
	2.76	میزان سرمایه گذاری روستاییان در برابر بخشهای مختلف The amount of investment of villagers against different sectors	
	2.93	میزان مدیریت مالی و بصرفه در برابر خشکسالی The amount of financial and economical management against drought	
	3.14	میزان قیمت محصولات کشاورزی در برابر خشکسالی The price of agricultural products against drought	
	3.27	مقدار فروش و عملکرد محصولات کشاورزی پس از خشکسالی Sales volume and yield of agricultural products after drought	
	2.57	بازاریابی درست برای محصولات کشاورزی Proper marketing for agricultural products	
2.79	2.93	میزان پذیرش نوآوری و فناوری نوین Acceptance rate of innovation and new technology	**جریان نوآوری و فناوری** **Innovation and technology flow**
	3.24	ارتباط و تماس بین کشاورزان و محققان و متخصصین Communication and contact between farmers and researchers and experts	
	2.65	تهیه و ترویج فایل‌های صوتی و برخط به کشاورزان Preparing and promoting audio and online files to farmers	
	3.17	فضای مجازی برای آموزش دهی به روستاییان Virtual space for educating villagers	
	2.33	تدابیر تشویقی و ترغیب کار آفرینان	

		Incentive measures and incentives for entrepreneurs	
	2.45	توازن بین تولیدات کشاورزی Balance between agricultural products	
2.36	2.66	میزان تولید و تبادل نهاده‌های محصولات زراعی و باغی در برابر خشکسالی The amount of production and exchange of agricultural and horticultural crops inputs against drought	جریان کالا و محصول **Product and goods flow**
	2.48	میزان تولید شیر و فرآورده‌های آن پس از خشکسالی The amount of production of milk and its products after drought	
	2.75	تنوع محصولات زراعی پس از خشکسالی Diversity of crops after drought	
	2.63	خودکفایی محصولات کشاورزی Self-sufficiency of agricultural products	
	3.29	صادرات محصولات کشاورزی Export of agricultural products	
	2.84	امنیت غذایی روستاییان Food security of villagers	
2.73	2.69	میزان تاب‌آوری استفاده روستاییان از رسانه‌ها و شبکه‌های ارتباطی Resilience rate of villagers' use of media and communication networks	جریان اطلاعات **Information flow**
	2.47	تأثیر سطح سواد بر میزان تاب‌آوری The effect of literacy level on resilience	
	2.55	میزان سهولت و دسترسی به اطلاعات در برابر خشکسالی The degree of ease and access to information against drought	
	3.16	میزان استفاده کشاورزان از جهاد کشاورزی The extent of farmers' use of agricultural organization	
	2.27	اطلاعات موجود جهانی در برابر خشکسالی Globally available information against drought	
	3.26	اطلاعات موجود کشوری در برابر خشکسالی Available country information against drought	

یافته‌های جدول (۱۳) شاخص‌های توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) و شاخص‌های موردبررسی و نمره‌ی کل تاب‌آوری را نشان می‌دهد. از میان شاخص‌های موردبررسی، بیشترین میانگین مربوط به جریان اطلاعات (۱۷/۵۸) وکمترین‌آن مربوط به جریان سرمایه (۱۲/۱۸) به دست آمد. همچنین، میانگین تاب‌آوری ۷۳/۳٤ و انحراف استاندارد آن ۷/۰٦ به دست آمد.

جدول ۱۳- میانگین و انحراف معیار ابعاد و شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی

Table 13- Mean and standard deviation of dimensions and indices of translocal resilience

کشیدگی **Elongation**	کجی **Curvature**	انحراف معیار **Standard deviation**	میانگین **Average**	شاخص‌ها **Indicators**
0.374	-0.476	2.34	12.59	جریان افراد **People flow**
0.044	-0.523	2.19	12.18	جریان سرمایه **Capital flow**
0.440	-0.659	2.29	13.76	جریان نوآوری و فناوری **Innovation and technology flow**
-0.107	-0.088	1.68	17.25	جریان کالا و محصول **Product and goods flow**
-0.556	-0.243	2.36	17.58	جریان اطلاعات **Information flow**
1.425	-1.250	7.06	73.34	تاب‌آوری **Resilience**

با توجه به نمره‌های حاصل شده ازگویه‌ها در جدول (۱٤)که آورده شده است، به استخراج نمره‌های حاصل شده از شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی در روستاهای مورد نظر پرداخته شده است. به همین منظور میانگین نمره هر شاخص براساس میانگین نمره‌های حاصل ازگویه‌های هر روستا به دست آمده است. سپس براساس نمره‌های شاخص‌ها، نمره هر بعد در هر یک از روستاها به دست آمده است و در پایان میانگین نمره هر بعد در هر کدام از روستاهای موردمطالعه هر روستا به دست آمد.

جدول۱٤- نمره‌های اولیه کسب شده تاب‌آوری فرامحلی روستاها در برابر خشکسالی در روستاهای موردمطالعه

Table 14- The obtained primary scores of extra-local resilience of villages against drought in the studied villages

میانگین **Average**	جریان اطلاعات **Information flow**	جریان کالا و محصول **Product and goods flow**	جریان نوآوری و فناوری **Innovation and technology flow**	جریان سرمایه **Capital flow**	جریان افراد **people flow**	شاخص‌ها روستا
14.79	17.57	16.54	14.12	12.12	13.58	بنچله **Bencheleh**
14.8	18.26	17.26	13.33	12.47	12.68	قوری قلعه **Qorighaleh**

14.86	17.12	17.48	13.69	12.55	13.47	شبان کاره Shabankar
14.78	17.36	17.63	13.45	12.33	13.15	ده لیلی Dehleyli
15.38	17.57	17.65	14.27	13.56	13.85	بزگوره Bozgoreh
14.74	17.14	17.33	13.66	12.64	12.95	نوخان Noukhan
14.67	18.12	16.96	12.19	13.32	12.74	تازه اباد سریاس Tazehabadseryas
14.69	16.99	17.59	13.77	12.48	12.63	چلانه Chalaneholiya
14.62	17.41	17.26	13.42	12.13	12.86	قلعه گاه Qalegah

همانطورکه در جدول (۱٤) ذکر شده است، در بین شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی در برابر خشکسالی، بالاترین میانگین نمرات شاخص‌ها مربوط به روستای بزگوره می‌باشد و کمترین آن مربوط به روستای قلعه‌گاه است. برای به دست آوردن میزان تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی در برابر خشکسالی روستاهای موردمطالعه از نظر مردم محلی (کشاورزان)، از آزمون T تک نمونه‌ای استفاده شده است. در جدول (۱۵) به امتیاز شاخص تاب‌آوری فرامحلی سکونتگاه‌های روستایی در برابر خشکسالی در روستاهای موردمطالعه از نظر و دیدگاه مردم محلی مشخص شده است.

جدول۱۵-امتیازات به دست آمده برای شاخص تاب‌آوری فرامحلی از پرسشنامه‌های کشاورزان

Table 15- Scores obtained for the extra-local resilience index from farmers' questionnaires

معناداری Significance	t	انحراف معیار standard deviation	میانگین Average	شاخص‌ها Indicators
0.001	90.92	2.34	12.59	جریان افراد People flow
0.001	94.17	2.19	12.18	جریان سرمایه Capital flow
0.001	101.16	2.29	13.76	جریان نوآوری و فناوری Innovation and technology flow
0.001	173.16	1.68	17.25	جریان کالا و محصول Product and goods flow

جریان اطلاعات Information flow	17.58	2.36	125.49	0.001
تاب‌آوری Resilience	73.34	7.06	175.25	0.001

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۱۵) مشاهده می‌شود که آماره‌ی t تک‌نمونه‌ای برای مقایسه‌ی روستاها از نظر شاخص تاب‌آوری فرامحلی در همه‌ی شاخص‌های مورد نظر و نیز در شاخص تاب‌آوری کل از نظر آماری معنادار است. به این معنا که روستاهای موردبررسی از این نظر با هم تفاوت داشته و این موضوع نیاز به بررسی بیشتری دارد؛ بنابراین برای به بدست آوردن نمره نهایی تاب‌آوری فرامحلی در هر روستا، نمره کسب شده از پرسشنامه که نظر مردم روستا بوده با وزن ارائه شده توسط کارشناسان برای شاخص‌های تحقیق تلفیق شده است؛ بنابراین درجدول (۱۶) به ترتیب نمره حاصل از محاسبه نمرات خام پرسشنامه‌ها به وزن داده شده توسط کارشناسان و در واقع نمره اصلی و نهایی ذکر شده است.

جدول۱۶- نمرات نهایی تاب‌آوری فرامحلی در سطح روستاهای موردمطالعه

Table 16- The final grades of extra-local resilience at the level of the studied villages

شاخص‌ها روستا	جریان افراد people flow	جریان سرمایه Capital flow	جریان نوآوری و فناوری Innovation and technology flow	جریان کالا و محصول Product and goods flow	جریان اطلاعات Information flow	میانگین Average
بنچله Bencheleh	12.33	12.45	13.49	17.74	17.36	14.67
قوری قلعه Qorighaleh	12.29	12.76	12.85	17.52	17.45	14.57
شبان کاره Shabankareh	13.08	12.39	12.63	17.44	17.58	14.62
ده لیلی Dehleyli	12.47	12.65	13.22	16.96	17.69	14.60
بزگوره Bozgoreh	13.24	12.52	12.66	17.84	17.89	14.83
نوخان Noukhan	12.67	13.47	13.32	17.32	17.25	14.81
تازه اباد سریاس Tazehabadseryas	12.32	13.06	13.21	17.52	17.13	14.65
چلانه Chalaneholiya	12.55	12.69	12.64	17.55	16.94	14.47
قلعه گاه Qalegah	12.68	12.78	12.72	17.24	17.32	14.55

همانطورکه در جدول (۱۶) بیان شده است، در بین روستاهای موردبررسی از نظر شاخص‌های تاب‌آوری فرامحلی، روستای بزگوره بالاترین نمره‌ی میانگین این شاخص‌ها و روستای چلانه کمترین میانگین مذکور را به خود اختصاص داده است. درنهایت میزان سنجش شاخص هلی فرامحلی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که بر اساس یافته‌های جداول (۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۱) می‌باشند.

جدول۱۷- نتایج گویه‌های شاخص جریان افراد

Table 17- Results of the Items of the People Flow Indicator

خیلی کم Too low	کم Low	متوسط Middle	زیاد Much	خیلی زیاد Too much	توزیع Distribution	متغیرها Variables
2	5	60	128	90	فراوانی Frequency	میزان مهاجرت افراد The rate of migration of people
0.7	1.7	20.1	43	30.2	درصد Percentage	
2	7	85	130	61	فراوانی Frequency	نیروی کار Labor force
0.7	2.3	28.5	43.6	20.5	درصد Percentage	
1	3	71	140	70	فراوانی Frequency	تعامل و تردد با مناطق روستایی Interaction and transportation with rural areas
0.3	1	23.8	47	23.5	درصد Percentage	
1	3	51	151	79	فراوانی Frequency	کالاهای مصرفی Consumer goods
0.3	1	17.1	50.7	26.5	درصد Percentage	
1	3	81	123	77	فراوانی Frequency	میزان تعاملات فرهنگی The amount of cultural interactions
0.3	1	27.2	41.3	25.8	درصد Percentage	
0	13	143	95	34	فراوانی Frequency	شهرگرایی Urbanism
0	4.4	48	31.9	11.4	درصد Percentage	

به طورکلی، بررسی جریان افراد در روستاهای موردمطالعه نشان داد که پراکنش پاسخ‌ها در اغلب گویه‌ها در دامنه زیاد و متوسط قرار دارد و کمترین فراوانی پاسخ‌ها مربوط به گزینه‌ی خیلی کم می‌باشد. جریان سرمایه دارای گویه های جریان گردش مالی، میزان وام و تسهیلات، میزان سرمایه گذاری در بخش‌های مختلف،

میزان مدیریت مالی و بصرفه، میزان قیمت محصولات کشاورزی، مقدار فروش و عملکرد محصولات، بازاریابی درست می‌باشد.

جدول۱۸- نتایج گویه‌های شاخص جریان سرمایه

Table 18-Results of the items of the capital flow indicator

خیلی کم Too low	کم Low	متوسط Middle	زیاد Much	خیلی زیاد Too much	توزیع Distribution	متغیرها Variables
0	6	124	110	45	فراوانی Frequency	جریان گردش مالی Financial flow
0	2	41.6	36.9	15.1	درصد Percentage	
2	9	65	132	77	فراوانی Frequency	میزان وام و تسهیلات The amount of loans and facilities
0.7	3	21.8	44.3	25.8	درصد Percentage	
0	1	80	130	74	فراوانی Frequency	میزان سرمایه گذاری در بخشهای مختلف The amount of investment in different sectors
0	0.3	26.8	43.6	24.8	درصد Percentage	
3	10	125	95	52	فراوانی Frequency	میزان مدیریت مالی و بصرفه The amount of financial management and cost-effectiveness
1	3.4	41.9	31.9	17.4	درصد Percentage	
8	84	164	18	11	فراوانی Frequency	مقدار فروش و عملکرد محصولات Sales volume and product performance
2.7	28.2	55	6	3.7	درصد Percentage	

از میان‌گزینه‌های موجود «زیاد» و «متوسط» بیشترین فراوانی را درگویه‌های مربوط به شاخص جریان سرمایه به خود اختصاص داده و کمترین آن مربوط به گزینه‌ی خیلی کم است. جریان نو آوری و فناوری دارای گویه های میزان پذیرش نوآوری و فناوری، ارتباط و تماس بین کشاورزان و محققان، تهیه و ترویج فایل صوتی و برخط به کشاورزان فضای مجازی برای آموزش دهی به روستاییان، تدابیر تشویقی و ترغیب کارآفرینان، توازن بین تولیدات کشاورزی می‌باشد.

جدول۱۹- نتایج گویه‌های شاخص جریان فناوری و نوآوری

Table 19- Results of the Items of the Innovation and technology flow Indicator

خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	توزیع	متغیرها

Too low	Low	Middle	Much	Too much	Distribution	Variables
0	3	120	100	62	فراوانی Frequency	میزان پذیرش نوآوری و فناوری **Adoption rate of innovation and technology**
0	0	40.3	33.6	20.8	درصد Percentage	
0	0	12	140	133	فراوانی Frequency	ارتباط و تماس بین کشاورزان و محققان **Communication and contact between farmers and researchers**
0	0	4	47	44.6	درصد Percentage	
0	18	136	130	1	فراوانی Frequency	تهیه و ترویج فایل صوتی و برخط به کشاورزان **Preparing and promoting audio and online files to farmers**
0	6	45.6	43.6	0.3	درصد Percentage	
0	7	79	134	65	فراوانی Frequency	فضای مجازی برای آموزش دهی به روستاییان **Virtual space for educating villagers**
0	2.3	26.5	45	21.8	درصد Percentage	
0	22	133	107	23	فراوانی Frequency	تدابیر تشویقی و ترغیب کارآفرینان **Incentive measures and incentives for entrepreneurs**
0	7.4	44.6	35.9	7.7	درصد Percentage	
0	0	96	105	85	فراوانی Frequency	توازن بین تولیدات کشاورزی **Balance between agricultural products**
0	0	31.9	35.2	28.5	درصد Percentage	

بررسی گویه‌های مربوط به شاخص جریان نوآوری و فناوری نشان داد گزینه خیلی‌کم هیچ پاسخی را به خود اختصاص نداده و گزینه‌های زیاد و متوسط بیشترین پاسخ را دریافت کرده‌اند. جریان کالا و محصول دارای گویه‌های میزان تولید و تبادل نهاده‌های باغی و زراعی، میزان تولید شیر و فرآورده‌های آن، تنوع محصولات زراعی، خودکفایی محصولات، صادرات محصولات، امنیت غذایی می‌باشد.

جدول۲۰- نتایج گویه‌های شاخص کالا و محصول

Table 20- The results of the index items of goods and products

خیلی کم Too low	کم Low	متوسط Middle	زیاد Much	خیلی زیاد Too much	توزیع Distribution	متغیرها Variables
0	0	84	144	57	فراوانی Frequency	میزان تولید و تبادل نهاده‌های

باغی و زراعی **The amount of production and exchange of horticultural and agricultural inputs**	درصد Percentage	19.1	48.3	28.2	0	0
میزان تولید شیر و فراورده‌های آن **The production rate of milk and its products**	فراوانی Frequency	137	148	0	0	0
	درصد Percentage	46	49.7	0	0	0
تنوع محصولات زراعی **Variety of crops**	فراوانی Frequency	35	117	126	7	0
	درصد Percentage	11.7	39.9	42.3	2.3	0
صادرات محصولات **Export products**	فراوانی Frequency	7	72	164	42	0
	درصد Percentage	2.3	24.2	55	14.1	0

بررسی پاسخ‌هایی‌که به گویه‌های مربوط به شاخص جریان کالا و محصول داده شده است، نشان داد گزینه خیلی‌کم هیچ پاسخی را دریافت نکرده و گزینه‌های زیاد و متوسط بیشترین پاسخ را به خود اختصاص داده‌اند. جریان اطلاعات دارای گویه‌های میزان تاب‌آوری استفاده روستاییان از رسانه‌ها و شبکه‌های ارتباطی، تأثیر سواد بر تاب‌آوری، میزان سهولت و دسترسی به اطلاعات، میزان استفاده کشاورزان از جهاد کشاورزی، اطلاعات موجود جهانی در برابر خشکسالی، اطلاعات موجود کشوری در برابر خشکسالی می‌باشد.

جدول۲۱- نتایج گویه‌های شاخص جریان اطلاعات

Table 21- Results of information flow index items

متغیرها **Variables**	توزیع **Distribution**	خیلی زیاد **too much**	زیاد **much**	متوسط **middle**	کم **low**	خیلی کم **Too low**
میزان تاب‌آوری استفاده روستاییان از رسانه‌ها و شبکه‌های ارتباطی **Resilience rate of villagers' use of media and communication networks**	فراوانی Frequency	111	119	55	0	0
	درصد Percentage	37.2	39.9	18.5	0	0
تأثیر سواد بر تاب‌آوری **The effect of literacy on resilience**	فراوانی Frequency	41	127	117	0	0
	درصد	13.8	42.6	39.3	0	0

					Percentage	
0	0	132	96	57	فراوانی Frequency	**میزان سهولت و دسترسی به اطلاعات Ease of access to information**
0	0	95.6	32.2	19.1	درصد Percentage	
0	0	0	151	134	فراوانی Frequency	**میزان استفاده کشاورزان از جهاد کشاورزی The extent of farmers' use of agricultural organization**
0	0	0	50.7	45	درصد Percentage	
0	2	106	110	67	فراوانی Frequency	**اطلاعات موجود جهانی در برابر خشکسالی Globally available information against drought**
0	0.7	35.6	36.9	22.5	درصد Percentage	
0	1	114	102	68	فراوانی Frequency	**اطلاعات موجود کشوری در برابر خشکسالی Available country information against drought**
0	0.3	38.3	34.2	22.8	درصد Percentage	

در گویه‌های مربوط به شاخص جریان اطلاعات، گزینه‌های کم و خیلی کم حداقل پاسخ ممکن را دریافت کرده وگزینه‌های زیاد و متوسط بیشترین پاسخ را دریافت کرده‌اند.

٤-نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تلاش شد تا عوامل مؤثر بر تاب‌آوری فرامحلی روستاییان، شناسایی و در پنج شاخص جریان‌های افراد، سرمایه‌ها،کالاها و محصولات، اطلاعات، فناوری‌ها و نوآوری‌ها دسته‌بندی گردید. در این میان با توجه به جایگاه و نقش دهیارهای روستاهای شهرستان روانسر در تصمیم‌گیری‌ها و تصمیم‌سازی‌های حوزه مدیریت خشکسالی، از طریق آزمون تی تک نمونه‌ای میانگین سطح هر یک از عوامل در شرایط موجود منطقه موردمطالعه موردبررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد بیشتر متغیرها از شرایط مطلوب برخوردار بوده و نتایج نشان می‌دهد میانگین عددی ۵ شاخص مذکور بالاتر از مطلوبیت عددی آزمون یعنی عدد ۳/۵ بوده و آماره آزمون نیز مثبت است. بنابراین با توجه به سطح معناداری به دست آمده، متغیرهای زیرمجموعه‌ی این پنج شاخص دارای وضعیت مناسبی به لحاظ تأثیرگذاری در افزایش تاب‌آوری فرامحلی روستاییان و کشاورزان در برابر مخاطره خشکسالی قلمداد شدند. در ادامه از طریق تکنیک TOPSIS براساس شاخص‌های مذکور تلاش شد تا بر اساس ۵ شاخص فوق، به

اولویت‌بندی سطح تاب‌آوری فرامحلی ۹ روستای بخش شاهو در برابر مخاطره خشکسالی از دیدگاه کارشناسان بومی و خبره‌ی جهاد کشاورزی و فرمانداری پرداخته شد که روستاهای بزکوه و شبانکاره براساس پنج شاخص جریان‌های افـــراد، سرمایه‌ها، کالاها و محصولات، اطلاعات، فناوری‌ها و نوآوری‌ها، از بالاترین رتبه تاب‌آوری فرامحلی نسبت به خشکسالی بر اساس روش تاپسیس برخوردارند می‌باشند. نتایج نشان داد که تاب‌آوری فرامحلی با روابط شهر و روستا و دامنه پیوندهای روستایی- شهری در این روستاها همراه با تنوع بسترهای اجتماعی – اقتصادی متفاوت جلوه‌گر شده است، اما به‌طورکلی روابط سلطه‌جو در این عرصه به پیوندهای مکمل و سازنده تغییر داده (Saeidi, 2011) و برخی روستاها را به لحاظ تاب‌آوری فرامحلی نسبت به خشکسالی غنی‌تر ساخته است. دراین‌ارتباط یافته‌ها نـشان داد کـه مناطق روستایی بزکوه و شبانکاره بیشترین تاب‌آوری فرامحلی را نسبت به خشکسالی داشتند این یافته‌ها با نتایج پژوهش سلیمانی و رضوانی (Soleymani & Rezavani, 2023)، جمینی و همکاران (Jamini, Safari, Salehi, Alipour & Zolfaghari, 2017) همسو است. ازآنجایی‌که آپادورای (Appadurai, 1996) مناطق دارای روابط فرامحلی را به‌عنوان محلاتی برآمده از پیوندهای شخصی توصیف کرده که جمعیت‌های در حال گردش با مردم محلی در سراسر و فراتر از مرزهای دولت – ملت‌ها به هم می‌پیوندد، براین مبنا تراکم جمعیت بیشتر بزکوه و شبان کاره به دلیل سیال بودن، پویایی و مجاورت به مرکز دهستان و شهرستان با شبکه درهم‌تنیده روستاهای تحت پوشش خود، منشأ شکل‌گیری پیوندها و جریان‌های سرمایه‌ای، کالایی و محصولات، اطلاعات و فناوری‌ها و نوآوری‌های متعدد شده‌اند، این فرآیند توأم با منابع درآمدی متنوع، وسعت زمین‌های کشاورزی زیر کشت، پذیرش و بهره‌گیری از نوآوری‌هایی نظیر بذور اصلاح‌شده به شیوه به نژادی مشارکتی و کشت حفاظتی، همراه با مهارت تجربی منتقل شده از کشاورزان استان همدان، بستر نوعی پایداری معیشتی و درنهایت تاب‌آوری فرامحلی را در شرایط خشکسالی برای روستاهای مذکور فراهم نموده است. درعین‌حال روستاهای قوری قلعه، بتجله، ده لیلی و نوخان نیز به‌واسطه جریان سرمایه‌ای ناشی از فروش محصولات دامی و کشاورزی دیم نظیر نخود و ... به اقصی نقاط استان کرمانشاه همراه با تجارت برون‌استانی و دریافت مشاوره‌های ترویجی از مراکز خدمات کشاورزی، تاب‌آوری فرامحلی متوسطی را احراز نموده‌اند. درنهایت جمعیت و تعداد کمتر روستاهای تحت پوشش چلانه، تازه‌آباد سریاس و قلعه‌گاه و موقعیت فضایی مکانی

استقرار آن‌ها در نواحی کوهستانی بخش شاهوی شهرستان روانسر، جریان‌ها و پیوندهای ضعیف‌تری را نسبت به روستاهای قبلی فوق‌الذکر رقم زده و تعامل محدود و معیشت کم تنوع این روستاها نیز مزید بر علت شده تا تاب‌آوری فرامحلی ضعیف‌تری را تجربه نمایند و در معرض آسیب‌پذیری به‌مراتب بیشتری در مواجهه با پدیده خشکسالی باشند. درعین‌حال روندها و فرایندهای بسترساز نابرابری و تفاوت فوق‌الذکر را می‌توان به سطح توسعه‌یافتگی نامتوازن اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و کالبدی روستاهای مذکور نسبت داد. درواقع ناپایداری جریان‌ها و پیوندهای فرامحلی در سطح روستاهای بخش شاهوی شهرستان روانسر می‌تواند زمینه‌ساز آسیب‌پذیری بیشتر سکونتگاه‌های روستایی نسبت به خشکسالی باشد. با توجه به نکاتی که ذکر شد، نتیجه می‌گردد که توجه به تاب‌آوری محلی و فرامحلی در برابر بحران خشکسالی اهمیت ویژه‌ای دارد. درنهایت توصیه می‌شود که توانمندسازی روستائیان جهت ارتقای تاب‌آوری فرامحلی در این روستاها با تقویت سرمایه‌های معیشتی در اولویت قرار گیرد. در واقع توانافزایی نیروی انسانی و ارتقای سرمایه‌های اجتماعی می‌تواند به بهبود جریان‌های اطلاعات و افراد کمک نماید و این دو سرمایه قادرند ضمن تنوع‌بخشی با راهبردهای سازگاری با پیوندها و جریان‌های فراتر از سطح منطقه، پیشران و محرک تاب‌آوری فرامحلی در این روستاهای موردمطالعه باشند. بحران‌های طبیعی مثل خشکسالی به واقعیت‌های نوظهور امثالی روابط فرامحلی توجه ویژه‌ای داشته باشند تا مدیریت یکپارچه و هماهنگی در عرصه‌های روستایی حاصل گردد.

References

Appadurai, A. (1996). *Modernity at large: Cultural dimensions of globalization*. London: University of Minnesota Press. https://books.google.com/books/about/Modernity_At_Large.html?id=4LVeJT7gghMC

Ebrahimi, S. K., Bahraminasab, A., & Parvaneh, S. (2016). product market competition, Free Cash Flow, over investment and low investment. *Empirical Studies in Financial Accounting*, *13*(50). https://doi.org/10.22054/qjma.2020.4979.1190

Einali, J., Farahani, H., & Mohammadi, B. (2022). Assessing the Role of Economic and Social Empowerment of Rural Households in Reducing the Effects of Drought (Case Study: Sarpol-e Zahab Township, Kermanshah Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(1), 255-277. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68728.1017

Falaki, M., Shabanali Fami, H., Irvani, H., & Movahed mohammadi, H. (2008). Attitude of Extension Experts towards Application of Information Technology in Agricultural Extension System. *Journal of Water and Soil Science*, *12*(43), 253-265. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1387.12.43.22.5

Farzi ghareshiran, A. (2010). Evaluation of global capital flows. *Financial Knowledge of Securities Analysis, 3*(5), 91-113. [In Persian] https://sanad.iau.ir/Journal/jfksa/Article/803344

Freitag, U., & Open, A. V. (2010). *Translocality: The Study of Globalising Processes from a Southern Perspective*. Boston: Brill. https://doi.org/10.1163/ej.9789004181168.i-452

Gebremeskel Haile, G., Tang, Q., Sun, S., Huang, Z., Zhang, X., & Liu, X. (2019). Droughts in East Africa: Causes, impacts and resilience. *Earth-Science Reviews, 193*, 146-161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.015

Ghasemi Siyani, D., Afrakhteh, D., Aziz poor, D., & Riyahi, V. (2019). Rural Area Spatial Integration Based on Network Analysis of Spatial Flows (Case study: BonRud District and the Jolgeh (Isfahan city). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, *9*(31), 35-52. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23452277.1398.9.31.3.2

Ghasemi, J., Nazari, S., Gharoon, Z., Rohani, H., & Gholifar, E. (2011). Factors Affecting Use of Information and Communication Technology (ICT) by Agricultural Extension Experts, in Khorasan Razavi Province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *42*(1), 93-104. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084838.1390.42.1.8.9

Greiner, C., & Sakdapolrak, P. (2013). Translocality: Concepts, applications and emerging research perspectives. *Geography Compass*, *7*(5), 373-384. https://doi.org/10.1111/gec3.12048

Hafeznia, M. R., Ahmadipoor, Z., Ezzati, E., & Lashgari, E. (2014). Geographical Hubsof Financial Outflow Management and Emergence of Financial Strategy Points. *Human Geography Research*, *46*(1), 1-14. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jhgr.2014.50590

Hassanzadeh, M., & Sadeghzadeh Vayghan, A. (2012). Inputs and Outputs of the Information flow in Iranian Research Institutes. *Library and Information Science Research*, *2*(2), 71-90. [In Persian] https://doi.org/10.22067/riis.v2i1.9322

Heydari Far, M. R., & Soheili, F. (2012). Globalization, Geopolitics and the flows of Information. *Library and Information Science Research*, *2*(1), 223-244. [In Persian] https://doi.org/10.22067/riis.v2i2.10724

Hosseini, S., & Homayounpour, M. (2013). Factors Affecting Agricultural Commodities Export in Iran. *Agricultural Economics*, *6*(4), 1-16. [In Persian] https://www.iranianjae.ir/article_9291.html

Imani, B., & Mohamadi Mashkool, A. (2019). Analysis of the Relationship between Livelihoods and Resilience of Rural Areas against Drought (Case Study: Villages of Ardabil). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *7*(4), 147-164. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.71754

Jamini, D., Safari, A., Salehi, M., Alipour, K., & Zolfaghari, A. (2017). Spatial distribution of quality of life and identification of its determinants in rural settlements (case study: Ravansar county, Kermanshah province). *Geography and Environmental Planning*, *28*(2). 57-78. [In Persian] https://doi.org/10.22108/gep.2017.97940

Karbasi, A., & Asad Falsafizadeh, N. (2010). Determinants of agronomic diversification on agricultural crops. *Agricultural Economics*, *4*(1), 101-114. [In Persian] https://www.iranianjae.ir/article_9771.html

Kazemi, D., & Andalib, A. (2017). The Assessment of Factors Influential in the Social Resilienceof Rural Settelments in Disasters. *Housing and Rural Environment*, *36*(158), 131-145. [In Persian] http://jhre.ir/article-1-1199-fa.html

Khayyati, M., & Aazami, M. (2016). Drought impact assessment on rural livelihood systems in Iran. *Ecological Indicators*, *69*, 850-858. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.039

Liu, S., Shi, H., & sivakumar, B. (2020). Socioeconomic Drought under Growing population and changing climate:A New index considering the Resilience of a Regional water Resources system. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *125*(15),e2020JD033005. http://dx.doi.org/10.1029/2020JD033005

Maysoun, H., Ahmadalipour, A., & Moradkhani, H. (2020). Drought and food security in the-30 Middle East: An analytical framework. *Agricultural and Forest Meteorology*, *281*, 107816. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107816

Mohammadi yeganeh, B., & Hoseinzadeh, A. (2013). The functional role of village-cities in the development of surrounding villages under study: Zarin Rood city, Khodaband county. *Regional Planning*, *3(*11), 55-64. [In Persian]

Omorvand, H., & Pourzamani, Z. (2018). Identifying the impact of free cash flows on creating non-financial performance in the product market and future capital expenditures of companies. *Investment knowledge*. *7*(25), 99-126. [In Persian] http://www.jik-ifea.ir/article_12000.html

Rockenbauch, T., Sakdapolrak, P., & Sterly, H. (2022). Do translocal networks matter for agricultural innovation? A case study on advice sharing in small-scale farming communities in Northeast Thailand. *Agriculture and Human Values*, *Springer;The Agriculture, Food, & Human Values Society (AFHVS)*, *36*(4), 685-702. https://ideas.repec.org/a/spr/agrhuv/v36y2019i4d10.1007_s10460-019-09935-0.html

Saeidi, A. (2011). *Rural-urban relations and links in Iran*. Tehran: Mehr Mino publishing. [In Persian]

Sakdapolrak, P., Naruchaikusol, S., Ober, K., Peth, S., Porst, L., Rockenbauch, T., & Tolo, V. (2016). Migration in a changing climate. Towards a translocal social resilience approach. *DIE ERDE–Journal of the Geographical Society of Berlin*, *147*(2), 81-94. https://doi.org/10.12854/erde-147-6

Salmoral, G., Ababio, B., & Holman, I. P. (2020). Drought impacts coping Responses and Adaptation in the UK outdoor livestock sector: insights to Increase Drought Resilience. *Land*, *9*(6), 202. https://doi.org/10.3390/land9060202

Savari, M., & Khosravipour, B. (2018). Analysis of the effects and resilience on the lives of rural households in drought conditions in Divandareh county. *Spatial Planning*, *8*(3), 19-40. [In Persian] https://doi.org/10.22108/sppl.2018.113150.1291

Schöfberger, I. (2018). Environmental change and translocal vulnerability in Senegal. *Migration, Environment and Climate Change*, *4*(3), 1-8.

Soleymani, A., & Rezavani, M. R. (2023). Spatial analysis of extra-local resilience of rural settlements in Ravansar county in the face of drought. *Journal of Rural Research*, *14*(1), 6-19. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrur.2023.347730.1768

Soleymani, A., Afrakhteh, H., Azizpour, F., & Tahmasebi, A. (2016). Spatial analysis of adaptation capacity of rural settlements in Ravansar city in facing drought. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 3*(2), 65-78. [In Persian] http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.65

Solh, M., & van Ginkel, M. (2014). Drought preparedness and drought mitigation in the developing world′ s drylands. *Weather and Climate Extremes, 3*, 62-66. https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.03.003

Verhoeve, S. L., Keijzer, T., Kaitila, R., Wickama, J., & Sterk, G. (2021). Vegetation resilience under increasing drought conditions in northern Tanzania. *Remote Sensing*, *13*(22), 4592. https://doi.org/10.3390/rs13224592

Wu, B., Ma, Z., & Yan, N. (2020). Agricultural droght mitigating indices derived from the changes in drought characteristics. *Remote Sensing of Environment*, *244*, 111813. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111813

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)

VOLUME 13, NO 51, Autumn 2024

CONTENTS

- **Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran** **1**
  Habib Alla Sadeghi, Afshin Danehkar, Mohammad Jalal Abbasi-Shavazi
- **Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the Role of human activities in its occurrence** **35**
  Amirali Abbaszadeh, Amir Safari, Ali Ahmadabadi
- **Investigating the effectiveness of the SWMM model in simulating and evaluating the capacity of Kalat Naderi urban channels for the passage of flood flows** **56**
  Zinat Hesami, Mohammad Taghi Dastorani, Fateme Rezaei
- **Estimation of Dinevar River flood risk using Australian standard method** **75**
  Roya panahi, Mohammad Mahdi Hosseinzadeh
- **Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan)** **101**
  Mousa Abedini, Payam Fateh Elahi, Behrouz NezafatTakle
- **Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan township)** **129**
  Zahra Kharadmehr, Sara Farazmand, Saheb Khordehbin
- **Simulating Changes in Organic Carbon of Forest Soils Due to Climate Change at Different Altitudes Using the Roth C Model** **150**
  Mehran Misaghi, Ahmad Golchin, Mohammad Sadegh Askari
- **Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood watershed)** **184**
  Abdolhafez panahi, Gholamreza Janbaz Ghobadi, Sadraddin Motavalli, Shahryar khaledi
- **Projection changes of extreme precipitation with different return periods in Iran based on the ensemble approach of 10 CMIP6 models in the near future** **214**
  Sakineh Khansalari, Seyede Atefeh Mohammadi, Zahra Ghassabi, Hassan Salehi
- **Assessment of the impact of drought on the vegetation cover in Lorestan Province using advanced infrared images** **247**
  Samad khosravi Yagane, Mostafa Karampour, Behrouz Nasiri
- **Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province** **280**
  Mansoureh Kouhi, Ebrahim Asadi Oskouei
- **Analyzing the change in the concentration of pollutants during the covid-19 epidemic and presenting a model based on machine learning to predict air pollution** **310**
  Abbas Maleki, Sadegh Abedi, Alireza Airajpour
- **Forecasting the Vulnerability of Khash City Due to Storm Hazard by Gamble Method and Partial Series** **339**
  Omid Piryan Kalat, Javad Jamshidzehi, Keramatollah Ziari, Reza Shafie Kenari
- **Analysis of the Relationship between Land Use Changes and Land Cover Metrics: The Case of Barandozchay Watershed** **367**
  Mohammad Koohani, Javad Behmanesh
- **Evaluation of extra-local resilience of rural settlements in Shaho district against drought** **393**
  Sahar Maleki, Mohammad Akbarpour, Omid ali Moradi

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Editor-in-Chief:
Dr. S. R. Hosseinzadeh
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran

Director:
Dr. S. R. Hosseinzadeh
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran

Executive Manager:
Sayyed Mohammad Ali Moosavi

Managing Editor:
Dr.Masoud Rahimi

English Language Editor:
Maryam Mohammadi Shandiz

International Editorial Board:

Professor Victor R. Baker
Department of Hydrology and Water Resource
University of Arizona, USA
Professor Ziyadin Çakir
Department of Geology
Istanbul Technical University, Turkey
Professor Gao-Lin Wu
Institute of Water and Soil Conservation
Chinese Academy of Sciences
Dr. Masoud Irannezhad
Senior Research Fellow
University of Oulu, Finland

Iranian Editorial Board:

Dr. Morteza Akbari
Department of Natural Resources and Environment
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Hamid Ejtehadi
Department of Biology, Sciences
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Mohammad Reza Esfehani
Department of Civil Engineering
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Bakhtiar Feizizadeh
Department of Geography
University of Tabriz, Tabriz, Iran

Dr. Manijeh Ghahroudi Tali
Department of Geography
University of Alkharazmi, Tehran, Iran

Dr. Alireza Karimi
Department of Soil Sciences
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr.Golamreza Lashkaripour
Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Abolfazl Masudian
Department of Physical Geography
University of Isfahan, Isfahan, Iran

Dr. Masoud Minaei
Department of Geography Ferdowsi
University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Masoud Mirzaei Shahrabi
Department of Chemistry Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Hossein Mohammadzadeh
Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Alireza Rashki
Department of Natural Resources and Environment Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Dr. Hossein Shafizadeh-Moghadam
Department of Water Engineering and Management Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Dr. Shaban Shataee Joybari
Department of Forest Sciences
University of Gorgan, Gorgan, Iran

Dr. Kkalil ValizadehKamran
Department of Remote Sensing and GIS
Tabriz University, Tabriz, Iran

Dr. Mojtaba Yamani
Department of Physical Geography
University of Tehran, Tehran, Iran

Dr. Azar Zarrin
Department of Geography Ferdowsi
University of Mashhad, Mashhad, Iran

Geography and Environmental Hazards (ISSN:2322-1682) is published four times a year in June, September, December and March by Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Postal Code: 9177948883, Tel: +98(0) 5138805273 Fax: +98(0) 51 38794144
E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website : http://geoeh.um.ac.ir

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Aims

Journal of Geography and Environmental Hazards is an Iranian interdisciplinary research journal that highlights issues of Geography such as geographic risk degree of regions, human exposure to risk, vulnerability, awareness, responses to disasters and planning to adjust the effect of environmental hazards. .
Also, the role of hazards in affecting development process particularly in developing countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

Scopes

This journal welcomes high-quality Original, Research articles, Review articles, short paper, Case study, Methodology, Applied articles on the following themes:

- 1. Geological and Geomorphological Hazards: Earthquakes, soil liquefaction, volcanic eruptions, lahars, tsunamis, land subsidence, landslides, rock slides,solifluction, mud flows, rockfalls, debris flows, avalanches, **coastal** erosion, water erosion, wind erosion, sand dune displacement, salt weathering.
- 2. Hydrological-Geomorphological Hazards: Floods, inundation, sea-level fluctuations, saltwater intrusion, desertification, aridity.
- 3. Climatic and Atmospheric Hazards: Climate change, dust storms, firestorms, blizzards, tornadoes, climatic extremes, droughts, severe frost, heatwaves, fog, lightning, cosmic radiation, ultraviolet radiation.
- 4. Biophysical and Biological Hazards: Natural forest fires, agricultural frosts, allergies, viruses, influenza, food poisoning, epidemics, specific diseases such as cancer, plant diseases and pests, insect infestations.
- 5. Technological Hazards: Air, soil, and water pollution, industrial pollution, chemical pollution, noise pollution, atomic radiation, electronic waste, nuclear waste, dam failures, transportation accidents, fires, chemical spills.
- 6. Social and Cultural Hazards: Mental health issues, anger, stress and depression, ethnic and communal conflicts, theft, drug addiction, ground wars, modern warfare, political conflicts, border disputes, risky behaviors, urban and rural hazards.
- 7. Environmental Hazard Management: Crisis management, active management, passive management, rescue and relief, post-hazard reconstruction, planning for impact reduction.

.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Guide for Authors

The ***Journal of Geography and Environmental Hazards*** accepts articles exclusively on topics related to environmental hazards (both natural and human-induced) due to its specialized nature. Articles must represent the original research of the author(s) and should not have been previously published in any domestic or international journals, conference proceedings, or submitted simultaneously to another journal.

Article Submission Process

Online Submission System:

The *Journal of Geography and Environmental Hazards* processes only articles submitted through its official website:

https://geoeh.um.ac.ir/author

Language and Style:

Articles are accepted in Persian with an extended abstract in English.

Types of Articles

- Original research articles
- Review articles
- Short communications
- Technical notes or methodological articles
- Case studies

Note:

- Articles presented at conferences may be considered if they include significant revisions and additional content.
- Review articles that cover recent advancements in the journal's topics will only be accepted from experienced authors with relevant research publications.

Article Preparation

For detailed information on the structure of each section of the article,.

Conflict of Interest and Commitment Forms:

Authors must upload these forms during article submission.

Conflict of interest Form

Authorship statement Form

Formatting Requirements

The article structure should include:

1. Extended abstract in English (comprising *Introduction* (Purpose, literature review, etc.), *Materials and Methods*, *Results and Discussion*, *Conclusion*),
2. Title, abstract, and keywords,
3. Main sections: *Introduction*, *Study Area*, *Materials and Methods*, *Results and Discussion*, *Conclusion*, and *References*.

Important: For accuracy, both Persian and English versions of the extended abstract must be submitted.

Word Count Limits:

- Main article text: 3,000–7,000 words
- Extended English abstract: 700–1,500 words
- Keywords: 3–6 words
- References: 20–50 for research articles; 50–300 for review articles

Formatting Guidelines

- Articles should be submitted in A4 format, single-column, and without logos.

- All pages must be numbered, and the article length (excluding tables and figures) must not exceed 15 pages.
- Margins: 3.5 cm (top and bottom), 3 cm (left and right).
- Line spacing: 1.5 (5 lines).
- Footnotes must restart numbering on each page.
- Main and subheadings should not be numbered.
- Numerical data in the text must be in Persian numerals, except within tables and figures.
- Figure captions (below) and table titles (above) should be bilingual (Persian and English).
- In-text citations and references must be in English (parentheses in Persian font).
- Use half-spaces throughout the text.
- Numbered or bulleted lists should have a 0.5 cm indent before the text.

Font

- Persian text: B Nazanin
- English text: Times New Roman

- Font sizes:
  - Persian and English titles: 14
  - Main headings: 13 (bold)
  - Body text: 13
  - Latin text: 12
  - Scientific names: Italic
  - Captions for figures and tables: 12 (Persian), 11 (English)
  - Table and figure numbers: Bold

Tables

- Submit tables in editable text format, not as images.
- Place tables near their related text or in a separate section at the end.
- Number tables sequentially based on their appearance in the text.
- Provide bilingual titles (Persian: B Nazanin, 12, Bold; English: Times New Roman, 12, Bold).
- Data in Persian tables must include English equivalents.
- Avoid vertical lines and shading in table cells.

Figures and Images

- Submit figures/images as separate files and reference them in the text.
- Number figures/images sequentially as they appear.
- Titles for figures/images must be bilingual (below the figure: Persian, B Nazanin, 12; English, Times New Roman, 12).

Mathematical Equations

- Present equations in two-column invisible tables.
- Number equations sequentially, enclosed in parentheses.
- Use Times New Roman, font size 11, for equations.

Units of Measurement

- Follow the SI (metric) system.
- Use exponential notation (e.g., m s^{-1} instead of m/s).

References

- Use the 6th edition of the APA citation style. Tools like EndNote or Word are recommended.
- In-text citations and the reference list must be in English.
- For Persian sources, provide English bibliographic details from official pages or sites and indicate [In Persian].
- Ensure all citations include DOI if available.
- Follow alphabetical order for author names in the reference list.

Publication Fees

The ***Journal of Geography and Environmental Hazards*** does not charge for the initial review. However, accepted articles must pay a fee of 4,000,000 IRR for editing and publication costs.

Promoting Published Articles

- Share your article on platforms like ResearchGate, Academia.edu, and Mendeley.
- Create an ORCID ID and link your article to your profile.
- Promote your article on social media using relevant hashtags.
- Cite the article in your presentations and share slides on platforms like SlideShare.
- Share your article's DOI link with colleagues and in your email signature.
- Share your slides related to the article on platforms such as SlideShare. Send your article to colleagues, researchers, and relevant research groups via email, and include the article's DOI link in your email signature.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents
(Abstracts)

VOLUME 13, NO 51, Autumn 2024 Pages

- **Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran** **1**
  Habib Alla Sadeghi, Afshin Danehkar, Mohammad Jalal Abbasi-Shavazi
- **Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the Role of human activities in its occurrence** **35**
  Amirali Abbaszadeh, Amir Safari, Ali Ahmadabadi
- **Investigating the effectiveness of the SWMM model in simulating and evaluating the capacity of Kalat Naderi urban channels for the passage of flood flows** **56**
  Zinat Hesami, Mohammad Taghi Dastorani, Fateme Rezaei
- **Estimation of Dinevar River flood risk using Australian standard method** **75**
  Roya panahi, Mohammad Mahdi Hosseinzadeh
- **Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan)** **101**
  Mousa Abedini, Payam Fateh Elahi, Behrouz NezafatTakle
- **Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan township)** **129**
  Zahra Kharadmehr, Sara Farazmand, Saheb Khordehbin
- **Simulating Changes in Organic Carbon of Forest Soils Due to Climate Change at Different Altitudes Using the Roth C Model** **150**
  Mehran Misaghi, Ahmad Golchin, Mohammad Sadegh Askari
- **Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood watershed)** **184**
  Abdolhafez panahi, Gholamreza Janbaz Ghobadi, Sadraddin Motavalli, Shahryar khaledi
- **Projection changes of extreme precipitation with different return periods in Iran based on the ensemble approach of 10 CMIP6 models in the near future** **214**
  Sakineh Khansalari, Seyede Atefeh Mohammadi, Zahra Ghassabi, Hassan Salehi
- **Assessment of the impact of drought on the vegetation cover in Lorestan Province using advanced infrared images** **247**
  Samad khosravi Yagane, Mostafa Karampour, Behrouz Nasiri
- **Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province** **280**
  Mansoureh Kouhi, Ebrahim Asadi Oskouei
- **Analyzing the change in the concentration of pollutants during the covid-19 epidemic and presenting a model based on machine learning to predict air pollution** **310**
  Abbas Maleki, Sadegh Abedi, Alireza Airajpour
- **Forecasting the Vulnerability of Khash City Due to Storm Hazard by Gamble Method and Partial Series** **339**
  Omid Piryan Kalat, Javad Jamshidzehi, Keramatollah Ziari, Reza Shafie Kenari
- **Analysis of the Relationship between Land Use Changes and Land Cover Metrics: The Case of Barandozchay Watershed** **367**
  Mohammad Koohani, Javad Behmanesh
- **Evaluation of extra-local resilience of rural settlements in Shaho district against drought** **393**
  Sahar Maleki, Mohammad Akbarpour, Omid ali Moradi

JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Research Journal

Volume. 13, No. 51, Autumn 2024

- **Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran**
  Habib Allah Sadeghi, Afshin Danehkar, Mohammad Jalal Abbasi-Shavazi
- **Estimating the subsidence rate of Eyvanakey Plain and analyzing the Role of human activities in its occurrence**
  Amirali Abbaszadeh, Amir Saffari, Ali Ahmadabadi
- **Investigating the effectiveness of the SWMM model in simulating and evaluating the capacity of Kalat Naderi urban channels for the passage of flood flows**
  Zinat Hesami, Mohammad Taghi Dastorani, Fateme Rezaei Garavi
- **Estimation of Dinevar River flood risk using Australian standard method**
  Roya panahi, Mohammad Mahdi Hosseinzadeh
- **Investigating the lateral erosion of Darehroud river and its classification using Rasgen model (Case study: Horand city - East Azerbaijan)**
  Mousa Abedeni, Payam Fateh Elahi, Behrouz Nezafat taklbe
- **Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions**
  Zahra Kharadmehr, Sara Farazmand, Saheb Khordehbin
- **Simulating Changes in Organic Carbon of Forest Soils Due to Climate Change at Different Altitudes Using the Roth C Model**
  Mehran Misaghi, Ahmad Golchin, Mohammadsadegh Askari
- **Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood watershed)**
  Abdolhafez panahi, GholamrezaJanbaz Ghobadi, Sadraddin Motavalli, Shahryar khaledi
- **Projection changes of extreme precipitation with different return periods in Iran based on the ensemble approach of 10 CMIP6 models in the near future**
  Sakineh Khansalari, Seyede Atefeh Mohammadi, Zahra Ghassabi, Hasan Salehi
- **Assessment of the impact of drought on the vegetation cover in Lorestan Province using advanced infrared images**
  Samad khosravi Yeganeh, Mustafa Karampour, Behrouz Nasiri
- **Understanding the spatial patterns of temperature hazards in Qazvin Province**
  Mansoureh Kouhi, Ebrahim Asadi Oskouei
- **Analyzing the change in the concentration of pollutants during the covid-19 epidemic and presenting a model based on machine...**
  Abbas maleki, Sadegh Abedi, Alireza Irajpour
- **Forecasting the Vulnerability of Khash City Due to Storm Hazard by Gamble Method and Partial Series**
  Omid Pirian Kalat, Javad Jamshidzehi, Keramatollah Ziari, Reza Shafie Kenari
- **Analysis of the Relationship between Land Use Changes and Land Cover Metrics: The Case of Barandozchay Watershed**
  Mohammad Koohani, Javad Behmanesh
- **Evaluation of extra-local resilience of rural settlements in Shaho district against drought**
  Sahar Maleki, Mohammad Akbarpour, Omid ali Moradi

ISSN:2322-1682
Published by
Ferdowsi University of Mashhad