مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال سیزدهم، شماره ۵۰، تابستان ۱۴۰۳، شاپا: ۲۳۸۳-۳۰۷۶

- شناسایی کانون شکل‌گیری توده‌های گردوغبار با استفاده از نگرش تنسوری (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)
  مهدی نجاریان، حسین اعتمادفرد، مصطفی گلمحمدی
- ارزیابی نرخ فرسایش ورقه‌ای با استفاده از دندروژئومورفولوژی (مطالعه موردی: دربادام قوچان)
  زهرا یونسیان، عادل سپهر، سید رضا حسین‌زاده
- ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانکرو خمیر- قشم
  پروانه سبحانی، افشین دانه‌کار
- ارزیابی خطر سیلاب در حوضه آبریز اوجان-چای با استفاده از منطق فازی و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS
  مرضیه اسمعیل پور
- بررسی پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه
  مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا
- برآورد سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره لرزه‌ای پیرامون کلان‌شهرهای تهران، مشهد و تبریز
  فاطمه نقدی دودران، مجید تعمتی
- ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی شهرستان خداآفرین (استان آذربایجان شرقی و اردبیل)
  علی خدائی، رحمان زندی
- مدل سازی و پیش بینی سطح تراز آب زیرزمینی دشت ایزدخواست استان فارس
  مریم انصاری، ایرج جباری
- هویت مکانی خطر زمین‌لغزش در الموت شرقی (مطالعه موردی: دریاچه اُوان)
  غلامحسن جعفری، مینا تیماجی
- ارزیابی خطر بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی
  مرتضی اکبری، محبوبه سربازی، علی سیویه، سمیه فدایی
- تبیین تاب آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر بیماری کووید-۱۹ (موردمطالعه: روستاهای شهرستان رشت)
  شیوا گنجیان، نصرالله مولائی هشجین، آتوسا بیگدلی
- الگوی سازگاری معیشت جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی
  علی مختاری گرجگانی، علی خدادادی، مرتضی توکلی
- عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری کشاورزان استان کرمانشاه تحت شرایط کم‌آبی: نقش ادراک خطر و...
  یوسف آزادی، جعفر یعقوبی، حیدر قلیزاده، سعید غلامرضایی، فاطمه رحیمی فیض آباد
- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شیءگرا و زنجیره مارکوف
  طیبه ایرانی، هیراد عبقری، علی‌اکبر رسولی
- مقایسه مدل‌های RUSLE و EPM در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: حوضه...
  صالح آرخی، شهرام بارانی

فصلنامه

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال سیزدهم، شمارهٔ پنجاه، تابستان ۱۴۰۳

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

- **شناسایی کانون شکل‌گیری توده‌های گردوغبار با استفاده از نگرش تنسوری (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)**
  مهدی نجاریان، حسین اعتمادفرد، مصطفی گلمحمدی
- **ارزیابی نرخ فرسایش ورقه‌ای با استفاده از دندروژئومورفولوژی (مطالعه موردی: دربادام قوچان)**
  زهرا یونسیان ، عادل سپهر، سید رضا حسین‌زاده
- **ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانگرو خمیر- قشم**
  پروانه سبحانی، افشین دانه‌کار
- **ارزیابی خطر سیلاب در حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از منطق فازی و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS**
  مرضیه اسمعیل پور
- **بررسی پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه**
  مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا
- **برآورد سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره لرزه‌ای پیرامون کلان‌شهرهای تهران، مشهد و تبریز**
  فاطمه نقدی دودران، مجید نعمتی
- **ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی شهرستان خداآفرین (استان آذربایجان شرقی و اردبیل)**
  علی خدائی، رحمان زندی
- **مدل سازی و پیش بینی سطح تراز آب زیرزمینی دشت ایزدخواست استان فارس**
  مریم انصاری، ایرج جباری
- **هویت مکانی خطر زمین‌لغزش در الموت شرقی (مطالعه موردی: دریاچه اُوان)**
  غلامحسن جعفری، مینا تیماجی
- **ارزیابی خطر بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی**
  مرتضی اکبری، محبوبه سربازی، علی سیبویه، سمیه فدایی
- **تبیین تاب آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر بیماری کووید۱۹- (موردمطالعه: روستاهای شهرستان رشت)**
  شیوا گنجیان، نصرالله مولائی هشجین، آتوسا بیگدلی
- **الگوی سازگاری معیشت جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی**
  علی مختاری کرچگانی، علی خدادادی، مرتضی توکلی
- **عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری کشاورزان استان کرمانشاه تحت شرایط کم‌آبی: نقش ادراک خطر و...**
  یوسف آزادی، جعفر یعقوبی، حیدر قلیزاده، سعید غلامرضایی، فاطمه رحیمی فیض‌آباد
- **پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شیءگرا و زنجیره مارکوف**
  طیبه ایرانی، هیراد عبقری، علی‌اکبر رسولی
- **مقایسه مدل‌های RUSLE و EPM در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS ...**
  صالح آرخی، شهرام بارانی

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 جغرافیاییGIS 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 جغرافیاییGIS، 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: E-mail:geo.eh@um.ac.ir http://geoeh.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، تابستان ۱۴۰۳

شاپاچاپی : 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 به‌صورت توپر (Bold)بوده و کلیه شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند.

عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل‌ها یکسان و اندازه قلم آن‌ها 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 مناسبیlight 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 جدول‌ها نیز بایستی در زیر عنوان فارسی آن‌ها 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 فرمول‌های 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. عبدالمجید احمدی (استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه)
۲. نظام اصغری پور دشت بزرگ، (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات گروه جغرافیای طبیعی، تهران)
۳. صیاد اصغری سراسکانرود، (استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی)
۴. مرتضی اکبری، (دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد)
۵. لیلی ایزدی کیان، (استادیار زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان)
۶. شهرام بهرامی (دانشیار جغرافیای طبیعی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی)
۷. مهرداد چراغی (استاد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان)
۸. حسن حاجی حسینلو (استادیار گروه زمین شناسی (تکتونیک)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوی)
۹. ساره حسینی (استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان)
۱۰. احسان خسروی (استادیار گروه مدیریت و کارآفرینی ، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.)
۱۱. منصور خیری زاده، (دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز)
۱۲. محمدصادق دهقانیان، (دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی بندرعباس)
۱۳. غلامرضا سبزقبایی، (استادیار گروه محیط زیست،دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان)
۱۴. علیرضا سفیانیان، (استاد گروه محیط زیست،دانشکده مهندسی منابع طبیعی،دانشگاه صنعتی اصفهان،)
۱۵. حمید شایان (استاد جغرافیای انسانی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۶. حبیب اله فصیحی، (دانشیار گروه آموزشی جغرافیای انسانی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی ،تهران)
۱۷. فریبا کرمی (استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ،دانشگاه تبریز)
۱۸. فرانک کرمیان (دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه)
۱۹. مجید کریم پور ریحان، (دانشیار مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران،)
۲۰. معماریان، هادی (دانشیار مدیریت منابع زمینی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند)
۲۱. مینائی، مسعود (دانشیار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۲. اسماعیل نجفی (استادیار گروه جغرافیای (ژئومورفولوژی) دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان)
۲۳. خلیل ولیزاده کامران، (استاد گروه سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز)

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
• **شناسایی کانون شکل‌گیری توده‌های گردوغبار با استفاده از نگرش تنسوری (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)** مهدی نجاریان، حسین اعتمادفرد، مصطفی گلمحمدی	۱
• **ارزیابی نرخ فرسایش ورقه‌ای با استفاده از دندروژئومورفولوژی (مطالعه موردی: دربادام قوچان)** زهرا یونسیان ، عادل سپهر، سید رضا حسین‌زاده	۲۲
• **ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانگرو خمیر- قشم** پروانه سبحانی، افشین دانه‌کار	۴۵
• **ارزیابی خطر سیلاب در حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از منطق فازی و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS** مرضیه اسمعیل پور	۶۵
• **بررسی پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه** مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا	۹۲
• **برآورد سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره لرزه‌ای پیرامون کلان‌شهرهای تهران، مشهد و تبریز** فاطمه نقدی دودران، مجید نعمتی	۱۱۵
• **ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی شهرستان خداآفرین (استان آذربایجان شرقی و اردبیل)** علی خدائی، رحمان زندی	۱۴۰
• **مدل سازی و پیش بینی سطح تراز آب زیرزمینی دشت ایزدخواست استان فارس** مریم انصاری، ایرج جباری	۱۶۲
• **هویت مکانی خطر زمین‌لغزش در المُوت شرقی (مطالعه موردی: دریاچه اُوان)** غلامحسن جعفری، مینا تیماجی	۱۸۶
• **ارزیابی خطر بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی** مرتضی اکبری، محبوبه سربازی، علی سیبویه، سمیه فدایی	۲۱۰
• **تبیین تاب آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر بیماری کووید۱۹- (موردمطالعه: روستاهای شهرستان رشت)** شیوا گنجیان، نصرالله مولائی هشجین، آتوسا بیگدلی	۲۴۰
• **الگوی سازگاری معیشت جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی** علی مختاری کرچگانی، علی خدادادی، مرتضی توکلی	۲۶۳
• **عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری کشاورزان استان کرمانشاه تحت شرایط کم‌آبی: نقش ادراک خطر و...** یوسف آزادی، جعفر یعقوبی، حیدر قلیزاده، سعید غلامرضایی، فاطمه رحیمی فیض‌آباد	۲۹۲
• **پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شیءگرا و زنجیره مارکوف** طیبه ایرانی، هیراد عبقری، علی‌اکبر رسولی	۳۱۶
• **مقایسه مدل‌های RUSLE و EPM در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS ...** صالح آرخی، شهرام بارانی	۳۳۹

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

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

دانشگاه فردوسی مشهد
معاونت پژوهش و فناوری

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.1-21 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82992.1384 Open access

Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County)

Mahdi Najjarian[a], Hossein Etemadfard[*b], Mostafa Golmohammadi[a]

[a] *MSc in Geospatial Information System, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[b] *Assistant professor in Geodesy and Geomatics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 17 June 2023 ***Revised: 30 July 2023*** ***Accepted: 9 August 2023***

Abstract

Dust particles are one of the significant and fundamental challenges in dry, semi-arid, and desert regions, constantly causing numerous problems for the people and the environment in those areas. Assessments of the effects of aerosols on the climate and environment still feature large uncertainties, and a better understanding of the spatiotemporal variation in these effects is needed. Dust particles exist in various dimensions and sizes, dispersing in the air and influencing a region's environment. Identifying the sources of dust mass formation is crucial for taking necessary measures to combat it. The present study examines this issue in the Sabzevar City area. Using the satellite-based Aerosol Optical Depth (AOD) index collected from MODIS, the study focuses on mapping dust masses in a three-dimensional tensor approach, with each pixel having a dimension of 2 kilometers. The Google Earth Engine platform was used to extract satellite images for the region's study. The formation sources of dust masses during two different time intervals, June 2008 and March 2018, are studied. According to the obtained results, the sources of dust mass formation in Sabzevar are located in the plains surrounding the city of Davarzan, approximately 70 to 80 kilometers away from the study area, extending towards Sabzevar city. In the same way, the tensor tool can be used to accurately identify the source of pollution in different regions of the country and help to eliminate or reduce the pollution in the region. In addition to dust, this tool can be used to check industrial pollutants.

Keywords: Dust storm, Air quality, Origin of dust, Aerosol Optical Depth (AOD), Tensotr capability, Northeastren of Iran.

[*] .Corresponding author :Hossein Etemadfard Email: etemadfard@um.ac.ir Tell:+989118793285

How to cite this Article: Najjarian, M., Etemadfard, H., & Golmohammadi, M. (2024). Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County). J*ournal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 1-21.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۱-۱

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI:10.22067/geoeh.2023.82992.1384 دسترسی آزاد

شناسایی کانون شکل‌گیری توده‌های گردوغبار با استفاده از نگرش تنسوری (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)

مهدی نجاریان- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

حسین اعتمادفرد[1]- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مصطفی گلمحمدی -دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۳/۲۷ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۵/۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۵/۱۸

چکیده

یکی از این پدیده‌های غالب جوّی در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی جهان، گردوغبار است. یکی از عوامل این پدیده وزش بادهای شدیدی است که به دنبال تغییرات سریع فشار هوا و دما در موقع مشخصی از سال در منطقه رخ می‌دهد. ذرات گردوغبار یکی از چالش‌های مهم و اساسی در این مناطق هستند که ابعاد و اندازه‌های مختلفی دارند و در هوا پراکنده می‌شوند و می‌توانند مشکلات زیادی را برای محیط‌زیست و افراد آن مناطق ایجاد کنند؛ بنابراین بایستی اقدامات لازم جهت مقابله با آن صورت پذیرد که در اولین قدم برای این کار بایستی منشأ و کانون شکل‌گیری این توده‌ها شناسایی شود. این پژوهش به بررسی این موضوع در منطقه مطالعاتی شهر سبزوار پرداخته است. در این مطالعه ابتدا داده‌های سازمان هواشناسی بررسی شده و دو دوره زمانی با گردوغبار بالا در سطح شهر سبزوار انتخاب شده است. دوره‌های زمانی موردمطالعه شامل ماه ژوئن سال‌های ۲۰۰۸ و ماه مارس سال ۲۰۱۸ است. پس از تعیین دوره‌های زمانی، با استفاده از سامانه GEE تصاویر مربوط به شاخص AOD با ابعاد پیکسل ۲ کیلومتر استخراج شده و مورد پردازش قرار گرفته است و سپس هر تصویر به‌صورت لایه‌های مجزا در تنسور ترسیم شده است. طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار در سبزوار، در دشت‌های غربی شهر داورزن، در فاصلهٔ ۷۰ تا ۸۰ کیلومتری از منطقه موردمطالعه قرار گرفته است که این توده‌ها جابجا شده و به سمت شهر سبزوار امتداد می‌یابد و می‌تواند این شهر را تحت تأثیر ذرات گردوغبار قرار دهد.

کلیدواژه‌ها: گرد و غبار، کیفیت هوا، منشا انتشار غبار، قابلیت های تنسور، عمق نوری آئروسل (AOD) ، شمالشرق ایران.

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۸۷۹۳۲۸۵ Email: etemadfard@um.ac.ir

مقدمه

کشور ایران، به دلیل خصوصیات خاص اقلیمی و زمین‌شناسی، تحت تأثیر مسائلی از قبیل طوفان شن و غلظت بالای ریزگردها قرار دارد و درنتیجه خطرات زیادی را برای جامعه ایجاد می‌کند بنابراین بایستی در جهت رفع عوامل ایجاد آلودگی در مناطق مختلف تلاش نمود (Rezazadeh, Irannejad, & Shao, 2013). این ذرات در برخی موارد منجر به خسارات و مشکلات فراوانی می‌شود که ازجمله این مشکلات می‌توان به بیماری‌های تنفسی، عفونی، بینایی، اختلال در سیستم حمل‌ونقل، آلودگی آب‌ها و محیط‌زیست اشاره نمود. از طرفی جابجا شدن این ذرات گردوغبار از نقاط مختلف می‌تواند موجب انتقال بیماری‌های واگیردار تنفسی و شیوع انواع بیماری‌ها شود(Wang, et al., 2023; Liu, Fang, Sun, Liao, 2023). ذرات گردوغبار در ابعاد و اندازه‌های مختلف و با منشأهای متفاوت در هوا پراکنده می‌شوند و می‌توانند محیط‌زیست یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهند؛ بنابراین درک بهتر و پیش‌بینی تأثیر آن‌ها بر آب‌وهوا مستلزم مشاهدات دقیق انتشار و حمل‌ونقل گردوغبار است. یافتن محل و منشأ شکل‌گیری پدیدهٔ گردوغبار می‌تواند تا حد زیادی به مقابله با این پدیده کمک کننده باشد(Abdollahi, Madadi, Ostad-Ali-Askari, 2021).

یکی از راه‌های مطالعه بر روی ذرات گردوغبار مشاهدات از فضا و تصاویر ماهواره‌ای است که فرصت مناسبی را برای مطالعه روزانه یا چند روزه و با وضوح مکانی بالا، در مقیاس جهانی یا محلی و در طول سری‌های زمانی طولانی فراهم می‌نماید. ذرات گردوغبار یا به عبارت کلی‌تر، ذرات معلق (PM)[1]، به دو دستهٔ PM2.5 و PM10 تقسیم می‌شود که ذرات PM2.5، ذراتی با آیرودینامیکی بیشتر از ۲/۵ میکرون و ذرات PM10، ذراتی با آیرودینامیکی بیشتر از ۱۰ میکرون است.(Matandirotya, 2021). همچنین به‌صورت کلی به ذرات PM، آئروسل[2] نیز گویند. ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲.۵ میکرومتر (PM2.5) به اندازه کافی کوچک هستند که قابل استنشاق بوده و غلظت آن در سطح زمین به‌عنوان یک آلاینده کنترل می‌شود (Su, et al., 2022). ۹۲ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کند که PM2.5 موجود در اتمسفر آن‌ها، بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب است که می‌تواند موجب به خطر افتادن سلامت انسان‌ها شود(Jiang, Chen, Yang, & Yang, 2022). لذا منشاءیابی و تلاش در راستای حذف ذرات گردوغبار برای حل مسائل زیست‌محیطی بسیار مهم است. آئروسل‌ها ذرات معلق در هوا هستند که در تغییرات محیطی و آب‌وهوا نقش تأثیرگذاری دارند. علاوه بر این، مقدار نور مرئی تحت تأثیر غلظت بالای آئروسل کاهش می‌یابد که موجب اثرات نامطلوبی بر انسان و محیط می‌گردد (Tie & Cao, 2009) (Eom, et al., 2022).

[1] Particulate matter
[2] Aerosol

یکی از روش‌های ترسیم توزیع مکانی ذرات معلق PM2.5 نزدیک به سطح زمین، استفاده از عمق نوری آئروسل (AOD) ماهواره‌ای است. AOD دارای تنوع جغرافیایی و فصلی زیادی است (یانگ و همکاران[1]، ۲۰۲۲)؛ به‌عبارت‌دیگر AOD دارای تنوع‌های مکانی_زمانی است. بر اساس مطالعه‌ای، ارزیابی شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که میانگین جهانی AOD تغییرات منطقه‌ای را پنهان می‌کند و بنابراین نیاز به ارزیابی آئروسل در مقیاس منطقه‌ای را برجسته می‌کند (Chen, et al., 2013b). AOD بر این اساس است که چگونگی رفتار ذرات، نحوه انعکاس و جذب نور مرئی و مادون‌قرمز جو را تغییر می‌دهد. به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک پارامتر کلیدی برای ارزیابی میزان آلودگی آئروسل استفاده می‌شود. در حقیقت محصول AODنشان‌دهنده مقدار آئروسل و غلظت آن است. در واقع AOD معیاری از ممانعت ذرات معلق و گردوغبار در برابر رسیدن نور خورشید به زمین است. این معیار می‌تواند تا حدی تعیین‌کننده میزان آلودگی هوا نیز باشد (Qi, Ge, Huang, 2013). توزیع فراوانی PM2.5 نشان می‌دهد که AOD می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای تخمین PM2.5 در منطقه موردمطالعه استفاده شود، زیرا میزان تغییرات AOD با PM2.5 ارتباط مستقیم دارد (Raju, Gandhimathi, Mathew, & Ramesh, 2022). امروزه استفاده از مشاهدات سنجش‌ازدور ماهواره‌ای برای مطالعات آلودگی هوا با توجه به شبکه سطحی پراکنده فراگیر شده است و مقادیر آئروسل ماهواره‌ای برای استخراج خصوصیات مکانی-زمانی ذرات معلق در هوا استفاده می‌شود (Shen, et al., 2022). جهت تخمین میزان AOD در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس[2] استفاده شده است. مادیس دارای دو حسگر به نام‌های Terra و Aqua است. وسعت دید آن ۲۳۳۰ کیلومتر است و هریک از آن‌ها تا دو روز یکبار کل سطح زمین را تصویربرداری می‌کنند. آشکارسازهای آن ۳٦ باند طیفی بین ۰/٤۰۵ و ۱٤/۳۸۵ میکرومتر را اندازه‌گیری می‌کنند و داده‌ها را در سه وضوح فضایی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر به دست می‌آورند. در مطالعه‌ای (Karimi, et al., 2012) مقایسه تکنیک‌های شناسایی منابع گردوغبار سطح زمین در خاورمیانه با استفاده از داده‌های مادیس نشان دادند که الگوریتم حرارتی در مقایسه با مدل‌های اپتیکی در شناسایی گردوغبار توانایی بالاتری برای تعیین پیکسل‌های گردوغباری دارد و مدل‌های حرارتی می‌تواند اساس شناخت و مطالعه مناطق صحرایی و بیابانی باشد. آن‌ها داده‌های مادیس را با مقایسه چند الگوریتم بازیابی گردوغبار بکار گرفته و روش جدید برای شناسایی توفان‌های گردوغبار را به‌وسیله مادون‌قرمز حرارتی (TIR) و ترکیب باند مرئی مورد ارزیابی قرار دادند(Karimi, et al., 2012) (امیدوار و نکونام،۱۳۹۰) کاربرد گلباد و گلغبار را برای تحلیل پدیده گردوخاک شهر سبزوار بررسی نمودند. نتایج حاصل از تحلیل آماری و تحلیل فضایی داده‌ها نشان داد که به‌طور متوسط ۲۰ روز در سال هوا همراه با

[1] Yang et all
[2] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

گردوغبار است و فصل بهار شایع‌ترین زمان بروز این پدیده است. همچنین سیستم‌های غربی در انتقال ذرات معلق گردوخاک از سرزمین‌های دورتر مشهود است.

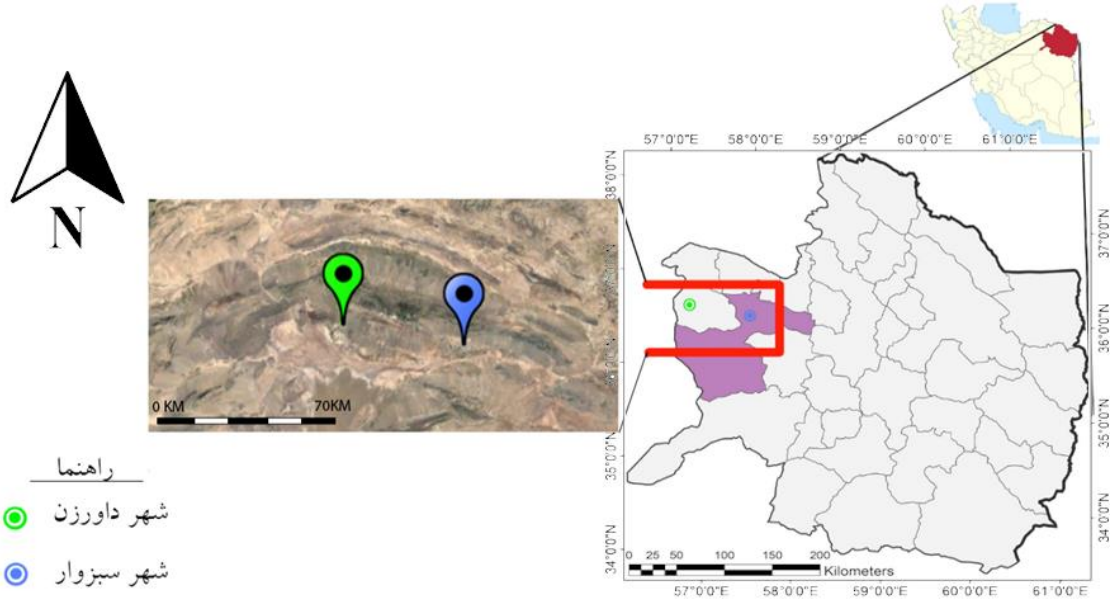
در این پژوهش جهت بررسی و تحلیل مکان و زمان ایجاد گردوغبار در مناطق مختلف، از تنسور مکانی-زمانی استفاده شده است که در مطالعات پیشین از این روش جهت تحلیل روند گردوغبار یک منطقه، استفاده نشده است. در واقع به کمک تنسور، مکان ایجاد توده‌های گردوغبار و همچنین زمان تشکیل آن‌ها به‌صورت هم‌زمان نمایش داده می‌شود و تحلیل دقیق‌تر و ساده‌تری از ایجاد گردوغبارها در هر منطقه به دست می‌آید.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، توده‌های گردوغبار منطقه موردنظر موردمطالعه قرار گرفته است و با ترسیم این توده‌ها در قالب تنسور به یافتن منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار پرداخته شده است.

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، شهر سبزوار واقع در غرب خراسان رضوی به مختصات جغرافیایی ۳۶/۲۱ شمالی و ۵۷/۶۸ شرقی است. در شکل ۱ موقعیت مکانی شهر سبزوار و همین‌طور منطقه موردمطالعه نمایش داده شده است.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی

Fig.1. Study area

شهر سبزوار از شرق به بخش‌های بیابانی داورزن و از شمال به کوه‌های جغتای و از جنوب به ارتفاعات کوه‌میش متصل می‌شود. منطقهٔ شرقی و شمالی این شهر کوهستانی است و تنها دو رشته رودخانهٔ فصلی به نام کال شور در این ناحیه وجود دارد که سیلاب‌های دشت سبزوار را به نمکزارهای کویر هدایت می‌کند. آب‌وهوای غالب منطقه به‌صورت گرم و خشک است و به دلیل مجاورت این شهر با دشت‌های بیابانی و خشک در برخی روزهای سال با پدیدهٔ گردوغبار مواجه است. در این پژوهش، جهت بررسی دقیق‌تر منشأ گردوغبار، منطقه مطالعاتی به سمت غرب امتداد داده شده است.

داده‌ها

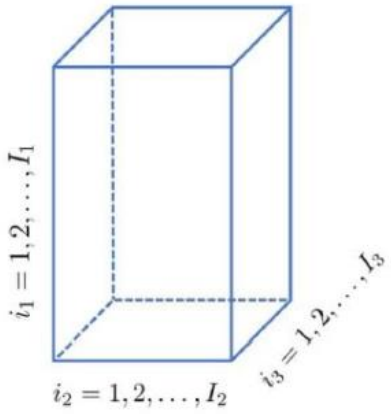
این پژوهش، شامل دو بخش داده است که بخش اول داده‌های شامل تصاویر ماهواره‌ای است که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ است. این تصاویر با استفاده از سنجنده‌های مادیس گردآوری و توسط سامانه[1] GEE استخراج شده است. برای این پژوهش برای هر روز تنها به یک تصویر از میزان AOD نیاز است بنابراین با استفاده از دستورات میانگین‌گیری در سامانه GEE به‌گونه‌ای عمل شد که تصاویر استخراج شده به‌صورتی باشد که برای هر روز یک تصویر میانگین از وضعیت AOD بر روی منطقه بدهد. دسته دوم، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی است که برای ایستگاه شهر سبزوار این داده‌ها دریافت شد. داده‌ها شامل تعداد مشاهدات پدیده گردوخاک در یک روز، میزان دید افقی و مختصات جغرافیایی ایستگاه است.

روش پژوهش

این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به کمک تنسور مکانی-زمانی جهت ترسیم و تحلیل تصاویر در لایه‌های مجزا و ایجاد فضایی سه‌بعدی برای مشاهده روند گردوغبار بر روی منطقه، انجام شده است. در روش‌های پیشین، بررسی گردوغبار تنها در یک حالت مکانی یا زمانی ممکن بوده است و تحلیل گردوغبار در دو بعد زمانی- مکانی به‌صورت هم‌زمان انجام نشده است. تنسور یکی از روش‌های نوین به شمار می‌آید که در پژوهش‌های پیشین جهت بررسی روند گردوغبار از آن استفاده نشده است. با استفاده از تنسورها می‌توان به توصیف و تحلیل پدیده گردوغبار در منطقه پرداخت. تنسورها متشکل از چندین عارضه صفر بعدی در کنار یکدیگر، یا تشکیل شده از چندین عارضه تک بعدی است. همچنین تنسورها را می‌توان صفحات دو بعدی ماتریسی که در لایه‌های مختلف بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند در نظر گرفت و همین‌طور می‌توان ماتریس‌ها را تنسورهایی با مرتبه کمتر از سه دانست. بر این اساس می‌توان تنسورها با ابعاد بالاتر از

[1] Google Earth Engine

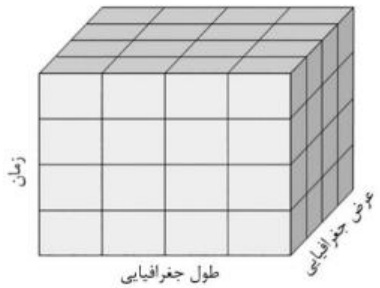
۳ را تشکیل داد به شکلی که درایه‌های تنسور n بعدی تنسورهایی با ابعاد n-1 بُعد باشند. برای نمایش ابعاد تشکیل دهنده تنسور از فرم I_n استفاده می‌گردد. در شکل ۲ یک تنسور سه بعدی نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمایش تنسور ۳ بعدی

Fig.2. 3D tensor display

در شکل ۲ تنسور در سه بعد i_1، i_2، i_3 مشاهده می‌شود. تعداد اندیس i بیانگر تعداد بُعد و مقدار اندیس I بیانگر تعداد مؤلفه‌های قابل‌تعریف در آن بُعد است. اجزاء تشکیل‌دهندهٔ تنسور از ذراتی تشکیل شده است که دارای مقدارهای متفاوت در هر بعد است. در تنسور به این ذرات وکسل گویند که نمونهٔ آن در شکل۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمایش وکسل‌ها در تنسور

Fig.3. Representation of voxels in tensor

ازجمله مهم‌ترین قابلیت‌های تنسور امکان مقایسه چندلایه زمانی مختلف در یک تنسور است، درحالی‌که با استفاده از روش‌های غیرتنسوری باید لایه‌های زمانی دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه شوند. در واقع امکانات و

روش‌های مرسوم GIS نظیر روش‌های زمین‌آماری، امکان مقایسه پدیده‌ها در طول یک بازه زمانی را فراهم نمی‌کند؛ درحالی‌که با استفاده از تنسورها، هر یک از این ابعاد ذکر شده می‌تواند محل تمایز در رفتار یک پدیده باشد (Golmohammadi Etemadfrad, & Kharaghani, 2023). از طرفی هر برش از تنسور توانایی تولید یک مجموعه محتوای اطلاعاتی را دارد. بر این اساس می‌توان تنسورها با ابعاد بالاتر از سه را نیز تشکیل داد. همان‌طور که در شکل ٤ نمایش داده شده است تنسور از زوایای مختلف قابل‌مشاهده است.

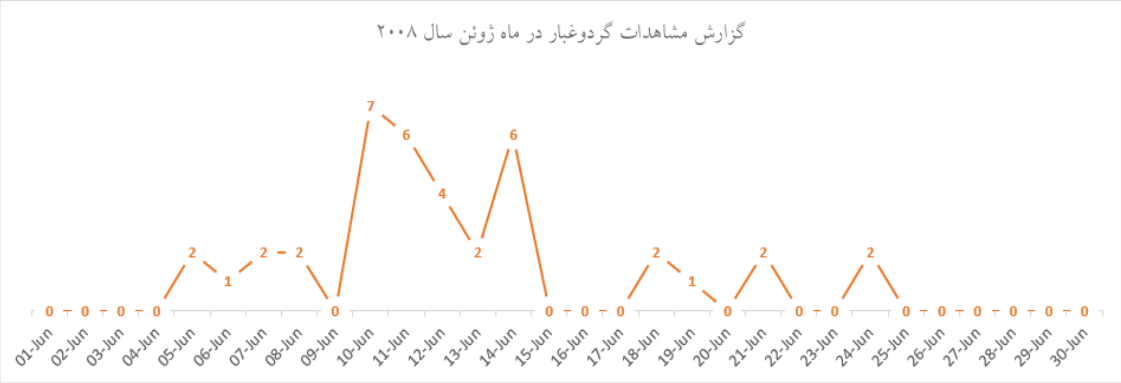
شکل ٤- نمایش تنسور از زوایای مختلف

Fig.4. Tensor display from different angles

طبق این شکل تنسور را می‌توان به سه حالت افقی (شکل الف-٤)، جانبی (شکل ب-٤) و جلویی (شکل ج-٤) نمایش داد. در حالت برشی (الف) این نمایش به‌صورت افقی است و لایه‌های مختلف را می‌توان به‌صورت افقی و در راستای محور i_1 مشاهده نمود. در حالت برشی (ب) این نمایش به‌صورت جانبی است و لایه‌های مختلف را در جهت i_2 نمایش می‌دهد. در حالت برشی (ج) نمایش به‌صورت جلو بوده و لایه‌ها پشت یکدیگر در جهت i_3 قرار می‌گیرند. از این برش‌های مختلف برای نمایش تنسور استفاده شده است.

در این پژوهش با استفاده از روش تنسور یک فضای سه بعدی ایجاد گردیده و بر اساس آن تحلیل‌ها انجام شده است. به‌منظور برداشت میزان AOD در هر نقطه از زمین از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. با استفاده از مادیس، تصاویر ماهواره‌ای در بازهٔ زمانی موردنظر و در منطقهٔ مطالعاتی جمع‌آوری شده است. در این پژوهش فرض بر این است که در مکان‌هایی که غلظت گردوغبار به‌صورت ناگهانی افزایش می‌یابد را می‌توان به‌عنوان کانون اصلی گردوغبار تشخیص داد بنابراین جهت پیدا کردن روزهای با گردوغبار بالا از گزارش‌های سازمان هواشناسی استفاده شده است.

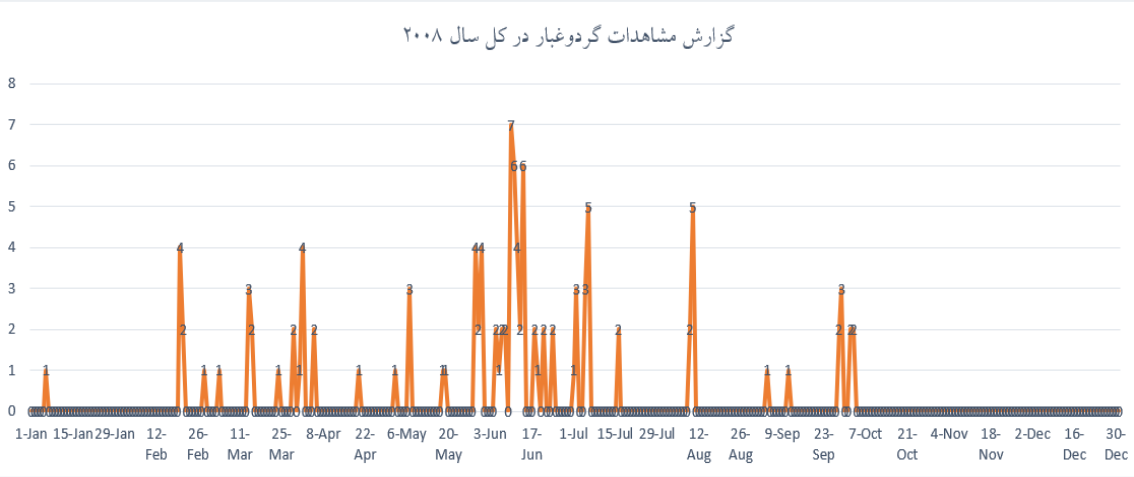
در گزارش‌های هواشناسی پارامترهای مختلفی جهت بررسی وضعیت آب‌وهوا وجود دارد. یکی از آن‌ها، پارامتر تعداد مشاهدات پدیده گردوخاک در روز است. این مشاهدات در طول ٢٤ ساعت هر ۳ ساعت انجام می‌شود و در طول روز حداکثر ۸ بار مشاهده انجام می‌شود. بخشی از این گزارش به‌صورت نمودار در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- **گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز (محور افقی زمان و محور عمودی تعداد گزارش‌ها است)**

Fig.5. Meteorological report of dust observations per day (the horizontal axis is time and the vertical axis is the number of reports)

همان‌طور که در شکل۵ مشاهده می‌شود، در تاریخ ۱۰ ژوئن تعداد ۷ مشاهده گردوغبار بر روی سطح شهر وجود دارد که نشان‌دهنده یک روز با گردوغبار بالا است و این گردوغبار طی چند روز ادامه داشته و به‌مرور کاهش یافته است. همچنین این نمودار را می‌توان برای کل سال ۲۰۰۸، در شکل ٦ مشاهده نمود.



شکل ٦- گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز برای کل سال ۲۰۰۸ (محور افقی زمان و محور عمودی تعداد گزارش‌ها است)

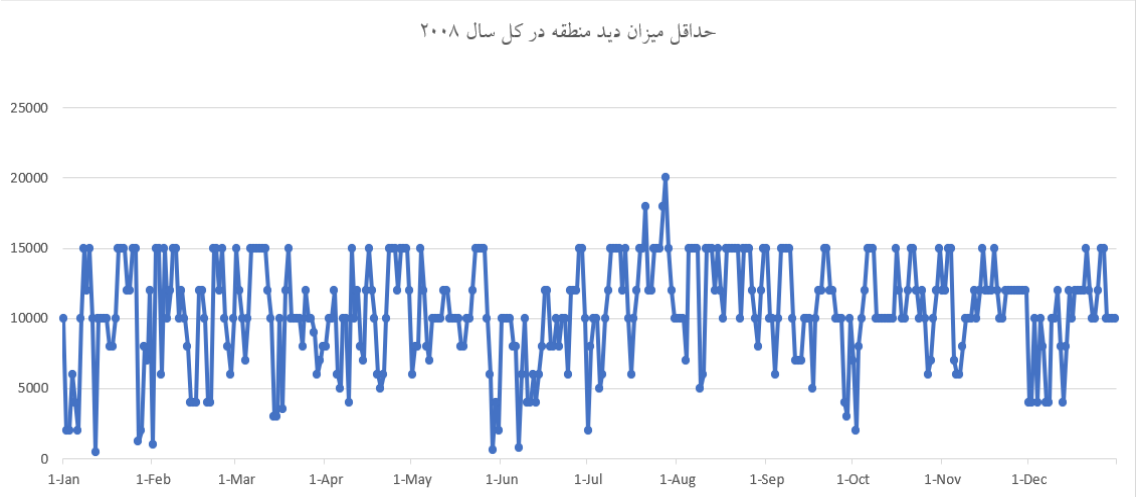
Fig.6. Meteorological report of daily dust observations for the whole year 2008 (the horizontal axis is time and the vertical axis is the number of reports)

در این شکل به‌صورت کلی از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا انتهای آن میزان مشاهدات گردوغبار در هر روز نمایش داده شده است. پارامتر دیگری که کیفیت هوای منطقه را نمایش می‌دهد پارامتر حداقل دید افقی است که در توده‌های مه غلیظ یا گردوغبارها عدد این پارامتر پایین می‌آید. نمونه این گزارش به‌صورت نمودار در شکل ۷ نمایش داده شده است.

شکل ۷- **گزارش هواشناسی از حداقل دید افقی منطقه**

Fig.7. Weather report from the minimum horizontal visibility of the area

طبق شکل ۷ در تاریخ ۱۰ ژوئن که تعداد مشاهدات گردوغبار بالا گزارش شده بود، میزان حداقل دید افقی به ٤ کیلومتر کاهش یافته است که نشان‌دهنده حجم بالای گردوغبار است. همچنین این گزارش برای کل سال ۲۰۰۸ در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸- حداقل میزان دید منطقه در کل سال ۲۰۰۸ (محور افقی زمان و محور عمودی فاصله بر حسب متر است)

Fig.8. The minimum visibility of the area in the whole of 2008 (horizontal axis is time and vertical axis is distance in meters)

در این پژوهش جهت یافتن روزهای با گردوغبار بالا از دو پارامتر میدان دید افقی و مشاهده پدیده گردوغبار، استفاده نموده و روزهایی که تعداد مشاهدات گردوغبار بالا و دید افقی منطقه کاهش یافته باشد موردبررسی قرار داده شده است و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به این روزها استخراج می‌شود تا منشأ این گردوغبارها مشخص شود. همین‌طور برای نتیجه‌گیری بهتر، کل روزهای مربوط به آن ماه که گردوغبار در آن مشاهده شده، موردبررسی قرار گرفته است.

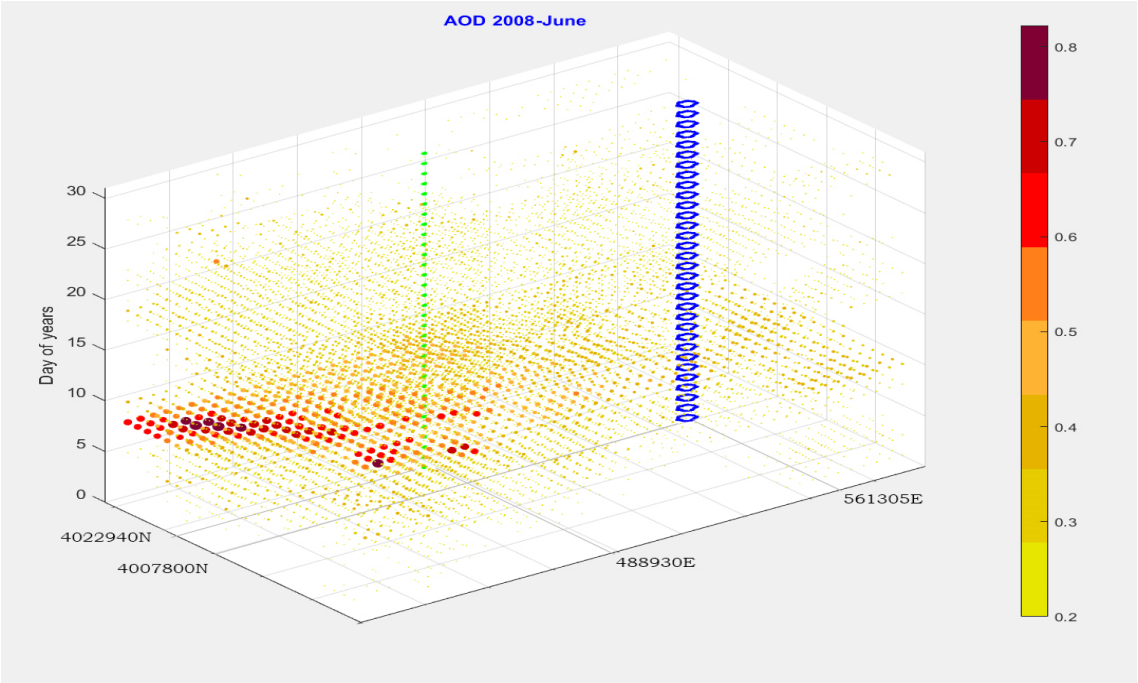
جهت استخراج تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه بر روی منطقه، از سامانه GEE استفاده شد. در این سامانه با استفاده از کدنویسی به زبان جاوا اسکریپت، می‌توان تصاویر ماهواره‌ای را استخراج نمود. پس از استخراج کامل تصاویر برای بازهٔ زمانی موردنظر، با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۲۱، به ایجاد تنسور و تحلیل و بررسی آن‌ها پرداخته شد به‌گونه‌ای که به ازای هر بازه زمانی یک تنسور از لایه‌های مربوطه به آن خروجی بدهد. لازم به ذکر است به جهت تحلیل بهتر بر روی داده‌ها، استخراج داده‌ها به‌صورتی انجام شد که اولین روز آن، از تاریخ ۲۰ می آغاز شده باشد که مصادف با اول فروردین است و لذا به این صورت مجموعه تصاویر استخراج شده بر حسب سال شمسی محاسبه شده است و نمایش تنسور نیز بر اساس سال شمسی است که

به این صورت درک بهتری از تنسور ایجاد می‌شود. همچنین آلودگی‌های کمتر از ۰/۱ به‌طورکلی حذف شده و آلودگی‌های بین ۰/۱ تا ۰/۵ به‌صورت کم تاثیرتر نمایش داده می‌شود. در این پژوهش محور i_2 که نشان‌دهندهٔ مسافت طولی بر روی زمین، محور i_3 نشان‌دهنده مسافت عرضی بر روی زمین و محور i_1 که نشان‌دهنده روز از سال، برای هرسال شمسی است.

ابعاد هر وکسل نمایش داده شده در تنسور، در جهت محورهای i_2 و i_3 نشان‌دهنده ۲ کیلومتر زمینی است و در راستای i_1 نشان‌دهنده یک روز است. ازآنجایی‌که پدیده گردوغبار یک پدیده وابسته به مکان و زمان می‌باشد، بنابراین ممکن است در هر منطقه نوع این گردوغبار متفاوت باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی، نوع رفتار توده‌های گردوغبار در این منطقه طی سال‌های مختلف، موردبررسی قرار گرفته و سپس با بررسی گزینه‌های ممکن، پیکسل سایز بهینه برای تحلیل و نمایش این پدیده انتخاب شده است.

نتایج و بحث

با ترسیم شدن تنسور برای بازه‌های زمانی موردنظر، برای منطقه شهر سبزوار و دشت‌های غربی آن و تحلیل و بررسی تصاویر در یک فضای سه بعدی، می‌توان ایجاد یک توده از گردوغبار در مرکز فضای تنسور در سال‌های مختلف را مشاهده نمود و منشأ شکل‌گیری این توده‌ها را مشخص نمود. در این پژوهش ابتدا گزارش‌های هواشناسی موردبررسی قرار گرفت و ماه‌هایی با تعداد گزارش‌های بالا در پدیدهٔ گردوغبار، انتخاب و موردبررسی جهت یافتن منشأ قرار گرفت. از طرفی جهت اطمینان از صحیح بودن تنسور، از گزارش‌های دریافتی از مرکز هواشناسی استفاده شده است و روزهای همراه با گردوغبار بر روی سطح شهر سبزوار با تصاویر ایجاد شده در تنسور مقایسه گردیده است که در تاریخ‌های اعلام شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی، بر روی شهر سبزوار توده‌های گردوغبار دیده شده و میزان AOD در این تاریخ‌ها بالا رفته باشد. به این روش می‌توان از درستی تنسور ترسیم شده اطمینان حاصل نمود. بررسی‌ها در این مطالعه، برای ماه ژوئن سال ۲۰۰۸ و ماه مارس سال ۲۰۱۸ صورت گرفته است. همچنین نمایش موقعیت سبزوار بر روی تنسور و مشخص کردن موقعیت دقیق شهر داورزن در این فضا، موجب درک بهتری از مکان منشأ گردوغبار و روند حرکتی آن می‌شود. در شکل ۹ تنسور مربوط به ماه ژوئن سال ۲۰۰۸ نمایش داده شده است.



شکل ۹-تنسور گردوغبار در ماه ژوئن سال ۲۰۰۸

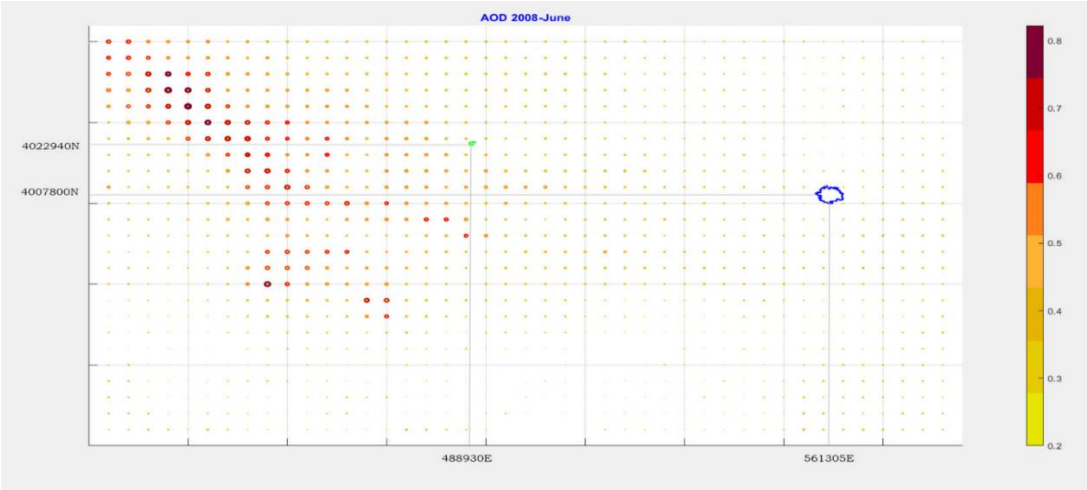
Fig.9. Dust tensor in June 2008

در این شکل لایه‌های مربوط به زمان در جهت i_1 می‌باشد که نمایش آن به‌صورت افقی در تنسور (Horizontal) است. در این شکل موقعیت شهرهای سبزوار و داورزن، برای هر لایهٔ زمانی ترسیم شده است تا بهتر بتوان رفتار گردوغبار در زمان‌های مختلف بر روی شهر را موردبررسی قرار داد و ازآنجایی‌که اندازه و مختصات تصویر در تمام لایه‌های زمانی یکسان است موقعیت شهرها نیز به این صورت یکسان نمایش داده شده است. نقاط آبی‌رنگ در هر لایه مکان شهر سبزوار را مشخص کرده است و نقاط سبزرنگ مکان شهر داورزن را نمایش می‌دهد. لایه‌های مربوط به عرض جغرافیایی (φ) در جهت i_2 می‌باشد که نمایش آن به‌صورت نمایش جانبی در تنسور (Lateral) است. لایه‌های مربوط به طول جغرافیایی (λ) نیز در جهت i_3 می‌باشد که به‌صورت نمایش جلو در تنسور (Frontal) است.

شکل ۱۰- تنسور گردوغبار، ماه ژوئن سال ۲۰۰۸- نمایش افقی

Fig.10. Dust tensor, June 2008 - horizontal view

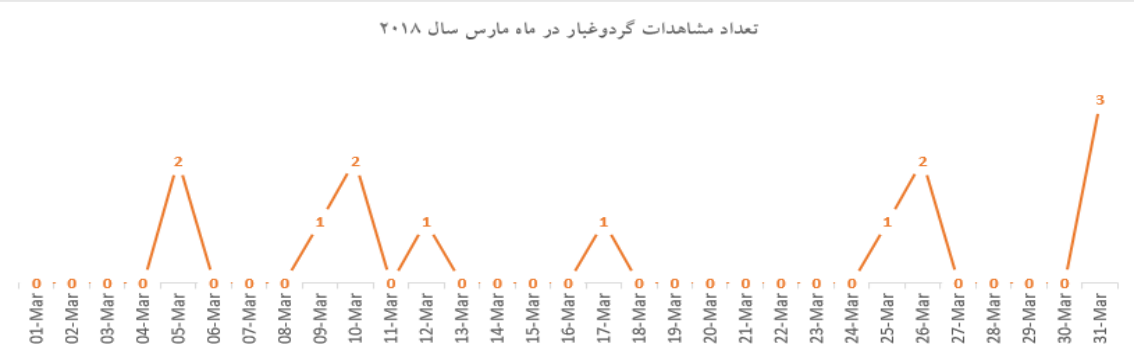
طبق گزارش‌هایی که در شکل ۵ و شکل ۷ مشاهده می‌شود، در روزهای ۱۰ تا ۱٤ ماه ژوئن، آلودگی‌های زیادی به تعداد دفعات بالا در سطح شهر سبزوار رؤیت شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، می‌توان توده آلودگی را در روزهای ۹ تا ۱۳ مشاهده نمود که این آلودگی‌ها از اطراف نقطه سبزرنگ که نشان‌دهنده منطقه داورزن است، وجود دارد و تا حوالی نقطه آبی‌رنگ که نشان‌دهنده منطقهٔ سبزوار می‌باشد، امتداد یافته است. در شکل ۱۲ نیز می‌توان تنسور را به‌صورت برش‌های جلویی مشاهده نمود که گردوغبار با حجم بالایی در مناطق داورزن مشاهده می‌شود و به سمت شهر سبزوار امتداد یافته است.



شکل ۱۱-تنسور گردوغبار، ماه ژوئن سال ۲۰۰۸- نمایش جلویی

Fig.11. Dust tensor, June 2008 - front view

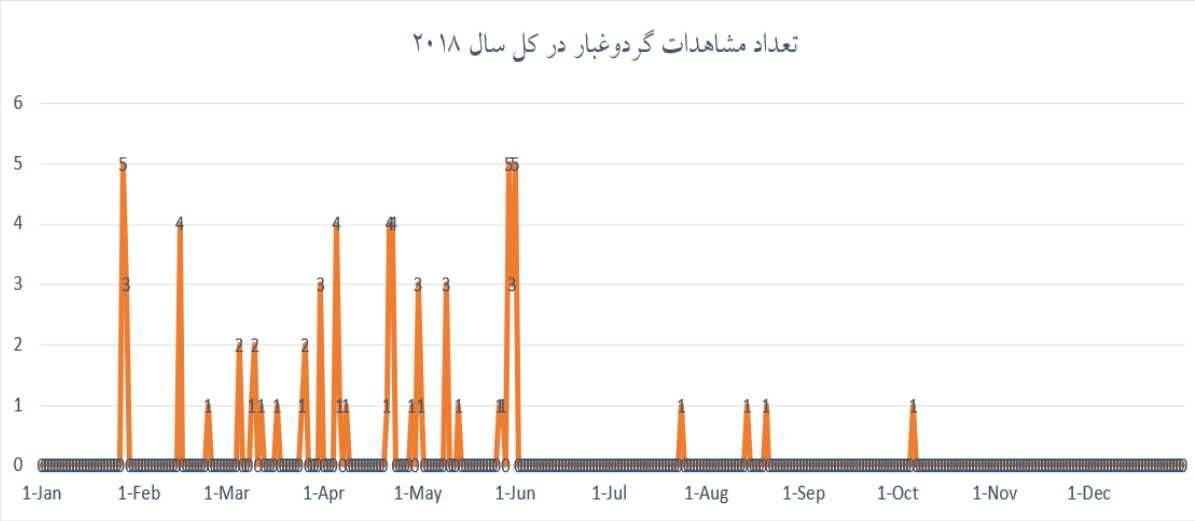
به‌صورت مشابه به بررسی روند گردوغبار در ماه مارس سال ۲۰۱۸ پرداخته شده است. برای این کار گزارش‌های هواشناسی موردبررسی قرار گرفت.



شکل ۱۲- گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز

Fig.12. Meteorological report of dust observations during the day

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، در تاریخ ۲۵ و ۲۶ و ۳۱ ماه مارس سال ۲۰۱۸ پدیده گردوخاک بر روی شهر سبزوار گزارش شده است. لذا به بررسی گردوغبار در این تاریخ‌ها به‌وسیله تنسور پرداخته شده است. در شکل ۱۳ میزان مشاهدات گردوغبار برای کل سال نیز نمایش داده شده است.



شکل ۱۳ **- تعداد مشاهدات گردوغبار در کل سال ۲۰۱۸**

Fig.13. The number of dust observations in the whole year 2018

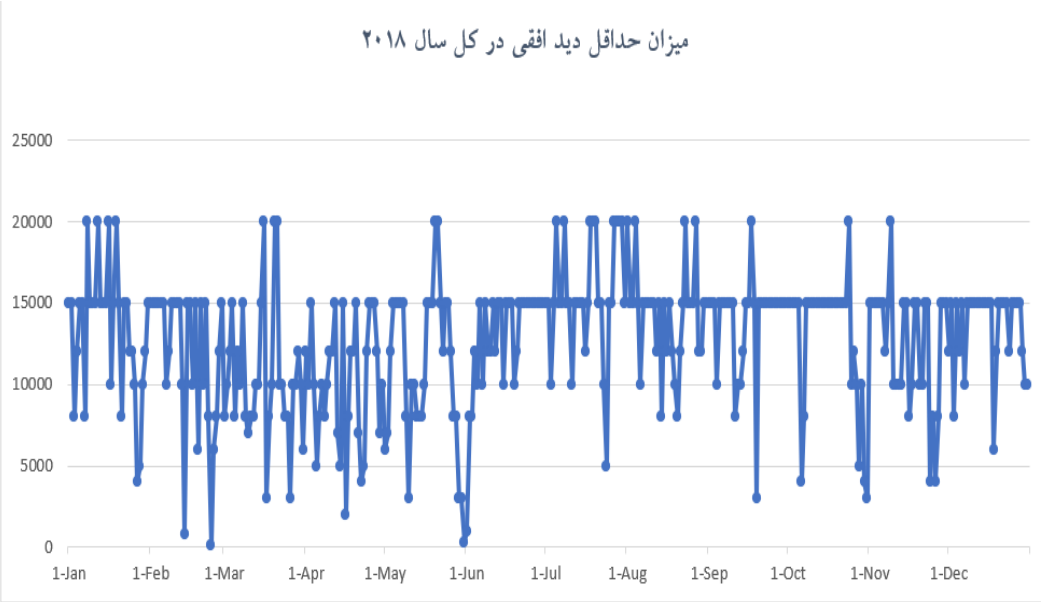
همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان مشاهدات گردوغبار در طول روز، در اوایل سال ۲۰۱۸ بیشتر بوده است.

در شکل ١٤ نیز مشاهده می‌شود که در روزهای با گزارش گردوغبار، میزان دید افقی به‌شدت کاهش یافته است.

شکل ١٤- گزارش هواشناسی از حداقل دید افقی منطقه

Fig.14. Weather report from the minimum horizontal visibility of the area

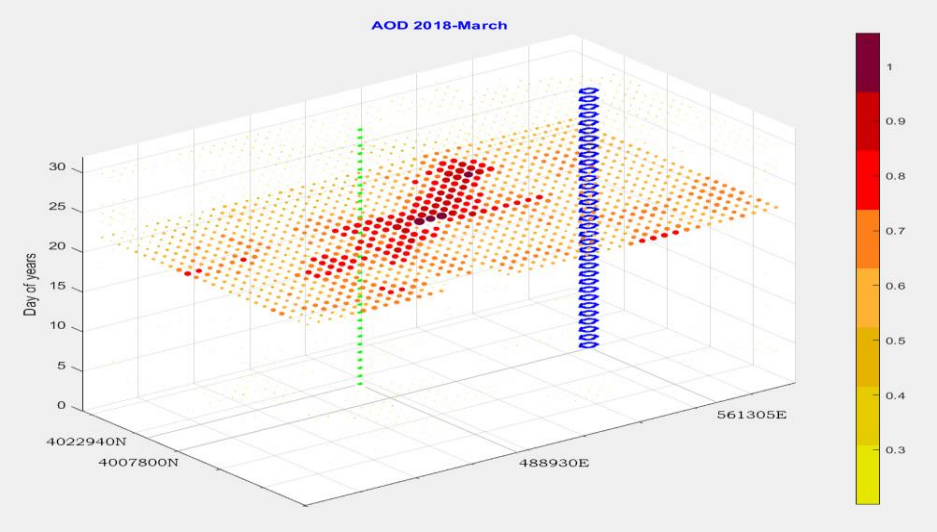
همچنین طبق شکل ١٤ در تاریخ ۱۷ مارس میزان دید افقی کاهش زیادی داشته است که در این تاریخ نیز یک مورد پدیده گردوغبار در سطح شهر گزارش شده است. بیشترین میدان دید نیز در تاریخ‌ها ۲۰ و ۲۱ مارس بوده است. در شکل ۱۵ نیز میزان حداقل دید افقی برای کل سال نمایش داده شده است.



شکل ۱۵- میزان حداقل دید افقی در کل سال ۲۰۱۸

Fig.15. The amount of minimum horizontal visibility throughout the year 2018

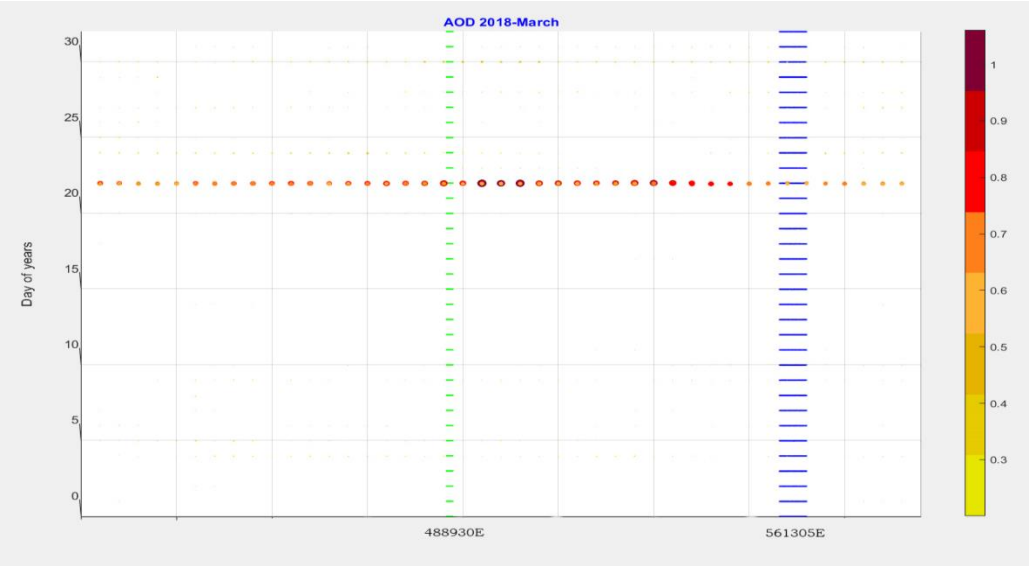
در شکل ۱٦ تصویر استخراج شده از سامانه GEE مربوط به تاریخ ۲۲ مارس سال ۲۰۱۸ نمایش داده شده است. در این شکل نیز میزان و حجم گردوغبار قابل‌تشخیص نیست و بایستی جهت نمایش بهتر آن مورد پردازش قرار گیرد. در شکل ۱٦ می‌توان تنسور توده‌ای گردوغبار مربوط به ماه مارس سال ۲۰۱۸ را مشاهده نمود.



شکل ۱٦- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸

Fig.16. Dust tensor for March 2018

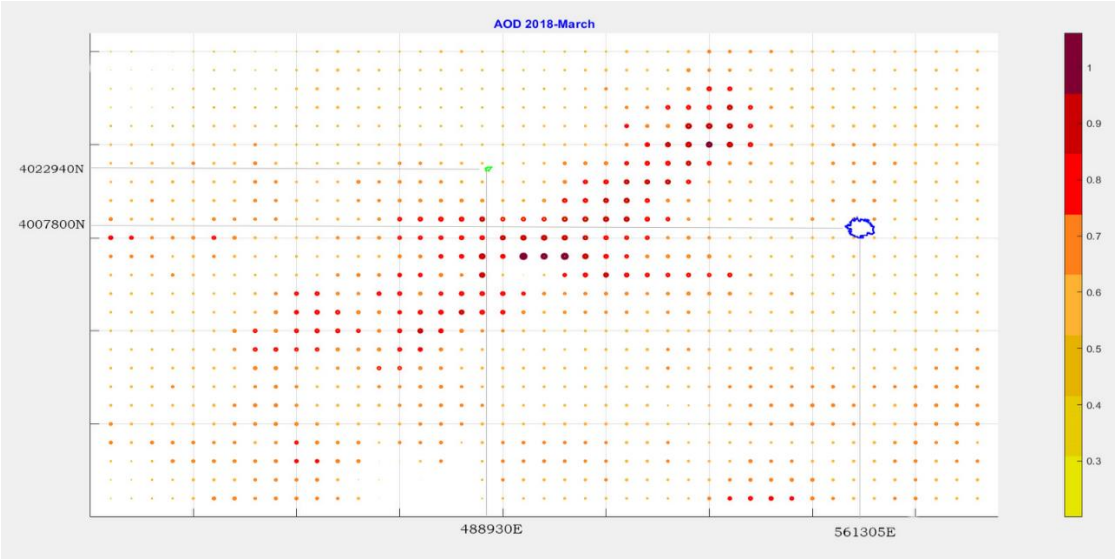
در این شکل، به دلیل پایین بودن سطح گردوغبار در روزهای دیگر از ماه مارس، فضای تنسور تقریباً خالی بوده و یا آلودگی‌ها با نقاط کم‌رنگ نمایش داده شده است. در شکل ۱۷ می‌توان مشاهده نمود که توده‌های گردوغبار در روز ۲۲ از ماه مارس تشکیل شده است و به سمت سبزوار امتداد یافته است.



شکل ۱۷- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸ – نمایش افقی

Fig.17. Dust tensor for March 2018 – horizontal view

همین‌طور با توجه به شکل ۱۸ می‌توان مشاهده نمود که توده گردوغبار در منطقه داورزن قرار دارد و به سمت شهر سبزوار امتداد داشته است. این توده گردوغبار به‌صورت واضح‌تر در شکل ۱۸ قابل‌مشاهده است. در این شکل نیز می‌توان موقعیت دقیق شکل‌گیری توده‌های گردوغبار، در منطقه داورزن را مشاهده نمود.



شکل ۱۸- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸ – نمایش جلویی (Frontal)

Fig.18. Dust Tensor for March 2018 – Frontal View

در واقع با بررسی تنسورها در زمان‌های مختلف می‌توان مشاهده نمود که در روزهایی که گردوغبار گزارش شده است، توده‌های گردوغبار دقیقاً در چه زمانی و در چه نقطه‌ای از منطقه رؤیت شده‌اند و الگوی رفتاری این توده‌ها در حرکت به سمت مناطق مختلف و زمان از بین رفتن آن‌ها را موردبررسی قرار داد. همچنین می‌توان مشاهده نمود که با بررسی روزهای قبل از وقوع گردوغبار و روزهایی که تعداد گزارش گردوغبار کمتر بوده است، حجم آلودگی بسیار پایین‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از نگرش تنسور، داده‌های مربوط به AOD یک فضای سه بعدی ترسیم شد و سپس از نظر ابعاد زمانی و مکانی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. طبق یافته‌های این پژوهش، پس از پیاده‌سازی و بررسی تنسورها در بازه‌های زمانی موردنظر، حجم بالای آلودگی در مناطق داورزن مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد اغلب توده‌های گردوغبار در بخش‌های شمالی یا جنوبی داورزن شکل می‌گیرد و سپس به سمت سبزوار امتداد می‌یابد. میزان فاصله منشأ گردوغبار تا شهر سبزوار را حدود ۷۰ تا ۸۰ کیلومتر است که با توجه به میزان سرعت حرکت گردوغبار به سمت شهر سبزوار بازهٔ رسیدن تودهٔ گردوغبار به سطح شهر متفاوت می‌باشد. همچنین با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از نگرش تنسور می‌توان منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار را شناسایی نمود و به کمک این نگرش روند این توده‌ها را در مکان و زمان مختلف مشاهده نمود. به همین صورت می‌توان از ابزار تنسور به جهت شناسایی

دقیق منشأ آلودگی، در مناطق مختلف از کشور استفاده شود و به رفع یا کاهش آلودگی منطقه کمک نمود. از این ابزار علاوه بر بررسی گردوغبار می‌توان در بررسی آلاینده‌های صنعتی بهره برد.

قدردانی و تشکر

با تشکر از سازمان هواشناسی کشور بابت در اختیار گذاشتن داده‌های باد و گردوغبار.

References

Abdollahi, S., Madadi, M., Ostad-Ali-Askari, K. (2021). Monitoring and Investigating Dust Phenomenon on Using Remote Sensing Science, Geographical Information System and Statistical Methods. *Applied Water Science*, 11. http://dx.doi.org/10.1007/s13201-021-01419-z

Chen, B.B., Sverdlik, L.G, Imashev, S.A., Solomon, P.A., Lantz, J., Schauer, J.J., Shafer, M.M., Artamonova, M.S., & Carmichael, G.R. (2013a). Lidar Measurements of the Vertical Distribution of Aerosol Optical and Physical Properties Over Central Asia. *International journal of atmospheric sciences,* 2013(1). http://dx.doi.org/ 10.1155/2013/261546

Chen, B.B., Sverdlik L.G., Imashev, S.A., Solomon, P.A., Lantz, J., Schauer, J.J., Shafer, M.M., Artamonova, M.S., & Carmichael, G. (2013b). Empirical Relationship Between Particulate Matter and Aerosol Optical Depth Over Northern Tien-Shan, Central Asia. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 6, 385-96. http://dx.doi.org/ 10.1007/s11869-012-0192-5

Chin, M., Ginoux, P., Kinne, S., Torres, O., Holben, B.N., Duncan, B.N., Martin, R.V., Logan, J.A., Higurashi, A., Nakajima, T. (2002). Tropospheric Aerosol Optical Thickness from the GOCART Model and Comparisons with Satellite and Sun Photometer Measurements. *Journal of the atmospheric sciences*, 59(3), 461-83. https://doi.org/10.1175/1520-0469(2002)059<0461:TAOTFT>2.0.CO;2

Darmany, M., Ara, H., Rashki, A., & Mafi, A. (2020). Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *9*(3), 21-37. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v9i3.87970

Eom, S., Kim, J., Lee, S., Holben, B.N., Eck, T.F., Park, S.B., & Park, S.S. (2022). Long-Term Variation of Aerosol Optical Properties Associated with Aerosol Types Over East Asia Using AERONET and Satellite (VIIRS, OMI) Data (2012–2019). *Atmospheric Research*, 280,106457. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106457

Golmohammadi M., Etemadfrad, H., & Kharaghani, H. (2023). Spatio-Temporal Analysis of the Covid-19 Impacts on the Using Chicago Urban Shared Bicycles by Tensor-Based Approach. *Journal of Geospatial Information Technology*, 10 (3), 95-119. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.52547/jgit.10.3.95

Karimi, N., Moridnejad, A., Golian, S., Vali Samani, J.M., Karimi, D., & Javadi, S. (2012). Comparison of Dust Source Identification Techniques Over Land in the Middle East Region Using MODIS Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(5), 586-599. http://dx.doi.org/ 10.5589/m12-048

Liu, Z., Fang, C., Sun, B., Liao, X. (2023). Governance Matters: Urban Expansion, Environmental Regulation, and PM2. 5 Pollution. *Science of The Total Environment*.876, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162788

Matandirotya, N.R. (2021). Research Trends in the Field of Ambient Air Quality Monitoring and Management in South Africa: A Bibliometric Review. *Environmental Challenges*, 5, 100263. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100263

Omidvar K., and Nekoonam Z. 2011 An application of wind rose and dust rose in the analysis of dust phenomenon and determining the seasonal regime of dust winds (case study: Sabzevar city). Physical Geography Research Quarterly 43(76): 85-104.

Qi, Y., Ge, J., Huang, J. (2013). Spatial and Temporal Distribution of MODIS and MISR Aerosol Optical Depth over Northern China and Comparison with AERONET. Chinese Science Bulletin. 58, 2497-506. http://dx.doi.org/ 10.1007/s11434-013-5678-5

Raju, L., Gandhimathi, R., Mathew, A. & Ramesh, S.T. (2022). Spatio-Temporal Modelling of Particulate Matter Concentrations Using Satellite Derived Aerosol Optical Depth Over Coastal Region of Chennai in India. *Ecological Informatics*, 69, 101681. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101681

Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East Dust Events. Aeolian Research. 10, 103-109. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.001

Shen, L., Wang, H., Zhao, T., Liu, J., Bai, Y., Kong, S., & Shu, Z. (2020). Characterizing Regional Aerosol Pollution in Central China Based on 19 Years of MODIS Data: Spatiotemporal Variation and Aerosol Type Discrimination. Environmental Pollution. 263:114556. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114556

Su, X., Wang, L., Gui, X., Yang, L., Li, L., Zhang, M., Qin, W., Tao, M., Wang, S., & Wang L. (2022). Retrieval of Total and Fine Mode Aerosol Optical Depth by an Improved MODIS Dark Target Algorithm. *Environment International*, 166, 107343. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107343

Tie, X., Cao, J. (2009). Aerosol Pollution in China: Present and Future Impact on Environment. *Particuology*, 7(6), 426-31. https://doi.org/10.1016/j.partic.2009.09.003

Wang, J., Yan, Y., Si, H., Li, J., Zhao, Y., Gao, T., Pi, J, Zhang, R., Chen, R., Chen, W., Zheng, Y. (2023). The Effect of Real-Ambient PM2. 5 Exposure on the Lung and Gut Microbiomes and the Regulation of Nrf2. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 254, 114702. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114702

Xiang, Y., Ye, Y., Peng, C., Teng, M., Zhou, Z. (2022). Seasonal Variations for Combined Effects of Landscape Metrics on Land Surface Temperature (LST) and Aerosol Optical Depth (AOD). *Ecological Indicators*, 138:108810. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108810

Xuan, J, Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., Yang, G. (2004). Identification and Characterization of Sources of Atmospheric Mineral Dust in East Asia. *Atmospheric Environmen,* 38(36), 6239-6252. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.042

Yang, Y., Jiang, M., Chen, Z., Ni, C., & Yang, Q. (2022). Establishment of Aerosol Optical Depth Dataset in the Sichuan Basin by the Random Forest Approach. *Atmospheri Pollution Research*,13(5),101394. https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101394

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.22-44 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82213.1360 Open access

Estimation of Sheet Erosion by Dendrogeomorphology Method

Zahra Younesian[a], Adel Sepehr[*b], Seyed Reza Hosseinzadeh[c]

[a] *Phd student of Geomorphology, Faculty of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[c] *Professor of Geomorphology, Department of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 4 May 2023 ***Revised: 27 June 2023*** ***Accepted: 3 July 2023***

Abstract

Erosion is the main factor in the process of land degradation, which has left significant effects in many ecosystems of the world during different eras. 75% of Iran's lands are subject to erosion, and the Darbadam catchment in northeast of Iran is no exception.

In this research, dendrogeomorphology technique has been used on the exposed roots of juniper trees with the aim of estimating sheet erosion rate. Using selective sampling method, 28disc samples were done from the roots of juniper trees. Then, by macroscopic and microscopic analysis of the roots in the laboratory, the exact year of root exposed from the soil due to sheet erosion was determined. In the macroscopic analysis, the index of sudden changes in the width of the growth ring, and in the microscopic analysis, the indicators of the changes in the size, number and orientation of the vessels, the size of the lumen of the cells and the size of the fibers were measured indicating the exposed of the roots from the soil.

The results showed that the annual erosion rate is less than 1 mm per year. The average annual erosion rate in trees less than 50 years old is 0.52 mm and for trees between 50 and 100 years old it is 0.33 mm which shows the positive effect of tree roots in soil protection. The highest annual erosion rate was recorded in pastures with poor coverage and the lowest rate in forests with low canopy cover. These results showed that there is a positive relationship between the degree of slope and the amount of sheet erosion. Finally, it was found that the technique of dendrogeomorphology is a suitable, low-cost and easy method for estimating the erosion rate in areas with juniper tree species.

Keywords: Sheet Erosion, Dendrogeomorphology, Dendrocornology, Darongar basin, Tree root dating, Northeastren of Iran.

[*]. Corresponding author: Adel Sepehr Email: adelsepehr@um.ac.ir Tel:+989155085732

How to cite this Article: Younesian, Z., Sepehr, A., & Hosseinzadeh, R.(2024). Estimation of sheet Erosion by dendrogeomorphology Method .*Journal of Geography and Environmental Hazards, 13*(2),22-44

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ٤٤-۲۲

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

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82213.1360 دسترسی آزاد

ارزیابی نرخ فرسایش ورقه‌ای با استفاده از دندروژئومورفولوژی (مطالعه موردی: دربادام قوچان)

زهرا یونسیان – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

عادل سپهر[1] – دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

سید رضا حسین‌زاده– استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت:۱٤۰۲/۲/۱٤ تاریخ بازنگری:۱٤۰۲/٤/٦ تاریخ پذیرش:۱٤۰۲/٤/۱۲

چکیده

فرسایش خاک، عامل اصلی روند تخریب زمین است که طی دوران‌های مختلف، در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان اثرات قابل‌توجهی را بر جای گذاشته است. ۷۵ درصد اراضی ایران در معرض فرسایش قرار دارد که حوضه آبریز دربادام در شمال‌شرق ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست. در این پژوهش با هدف برآورد نرخ فرسایش ورقه‌ای از تکنیک دندروژئومورفولوژی بر روی ریشه‌های بیرون زده درختان ارس استفاده شده است. با استفاده از روش نمونه‌برداری انتخابی تعداد ۲۸ نمونه دیسکی از ریشه درختان ارس برداشته شد. سپس با آنالیز ماکروسکوپی و میکروسکوپی ریشه‌ها در آزمایشگاه به‌طور دقیق سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک بر اثر فرسایش ورقه‌ای مشخص شد. در آنالیز ماکروسکوپی شاخص تغییرات ناگهانی در عرض حلقه رشد و در آنالیز میکروسکوپی شاخص‌های تغییرات اندازه، تعداد و جهت‌گیری آوندها، اندازه لومن سلول‌ها و اندازه فیبرها اندازه‌گیری نشان از بیرون‌زدگی ریشه از خاک داشتند. نتایج نشان داد میزان فرسایش سالیانه کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در سال بوده و میانگین فرسایش سالیانه در نمونه‌های تهیه شده از درختان با سن کم‌تر از ۵۰ سال ۰/۵۲ میلی‌متر و برای درختان با عمر بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال ۰/۳۳ میلی‌متر است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت ریشه‌های درختان در نگهداشت خاک دارد. بیش‌ترین نرخ فرسایش سالانه در مراتع با پوشش فقیر و کم‌ترین میزان در جنگل با تاج پوشش کم ثبت شد. هم‌چنین نتایج نشان داد میان درجه شیب و

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۰۸۵۷۳۲ Email: adelsepehr@um.ac.ir

میزان فرسایش ورقه‌ای رابطه مثبت وجود دارد. درنهایت مشخص شد تکنیک دندروژئومورفولوژی روشی مناسب، کم‌هزینه و آسان برای برآورد نرخ فرسایش در مناطق دارای گونه درختی ارس است.

کلیدواژه‌ها: فرسایش ورقه‌ای خاک، دندروژئومورفولوژی، گاه‌شناسی درختی، سن سنجی، ریشه های درخت، شمالشرق ایران، حوضه آبریز رودخانه درونگر

۱- مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان محسوب می‌شود و به‌طور گسترده‌ای برای تأمین نیازهای بشر مورداستفاده قرار می‌گیرد. به دلیل فرآیند طولانی شکل‌گیری، خاک به‌عنوان یک منبع تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه باید برای جلوگیری از تخریب و هدر رفت آن به‌درستی مدیریت شود (Lal,2009). فرسایش خاک عامل اصلی روند تخریب زمین است که طی دوران‌های مختلف، در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان اثرات قابل‌توجهی را بر جای گذاشته است(Lal,2001; Poesen,2018). اگرچه فرایندهای فرسایشی در طول تاریخ وجود داشته است، اما این روند در طول قرن بیست و یکم با افزایش جمعیت و نیازهای روزافزون بشری شدت یافته است(Pimentel et al, 1995). این تخریب‌ها منجر به ایجاد تغییرات آب و هوایی، کاهش توانایی باروری خاک به‌ویژه در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک می‌شود.(Lal,2001) ایران در حال حاضر با مشکلات زیادی در رابطه با فرسایش خاک مواجه است، بخش وسیعی از اراضی کشور را محیط‌های آسیب‌پذیر به خطر بیابانی شدن احاطه کرده‌اند، به‌طوری‌که ۷۵ درصد اراضی ایران در معرض فرسایش قرار دارد(Sepehr, 2014). ایران به‌طور سالانه، ۱۲ تن فرسایش خاک دارد و در سال ۱۳۹۶ فرسایش خاک ۵۶ میلیارد دلار به ایران خسارت زد. ایران در حال حاضر دارای یکی از بالاترین نرخ‌های فرسایش در جهان است و ۹۰ درصد سطح کشور تحت تأثیر انواع فرسایش قرار دارد (Ahmadi,2008).

یکی از روش‌هایی که از دهه ۱۹۶۰ برای محاسبه فرسایش خاک رایج گردیده، روش دندروژئومورفولوژی است(Lawler,2005). دندروژئومورفولوژی [1] بر اساس تعیین تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی بنا شده است که بر پویایی رشد درخت تأثیر می‌گذارد. این روش با مطالعه تغییرات در شاخص‌های کالبدی مانند الگوهای رشد سالانه و آناتومی حلقه‌های رشد، نظم متحدالمرکز مقطع ساقه و ریشه، سرعت رشد و آناتومی چوب (به‌عنوان‌مثال تعداد سلول در هر حلقه، قطر سلول‌های اولیه چوب) اطلاعات موردنیاز در مورد شروع و شدت فرسایش را ارائه می‌دهد(Hitz, Gärtner, Heinrich & Monbaron, 2008). توصیف تغییرات آناتومیکی در یک حلقه رشد می‌تواند شروع قرار گرفتن ریشه در معرض هوا را نشان دهد. از این اطلاعات، می‌توان میزان تلفات خاک (تا تاریخ برداشت ریشه) را نتیجه گرفت(Lawler,2005) . به گفته Gärtner, Schweingruber & Dikau,(2001)، تغییرات آناتومیکی حلقه‌های رشد مربوط به اثرات قرار گرفتن ریشه در معرض جو است، تغییرات دما، کاهش فشار پوشش خاک در معرض نور قرار گرفتن، هم‌چنین افزایش تخریب پوشش الیافی منجر به ایجاد تنش مکانیکی در ریشه خواهد شد.

مزیت دندروژئومورفولوژی در مقایسه با سایر روش‌های معمول اندازه‌گیری فرسایش خاک، این است که نرخ فرسایش را می‌توان سالانه با نرخ متوسط و هم‌چنین برای رویدادهای منفرد، به‌صورت کمی برآورد کرد (Ballesteros-Cánovas et al.,2013). هم‌چنین دندروژئومورفولوژی می‌تواند برای تکمیل رویکردهای متدولوژیکی و یا به‌تنهایی برای تخمین میزان فرسایش به‌ویژه برای مناطقی که اندازه‌گیری‌های سیستماتیک ندارد، به کار برده شود.

روابط متقابل میان سنگ‌بستر، توپوگرافی، خاک و پوشش گیاهی نشان‌دهنده یک پاسخ هیدرولوژیکی و فرسایشی مشترک در هر اکوسیستم است (Gyssels, Poesen, Bochet & Li, 2005) . درک فرآیندها با پیوند دادن واحد پاسخ فرسایش هیدرولوژیک و دندروژئومورفولوژی می‌تواند به گسترش دانش به دست آمده در منطقه موردمطالعه به دیگران کمک کند. Gärtner (2007) معادله تصحیح شده‌ای را برای تخمین میزان فرسایش ارائه داد که در آن ارتفاع خاک فرسایش یافته به فرآیند فرسایش و رشد مداوم ریشه ثانویه بستگی دارد.

[1] Dendrogeomorphology

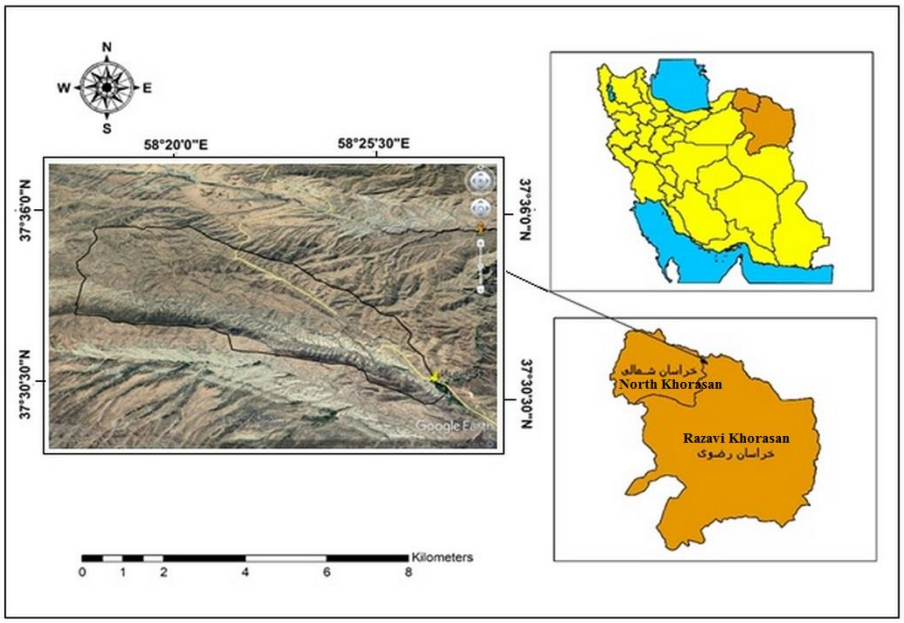
در برآورد میزان فرسایش ورقه‌ای به روش دندروژئومورفولوژیکی تمامی حلقه‌های رشد تا زمانی که بر اثر فرسایش در سطح زمین نمایان شوند، به‌صورت متحدالمرکز بوده‌اند. پس از آن رشد حلقه‌ها از حالت متحدالمرکز بودن خارج شده و عموماً به‌صورت بیضی مانند رشد می‌کند. بین ساختار چوب ساقه و چوب ریشه تفاوت وجود دارد. هنگامی‌که ریشه درخت از خاک خارج شده و در معرض هوای آزاد قرار می‌گیرد، ساختار آناتومیک آن دستخوش تغییر شده و خصوصیات چوب ساقه را پیدا می‌کند، از همین رو می‌توان با مطالعه ریشه بیرون زده، سال شروع فرسایش را تعیین نمود. اولین حلقه رشدی که از حالت طبیعی خود خارج شده باشد نمایانگر سال برون‌زدگی ریشه و آغاز روند فرسایشی است. تعداد حلقه‌های نامتقارن نشانگر سال‌هایی است که ریشه در معرض هوا قرارگرفته است (Stottes, O'Neal, Pizzuto & Hupp,2014) .بیش‌تر تحقیقات انجام شده تاکنون بر روی تعیین دقیق اولین سال مواجهه با فرسایش متمرکز بوده است؛ بنابراین، تغییرات ریشه ناشی از قرار گرفتن در معرض در سطح ماکروسکوپی(Carrara & Carroll, 1979) یا در سطح بافت و سلول تجزیه‌وتحلیل شده است (Fayle, 1968; Gärtner, Schweingruber & Dikau, 2001 ; Hitz, Gärtner, Heinrich & Monbaron, 2008).

پژوهش‌های دندروژئومورفولوژی در ایران بسیار محدود است(Bahrami, Tazari, & Parsiani, 2018) . (Bahrami, Tazari, & Parsiani, 2011) به بررسی فرسایش ورقه‌ای در حوضه قره‌چای با استفاده از روش دندروژئوموفیک پرداختند و به نتیجه رسیدند که گونه‌های سوزنی‌برگ مانند سرخدار و زربین، به علت دارا بودن حلقه‌های واضح‌تر و قابل‌شمارش‌تر، دارای کارایی بهتری در برآورد میزان فرسایش در منطقه موردمطالعه هستند. با توجه به افزایش نرخ فرسایش در ایران انجام این مطالعات ضروری خواهد بود. مطالعه حاضر بر روی تجزیه‌وتحلیل تغییرات آناتومیکی چوب در حلقه‌های رشد سالانه ریشه‌های درخت ارس ناشی از قرار گرفتن در معرض فرایند فرسایش ورقه‌ای تمرکز دارد و به بررسی امکان تعیین و قدمت تغییرات آناتومیکی، تخمین نرخ فرسایش و تعیین زمان نسبی آغاز فرسایش می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه حوضه آبریز رودخانه دربادام از زیر حوضه‌های مهم حوضه آبریز رودخانه درونگر، واقع در شمال استان خراسان رضوی و در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه ۲۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه ۲۶ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. حوضه موردمطالعه در مرز دو استان خراسان رضوی و خراسان شمالی واقع شده است. بلندترین و پست‌ترین نقطه حوزه به ترتیب ۲۶۲۳ و ۱۵۲۳ از سطح دریا ارتفاع دارد. نوع اقلیم آن نیمه مرطوب و سرد کوهستانی است و مقدار بارش از ۳۵۰ تا ٤٥٠ میلی‌متر در سال نوسان داشته، هم‌چنین کمینه دما در زمستان ۱۹- درجه سانتی‌گراد و بیشینه درجه حرارت در فصل گرم تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. گونه درختی غالب منطقه درخت ارس است. این حوزه از لحاظ زمین‌شناسی در ناحیه ساختاری کپه داغ واقع گردیده است. در شکل(۱) موقعیت منطقه موردمطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. study area location

روش مطالعه در این مقاله دارای تنوع تاریخی- تجربی و مبتنی بر تکنیک دندروژئومورفولوژی و تاریخ‌نگاری پدیده فرسایش ورقه‌ای است. قبل از عملیات میدانی، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰

:۱، زمین‌شناسی ۲۵۰۰۰۰ :۱ و مدل رقومی ارتفاع نوع ASTER و به کمک نرم افزار ArcGIS اقدام به تهیه نقشه‌های پایه شده است. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سه سایت نمونه‌برداری در دو زیر حوضه مجاور یکدیگر که از نظر ویژگی توپوگرافی، رسوب‌شناسی و گیاه‌شناسی متفاوت بوده‌اند، انتخاب شد. تعداد ۲۸ نمونه از ریشه‌های بیرون زده درختان در این سه سایت برداشت شد.

نمونه‌برداری در پاییز ۱۳۹۹ صورت پذیرفت. هنگام نمونه‌برداری برای هر درخت، شناسنامه‌ای تهیه شد که شامل اطلاعاتی مانند ارتفاع درخت از سطح دریا، شیب، جهت شیب، محل تماس ریشه با سطح خاک، فاصله سطح خاک تا سطح فوقانی ریشه برای هر نمونه است. تمامی نمونه‌ها توسط اره از ریشه‌ها جدا شده و به آزمایشگاه منتقل گردید.

۲-۲- آنالیزهای آزمایشگاهی و آماری

در آزمایشگاه هر نمونه به دو قسمت تقسیم شد. یک قسمت برای آنالیز میکروسکوبی (بزرگنمایی ۲۰ تا ۱۰۰ برابر بزرگ‌تر از اندازه واقعی) در محلول فیکساتور قرار گرفت و یک قسمت دیگر جهت آنالیز ماکروسکوپی (بزرگنمایی تا ۲۰ برابر بزرگ‌تر از اندازه واقعی) به مدت ۱ ماه در هوای معمولی خشک شد.

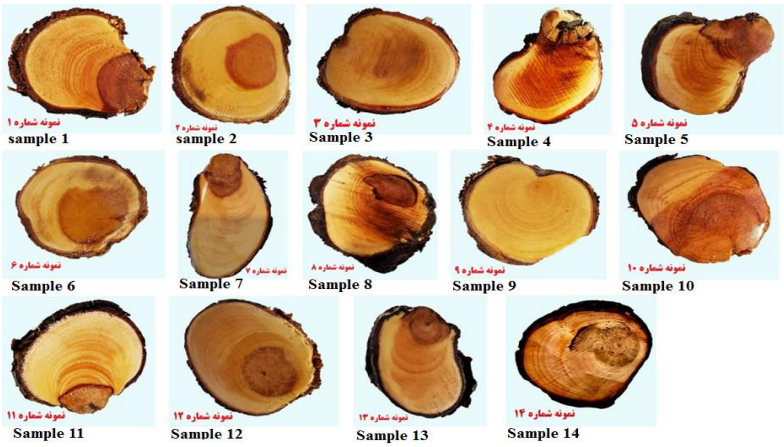
نمونه‌های آنالیز ماکروسکوپی بعد از خشک شدن با استفاده از سمباده‌های با درجات زبری مختلف صاف و صیقلی شدند به‌نحوی‌که حلقه‌های رویشی قابل‌ملاحظه و تشخیص باشد (شکل شماره ۲). سپس با استفاده از دستگاه LiNTAB6 و نرم‌افزار TSAPWIN متصل به آن تعداد حلقه‌های رشد و عرض این حلقه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از دستگاه میکروتوم از نمونه‌های تهیه شده برای آنالیز میکروسکوپی برش‌های بسیار نازک به اندازه ۱۵ تا ۲۰ میکرون تهیه شد. برای وضوح آوندهای و سایر سلول‌های بافت گیاهی، برش‌های نازک تهیه شده با میکروتوم با استفاده از محلول سافرانین رنگ‌آمیزی شد سپس روی لام میکروسکوپی قرار گرفت (شکل ۲). در ادامه نمونه‌ها زیر میکروسکوپ نوری عکس‌برداری شد. سپس برای هر حلقه رشد متوسط اندازه آوندها و تراکم آوندها با استفاده از نرم‌افزار Digimizer محاسبه شد.

شکل ۲- ۱ و ۲ نحوه نمونه‌برداری از ریشه‌های بیرون زده، ۳، ٤، ٥ و ٦ رنگ‌آمیزی و آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعه گاه شناسی درختی.

Fig.2. 1, 2: Sampling of exposed tree roots; 3, 4, 5 and 6: Staining and preparation of samples for tree ring analysis and dating.

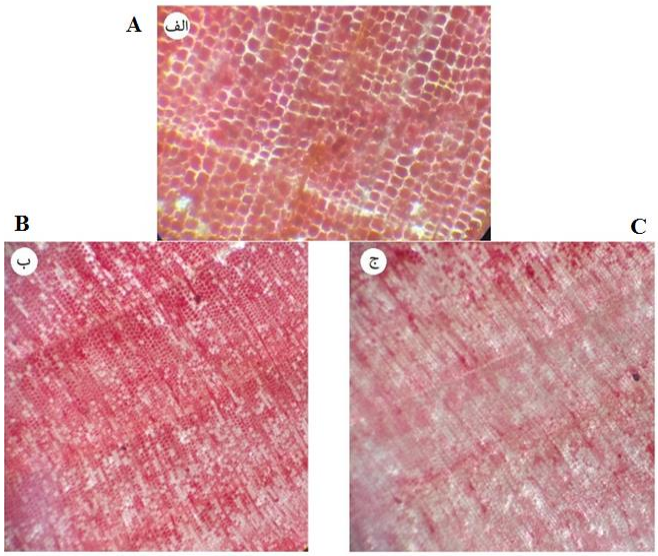
در ادامه با استفاده از شاخص‌هایی که نشان از بیرون‌زدگی ریشه درخت از خاک دارند اولین سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک تعیین شد.

از شاخص‌های ماکروسکوپی که نشان از بیرون‌زدگی ریشه دارند دو شاخص انحراف از مرکز حلقه رشد و افزایش یا کاهش ناگهانی عرض حلقه رشد در نمونه‌ها قابل‌ملاحظه بود. در تصویر شماره ۳ نمونه‌های تهیه شده برای آنالیز ماکروسکوپی قابل‌ملاحظه است. از شاخص‌های میکروسکوپی نشان‌دهنده بیرون‌زدگی ریشه از خاک دو شاخص کاهش یا افزایش ناگهانی اندازه متوسط سلول‌های آوند در یک حلقه رشد و افزایش و کاهش ناگهانی در تراکم آوندهای یک حلقه رشد قابل‌مشاهده بود. در تصویر شماره ٤ عکس نمونه‌های تهیه شده برای آنالیز میکروسکوپی زیر میکروسکوپ نوری قابل‌ملاحظه است.



شکل ۳- مقاطع نمونه‌برداری شده از درخت ارس در حوضه آبریز دربادام برای آنالیز ماکروسکوپی

Fig.3. Cross-sections of sampled Juniper trees in the Darbadam watershed for macroscopic analysis.



شکل ٤- مطالعه حلقه‌های رویشی با میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۳۰. در تصویر الف که قبل از برون‌زدگی ریشه است سلول‌های آوندی نظم معینی داشته در تصویر ب و ج که بعد از برون‌زدگی گرفته شده است نظم، تراکم و اندازه سلول‌ها از بین رفته است.

Fig.4. Study of growth rings using a light microscope at 30x magnification. In image A, taken before root emergence, the vascular cells exhibit a specific arrangement. In images B and C, taken after root emergence, the arrangement, density, and size of the cells have deteriorated.

بعد از تعیین نخستین سال رخنمون ریشه‌ها با توجه به الگوی حلقه‌های رویشی بر اساس روش گارتنر (۲۰۰۷) (معادله (۱)) مقدار کلی فرسایش به میلی‌متر(Er) به دست آمد.

در ادامه نرخ فرسایش سالیانه به میلی‌متر(Era) با استفاده از معادله (۲) محاسبه شده و درنهایت بر اساس معادلات مذکور، میانگین سالانه فرسایش ورقه‌ای برای هر نمونه محاسبه شد.

$$Er = R2 + [\frac{(B1+B2)}{2}] - R1 + Ex$$ معادله (۱)

Eq.1.

در این معادله R1: قطر ریشه (میلی‌متر) که پوست آن را هم در بر می‌گیرد، Ex: فاصله بین بخش رویی ریشه و سطح فعلی خاک بر حسب میلی‌متر، R_2: ارتفاع ریشه در زمان رخنمون، بر پایه تجزیه‌وتحلیل تغییرات کالبدشناختی، B_1: ضخامت پوست بخش رویی ریشه بر حسب میلی‌متر، B_2: ضخامت پوست بخش پایینی ریشه (میلی‌متر).

$$Era = \frac{Er}{2NRex}$$ معادله (۲)

Eq.2.

در این معادله نرخ فرسایش سالیانه به میلی‌متر(Era) از تقسیم Er به دست آمده از معادله (۱) بر تعداد حلقه‌های رشدی که بعد از سال رخنمون رشد کرده‌اند (NRex) به دست می‌آید.

۳- نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نتایج مربوط به برآورد نرخ فرسایش، پوشش گیاهی، شیب و نوع سازند زمین‌شناسی مربوط به درختان نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.

کلیه مقاطع تهیه شده از ریشه درختان ارس بوده است. پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده بر روی نقشه کاربری اراضی و نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل شماره ۵ قابل‌مشاهده است.

منطقه موردمطالعه شامل واحدهای اراضی باغی، جنگل با تاج پوشش کم، مراتع با پوشش خوب، مرتع با پوشش متوسط، مرتع با پوشش ضعیف، بیشه‌زار و بوته‌زار است. از مجموع ۲۸ نمونه تهیه شده، ۱۰ نمونه‌هایی از اراضی مرتعی با پوشش فقیر، ۱۶ نمونه از اراضی مرتعی با پوشش متوسط و دو نمونه نیز از جنگل با تاج‌پوشش کم تهیه شده است.

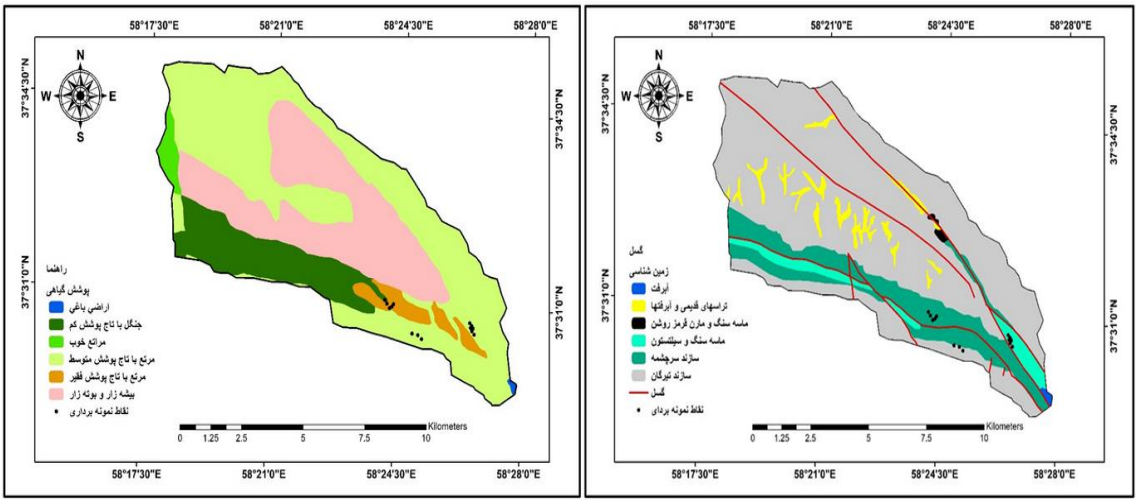
جدول ۱- نتایج مربوط به برآورد نرخ سالانه فرسایش در منطقه موردمطالعه

Table1- Results of Annual Erosion Rate Estimation in the Study Area

شماره نمونه Num		نوع پوشش گیاهی Type of vegetation	نوع سازند زمین‌شناسی زیربنا Geological Formation of the Substrate	سن درخت Tree Age	شیب (درجه) Slope	Er (mm)	$E_{,a}$ (mm/y)
1	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	41	13	19	0.79
2	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	21	21	19	0.63
3	میکروسکوپی Microscopic	جنگل با تاج پوشش کم Low Canopy Forest	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	52	7	2	0.03
4	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	53	9	11	0.36
5	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	41	12	5.8	0.38
6	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	21	21	19	0.65
7	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	93	9	22	0.3
8	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	82	7	16	0.26
9	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	41	12	19	0.47

10	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	91	10	9	0.37
11	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	45	10	4	0.3
12	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	33	12	13	0.41
13	میکروسکوپی Microscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	53	8	6	0.27
14	میکروسکوپی Microscopic	جنگل با تاج پوشش کم Low Canopy Forest	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	39	11	5.1	0.28
15	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	41	13	17	0.70
16	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	21	21	20.1	0.66
17	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	52	7	5	0.75
18	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	21	18	15	0.50
19	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	41	8	4	0.26
20	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	ماسه‌سنگ و سیلتستون Sandstone & Siltstone	23	12	19	0.79
21	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	93	8	20	0.34
22	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	82	10	20	0.32
23	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند تیرگان Tirgan Formation	41	18	20	0.50
24	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش متوسط Moderate Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	33	10	10	0.41

25	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	33	7	6.7	0.51
26	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	45	12	15	0.48
27	ماکروسکوپی Macroscopic	مرتع با تاج پوشش فقیر Poor Canopy Cover Pasture	سازند سرچشمه Sarcheshmeh Formation	39	11	8.2	0.74



شکل ۵- پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده بر نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی در حوضه آبریز دربادام

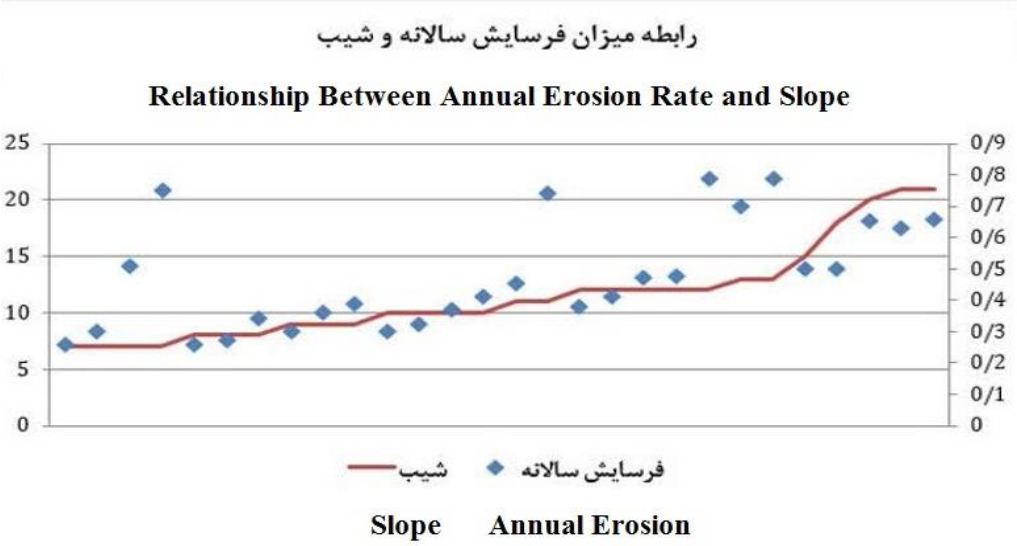
Fig.5. Distribution of Sampled Points on the Land Use and Geology Map in the Dababdam Watershed

بعد از محاسبه نرخ فرسایش سالانه برای هر نمونه ضمن تشریح نتایج به‌دست‌آمده به بررسی این نتایج پرداخته می‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات میدانی و بررسی‌های آزمایشگاهی که در جدول (۱) آمده است مشخص شد در تمامی مقاطع نمونه‌برداری شده نرخ فرسایش سالانه کم‌تر از یک میلی‌متر است.

رابطه میان شیب محل برداشت نمونه و میزان فرسایش سالانه در شکل (٦) ارائه شده است. با توجه به نمودار مشخص شد رابطه معناداری بین میزان افزایش شیب و میزان فرسایش سالانه در محل‌های

نمونه‌برداری وجود دارد. با افزایش درجه شیب، میزان فرسایش سالانه در محل نمونه‌برداری افزایش یافته است. برای بررسی تأثیر مقدار شیب بر میزان فرسایش از آزمون آماری تحلیل واریانس ANOVA استفاده شد. نتایج نشان داد میزان شیب بر میانگین نرخ فرسایش سطحی سالانه با مقدار p- value برابر با ۰/۰۵ تأثیرگذار است. بدین معنی که تأثیر شیب بر میانگین سالانه نرخ فرسایش در حوضه موردمطالعه به میزانی است که بتوان آن را به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار بر نرخ فرسایش در نظر گرفت.



شکل ٦- رابطه بین شیب محل برداشت نمونه ریشه و نرخ فرسایش سالانه

Fig.6. Relationship Between the Slope of the Sampling Location and the Annual Erosion Rate

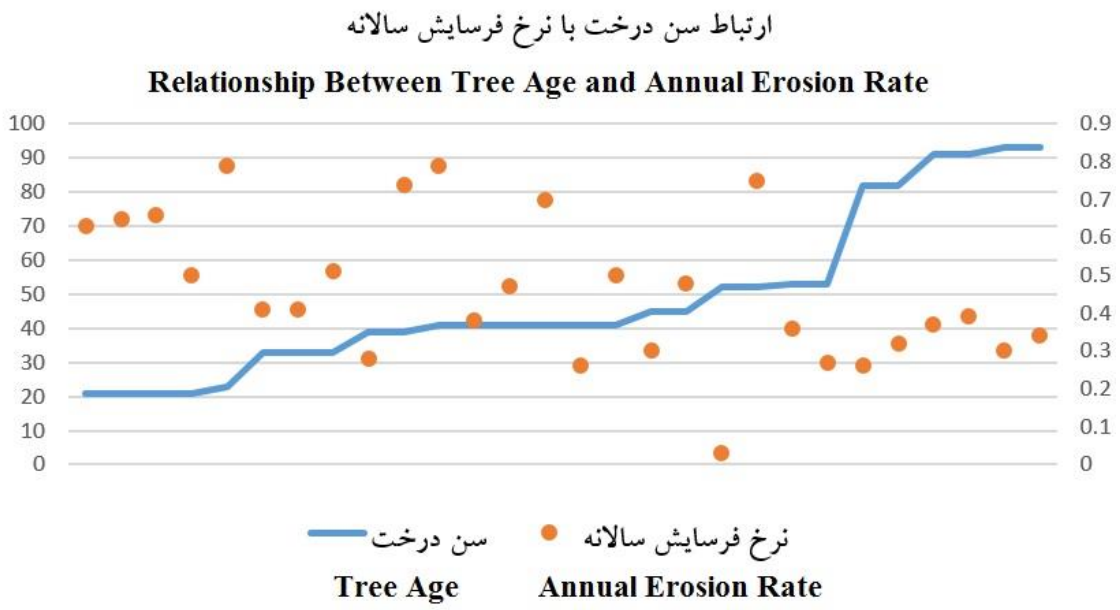


Fig.7. Relationship Between the Age of Sampled Trees and the Annual Erosion Rate

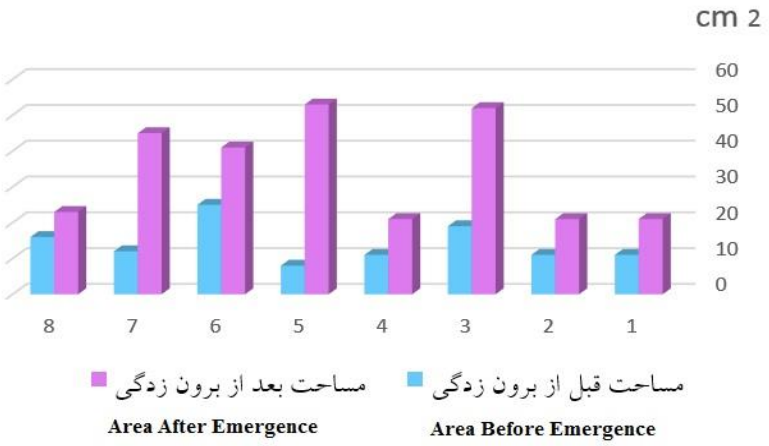
در ادامه رابطه میان میانگین فرسایش سالانه با سن نمونه‌های برداشت شده موردبررسی قرار گرفت. برای مقاطع عرضی برداشت شده که کم‌تر از ۵۰ سال سن دارند فرسایش سالانه ۰/۵۲ میلی‌متر و برای مقاطع دارای سن ۵۰ تا ۱۰۰ سال ۰/۳۳ میلی‌متر است . درنهایت مشخص شد نقاطی که سن درختان نمونه‌برداری شده کم‌تر است، میانگین فرسایش سالانه بیش‌تری دارند. در شکل (۷) رابطه بین سن مقاطع و میزان فرسایش سالیانه برای نمونه‌های برداشت شده نشان داده شده است که یک رابطه خطی از نوع معکوس را نشان می‌دهد. در واقع با کاهش سن نمونه‌ها میزان فرسایش افزایش می‌یابد و فرسایش دارای روند افزایشی است.

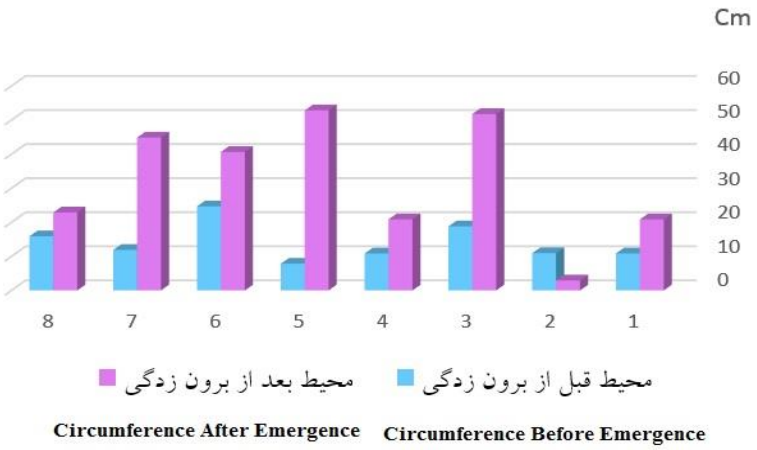
انطباق نقاط نمونه‌برداری شده با نقشه کاربری اراضی نشان می‌دهد که متوسط فرسایش سالانه در جنگل با تاج پوشش کم ۰/۱۵ میلی‌متر در سال، در مرتع با پوشش متوسط ۰/۳۵ میلی‌متر در سال و در مرتع با پوشش فقیر ۰/٦۵ میلی‌متر در سال است. بیش‌ترین فرسایش سالانه در مناطق با پوشش مرتعی فقیر و کم‌ترین فرسایش سالانه در کاربری جنگل صورت می‌پذیرد.

با توجه به نتایج به دست آمده از رابطه میزان فرسایش خاک و کاربری اراضی و هم‌چنین رابطه میان میزان فرسایش خاک و سن درختان، اهمیت تأثیر نوع پوشش و کاربری زمین و نقش ریشه درختان در محافظت از خاک و جلوگیری از هدررفت خاک در منطقه موردمطالعه به‌وضوح قابل‌ملاحظه است.

یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از تکنیک دندروژئومورفولوژی در تعیین میزان فرسایش خاک تعیین اولین سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک می‌باشد. در سال‌های اخیر در کنار استفاده از شاخص‌های ماکروسکوپی مانند خروج حلقه‌های رشد از حالت متحدالمرکز، استفاده از شاخص‌های میکروسکوپی است. برای آنالیز میکروسکوپی از شاخص‌هایی نظیر تغییرات اندازه، تعداد و جهت‌گیری آوندها، اندازه لومن سلول‌ها و فیبرها استفاده می‌شود.

در این پژوهش نتایج آنالیز میکروسکوپی نشان از نازک شدن دیواره سلول‌های آوندی و کاهش اندازه لومن سلول‌های فیبر در اثر قرار گرفتن در معرض هوا داشت. نتایج حاکی از آن است که لومن سلول‌ها (فضای درون‌سلولی) بعد از بیرون‌زدگی حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. محیط و مساحت آوندها نیز بعد از بیرون‌زدگی افزایش داشته است(شکل شماره ۸). در این پژوهش استفاده از شاخص‌های میکروسکوپی کمک شایانی به تشخیص اولین سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک کرد.





شکل ۸- مقایسه میانگین محیط و مساحت آوندها در حلقه‌های رشد قبل و بعد از بیرون‌زدگی از خاک

Fig.8. Comparison of Mean Circumference and Area of Vessels in Growth Rings Before and After Emergence from the Soil

۳- نتیجه‌گیری

فرسایش خاک عامل اصلی تخریب زمین است که در بسیاری از اکوسیستم‌های مختلف اثرات قابل‌توجهی را بر جای می‌گذارد. در ایران به دلیل شکننده‌تر بودن اکوسیستم، تخریب و تغییر کاربری‌های طبیعی زمین، فرسایش خاک بسیار گسترده‌تر و اثرات زیست‌محیطی حاصل از آن بسیار حادتر است و جبران و جایگزینی خاک فرسایش یافته به علت نامساعد بودن شرایط اقلیمی بسیار کند و دشوار است (Shirzadi, Hosseinzadeh, Nosrati, & Matesh Beyranvand, 2023) . ایران در حال حاضر با مشکلات زیادی در رابطه با فرسایش خاک مواجه است، بخش وسیعی از اراضی کشور را محیط‌های آسیب‌پذیر به خطر بیابانی شدن احاطه کرده‌اند، به‌طوری‌که ۷۵ درصد اراضی ایران در معرض فرسایش قرار دارد(Sepehr,2014) . در پژوهش حاضر، با هدف تعیین میزان فرسایش ورقه‌ای در حوضه آبریز دربادام در شهرستان قوچان از تکنیک درندروژئومورفولوژی استفاده شده است.

مقایسه سن درختان و میزان فرسایش سالیانه برآورد شده از هر نمونه، نشان از یک رابطه خطی معکوس دارد. در واقع با کاهش سن نمونه‌ها میزان فرسایش افزایش یافته است. Pazhouhandeh, Bayramzadeh,

Safdari & Zarrinkafsh, (2014) با استفاده از روش دندروژئومورفولوژی نرخ فرسایش را در حوزه حسن‌آباد چالوس محاسبه کرده‌اند که نتایج پژوهش آن‌ها نیز نشان داد که با کاهش سن نمونه‌ها میزان فرسایش افزایش یافته است. خاک اطراف ریشه درختان جوان‌تر نسبت به خاک محدوده درختان مسن‌تر نسبت به فرسایش حساس‌تر است. ریشه درختان جوان‌تر در سطح بالاتری از خاک قرار گرفته است و در اثر هدررفت خاک زودتر در معرض هوای آزاد قرار می‌گیرند. Bahrami et al.,(2011)، نیز با بررسی فرسایش سالانه در حوضه قره چای به این نتیجه دست یافتند که درختان با سن کم‌تر از ۵۰ سال، فرسایشی معادل ۰/۸٦ میلی‌متر و درختان دارای سن بیش از ۲۵۰ سال فرسایشی حدود ۰/۲۵ میلی‌متر را در سال دارند. افزایش فرسایش می‌تواند نتیجه فعالیت‌های انسانی شامل تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و چرای بی‌رویه دام دانست. این تغییرات منجر به افزایش فشار بر منابع طبیعی و افزایش روند فرسایشی خواهد بود بی‌شک تلاش در حفظ درختان منطقه و جلوگیری از و تغییر کاربری اراضی جنگلی تخریب پوشش درختی، سبب کاهش روند فرسایش خاک در منطقه موردمطالعه خواهد شد.

نتایج نشان داد در مطالعه موردمطالعه شیب محل نمونه‌برداری‌ها با نرخ فرسایش سالانه یک رابطه خطی مستقیم داشت. مطالعات متعدد نیز نشان داده است فرسایش با درصد شیب ارتباط تنگاتنگی دارد. هر شیب افزایش یابد رواناب سرعت بیش‌تری ا خواهد داشت در نتیجه قدرت تخریب آن بیش‌تر شده و نفوذ کاهش خواهد یافت Jiao, Zou, Jia, & Wang, 2009) (Fu, Liu, Liu, & Xu, 2011., Fu et al.,(2011) با مطالعه اثر شیب بر فرسایش بیان کردند، در شیب‌های تند در صورت فقدان پوشش گیاهی رواناب فرصت کافی برای نفوذ را پیدا نخواهد کرد در نتیجه سرعت بیشتری گرفته و میزان تخریب آن نیز بیشتر خواهد شد.

در منطقه موردمطالعه بیش‌ترین فرسایش سالانه در مناطق با پوشش مرتعی فقیر و کم‌ترین فرسایش سالانه در کاربری جنگل صورت ثبت شد. تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی می‌تواند عامل مؤثری در پیش‌گیری از فرسایش ورقه‌ای باشد(Nyssen et al., 2006). تراکم بالای پوشش گیاهی ازجمله عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در پیش‌گیری از فرسایش است(Faulkner, 2013) . پوشش گیاهی متراکم منجر به کاهش تلفات خاک ناشی از برخورد قطرات باران می‌شود، همچنین ساقه گیاهان در مقابل رواناب به‌عنوان کاهنده‌ی سرعت عمل کرده و

نفوذ آب را افزایش می‌دهند(Malik & Wistuba, 2012) .ریشه گیاهان نیز با ایجاد منافذ زیاد بستر خاک را برای نفوذ بیش‌تر آماده کرده و منجر به افزایش پایداری در پروفیل خاک خواهند شد. افزایش رطوبت نیز منجر به ازدیاد مواد آلی در خاک شده، در نتیجه ذرات خاک همبستگی بیش‌تر پیدا کرده و در برابر فرسایش مقاوم‌تر خواهند بود (Malik, & Matyja, 2008). Costa, Ferreira, Botosso & Callado, (2015) چرای مداوم را یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش ورقه‌ای عنوان کردند.

با توجه به اهمیت فوق‌العاده تعیین سال بیرون‌زدگی ریشه از خاک در این مطالعه ضمن به‌کارگیری شاخص‌های ماکروسکوپی نشان‌دهنده بیرون‌زدگی ریشه از خاک که در اکثر مطالعات مورداستفاده قرار می‌گیرند، از شاخص‌های میکروسکوپی نیز در تعیین سال برون‌زد ریشه استفاده شد. در این پژوهش مشخص شد درصد فضای درون‌سلولی (Lomen) بعد از بیرون‌زدگی ریشه از خاک کاهش یافته است. همچنین محیط و مساحت آوندها بعد از برون‌زدگی از خاک افزایش داشت. نتایجی که مشابه آن قبلاً توسط Ballesteros-Cánovas et al.,2013 ارائه شد.

Bodoque et al.,(2011) نیز بیان کردند قرار گرفتن ریشه در معرض هوا موجب تغییر در تعداد و جهت‌گیری سلول‌های آوندی می‌شود. همبستگی‌های متقابل در سری حلقه‌های رشد ریشه‌های در معرض نور و خارج از آن نشانگر وابستگی زیاد رشد حلقه با عوامل اقلیمی غالب هر منطقه است (Chartier, Giantomasi, Renison, & Roig, 2016) . دگرگونی رشد یکی از رایج‌ترین و مشهودترین خصوصیات تغییر پس از مواجهه با برون‌زدگی است (Ballesteros-Cánovas et al.,2013; Stoffel,2008). نتایج تحقیق توسط Gärtner,(2007) نشان داد تغییرات آناتومیکی به دلیل برهنه شدن ریشه، ۳۰ میلی‌متر قبل از قرار گرفتن ریشه در معرض هوا رخ می‌دهد. زخم‌های ایجادشده روی ریشه در اثر سایش بافت کامبیوم ایجاد می‌شوند و به‌صورت آناتومیک شناسایی و به‌راحتی تاریخ آن مشخص می‌گردد (Ballesteros-Cánovas et al.,2013).

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، روش دندروژئومورفولوژی برای تخمین میزان فرسایش در منطقه موردمطالعه روشی دقیق، آسان و کم‌هزینه‌تر از سایر روش‌هاست و می‌توان از این تکنیک برای برآورد

میزان تخریب در منطقه‌ای وسیع استفاده کرد. مطالعه توأم ماکروسکوپی و میکروسکوپی ریشه‌های بیرون‌زده اطلاعات دقیق‌تر و جامع‌تری از روند فرسایش در اختیار ما قرار می‌دهد. با توجه به وضوح حلقه‌های رشد گونه درختی ارس، می‌توان نتیجه گرفت این درخت ارس گونه مناسبی برای استفاده در تکنیک دندروژئومورفولوژی است.

References

Ahmadi, H. (2008). *Applied Geomorphology*. Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Bahrami, S., Mahboobi, F., Sadidi, J., & Jafari Aghdam, M. (2011). Estimating the rate of sheet erosion by dendrogeomorphological analysis of tree roots in Gharechai (Ramian) Catchment. *Physical Geography Research*, *43*,18-20. [In Persian] https://jphgr.ut.ac.ir/article_22627.html?lang=en

Bahrami, S., Tazari, A., & Parsiani, K. (2018). Estimating the Lateral and Bed Erosion of Gully by Dendrogeomorphological Analysis of Tree Roots in Nilkooh Catchment (Galikesh), Golestan Province. *Geography and Environmental Planning*, *29*(3), 173-194. [In Persian] https://doi.org/10.22108/gep.2018.98168.0

Ballesteros-Cánovas, J. A., Bodoque, J. M., Lucía, A., Martín-Duque, J. F., Díez-Herrero, A., Ruiz-Villanueva, V., ... & Genova, M. (2013). Dendrogeomorphology in badlands: methods, case studies and prospects. *Catena*, *106*, 113-122. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.009

Bodoque, J. M., Lucía, A., Ballesteros, J. A., Martín-Duque, J. F., Rubiales, J. M., & Genova, M. (2011). Measuring medium-term sheet erosion in gullies from trees: A case study using dendrogeomorphological analysis of exposed pine roots in central Iberia. *Geomorphology*, *134*(3-4), 417-425. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.016

Carrara, P.E., & Carroll, T.R. (1979). The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado. *Earth Surface Processes*, 4(4), 307–317. https://doi.org/10.1002/esp.3290040402

Chartier, M.P., Giantomasi, M.A., Renison, D., & Roig, F.A. (2016). Exposed roots as indicators of geomorphic processes: a case-study from Polylepis mountain woodlands of Central Argentina. *Dendrochronologia*, 37,57–63. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.11.003

Corona, C., Saez, J. L., Rovéra, G., Stoffel, M., Astrade, L., & Berger, F. (2011). High resolution, quantitative reconstruction of erosion rates based on anatomical changes in exposed roots at Draix, Alpes de Haute-Provence—critical review of existing approaches and independent quality control of results. *Geomorphology*, 125(3), 433-444. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.030

Costa, M. S., Ferreira, K. E. B., Botosso, P. C., & Callado, C. H. (2015). Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semidecidual lowland forest in Brazil. *Dendrochronologia*, 36, 23-32. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.004

Domínguez-Castillo, V., Bovi, R.C., Chartier, M.P., Tomazello Filho, M., & Cooper, M. (2020). Using dendrogeomorphology to estimate soil erosion in mixed native species and pine forests

on Ultisols in Piracicaba, Brazil. *Geoderma Regional*, 21, e00276. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00276

Faulkner, H. (2013). Badlands in marl lithologies: a field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies. *Catena*, 106, 42-53. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.005

Fayle, D. C. F. (1968). *Radial Growth in Tree Roots: Distribution, Timing, Anatomy*. Toronto: University of Toronto, Faculty of Forestry. https://nla.gov.au/nla.cat-vn222932

Fu, S., Liu, B., Liu, H., & Xu, L. (2011). The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*, 84(1-2), 29-34. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.013

Gärtner, H. (2007). Tree roots - methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 86(3-4), 243–251. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.001

Gärtner, H., Schweingruber, F.H., & Dikau, R.(2001) Determination of erosion Rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19, 81–91.

Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in physical geography*, 29(2), 189-217. https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra

Hitz, O.M., Gärtner, H., Heinrich, I., & Monbaron, M. (2008). Application of ash (Fraxinus excelsior L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents. *Catena*, 72(2),248–258. https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.008

Hosseinzadeh, M.M., Matsh Beyranvand, S., Esmaili, R. (2020). Analysis of channel bank erosion rate using exposed roots of trees: a case study of lavij stream, northern Alborz Mountains, Iran. *Journal of Mountain Science*, 17(5),1096-1105. https://doi.org/10.1007/s11629-019-5558-9

Jiao, J., Zou, H., Jia, Y., & Wang, N. (2009). Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 29(2), 85-91. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2009.05.001

Karimi, S., Rajabi, M., & Rezaei Moghaddam, M. H. (2021). Evaluation and zoning of soil erosion in karst areas by SMLRK Model (case study of Alvand basin of Kermanshah province). *Journal of Geography and Planning*, *24*(74), 197-214. [In Persian] https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10861_en.html

Lal, R. (2009). Laws of sustainable soil management. *Sustainable agriculture*,9-12. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_2

Lal, R.A.T.T.A.N. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(16). 519–539. https://doi.org/10.1002/ldr.472

LaMarche, V.C. (1968). *Rates of slope degradation as determined from botanical evidence,White Mountains. California*. Washington: United States Government Printing Office.

Lawler, D.M. (2005). The importance of high-resolution monitoring in erosion and deposition dynamics studies: examples from estuarine and fluvial systems. *Geomorphology*, 64(1-2),1–23. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.04.005

Malik, I., & Matyja, M. (2008). Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years (Bílá Opava River—Czech Republic). *Geomorphology*, 98(1-2), 126-142.

https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.030

Malik, I., & Wistuba, M. (2012). Dendrochronological methods for reconstructing mass movements-An example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity. *Geochronometria*, 39, 180-196. https://doi.org/10.2478/s13386-012-0005-5

Nyssen, J., Poesen, J., Veyret-Picot, M., Moeyersons, J., Haile, M., Deckers, J., ... & Govers, G. (2006). Assessment of gully erosion rates through interviews and measurements: a case study from Northern Ethiopia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(2), 167-185. https://doi.org/10.1002/esp.1317

Paknejad, F., Hoseinzadeh, S., & jahadi toroghi, M. (2018). Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods in the Tangrah Catchment. *Quantitative Geomorphological Research*, *7*(2), 1-18. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.7.2.1.7

Pazhouhandeh, A., Bayramzadeh, V., Safdari, V., & Zarrinkafsh, M. (2014). The Applicability of the Exposed Roots of Cupressus sempervirens L. var horizontalis for the Estimation of Soil Erosion in Hassan Abad, Mazandaran Province. *Forest and Wood Products*, *67*(3), 411-421. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jfwp.2014.52087

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., … & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201),1117–1123. https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117

Poesen, J. (2018). Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes Landforms*, 43(1),64–84. https://doi.org/10.1002/esp.4250

Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2-4), 91–113. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-1

Procter, E., Stoffel, M., Schneuwly-Bollschweiler, M., & Neumann, M. (2012). Exploring debris-flow history and process dynamics using an integrative approach on a dolomitic cone in western Austria. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(9), 913–922. https://doi.org/10.1002/esp.3207

Reid, L.M., Dewey, N.J., Lisle, T.E., & Hilton, S. (2010). The incidence and role of gullies after logging in a coastal redwood forest. *Geomorphology*, 117(1-2), 155–169. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.025

Sepehr, A. (2014). Bistability and Catastrophic Collapse: Thermodynamics Analysis of Desertification. *Geography and Environmental Planning*, *25*(2), 119-132. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1393.25.2.10.4

Shirzadi, L., Hosseinzadeh, M. M., Nosrati, K., & Matesh Beyranvand, S. (2023). Surface Erosion Estimation through Dendrogeomorphological Analysis and Investigating the Role of Land-use and Slope Direction on Erosion in Nachi Catchment. *Sustainable Development of Geographical Environment*, *4*(7), 158-172. [In Persian] https://egsdejournal.sbu.ac.ir/article_103132_en.html?lang=en

Smith, H.G. (2008). Estimation of suspended sediment loads and delivery in an incised upland headwater catchment, south-eastern Australia. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(16), 3135–3148. https://doi.org/10.1002/hyp.6898

Stoffel, M. (2008). Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia*, 26(1), 53–60. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.06.002

Stoffel, M., Luckman, B.H., Butler, D.R., & Bollschweiler, M. (2013). 12.9 Dendrogeomorphology: Dating Earth-Surface Processes with Tree Rings. *Treatise on Geomorphology*,12,125-144. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374739-6.00326-2

Stottes, S., O'Neal, M., Pizzuto, J., & Hupp, C. (2014). Exposed tree root analysis as a dendrogeomorphic approach to estimating bank retreat at the South River, Virginia. *Geomorphology*, 223, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.012

Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3), 132–153. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001

Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., & Deckers, J. (2013). Spatial interaction between collapsed pipes and landslides in hilly regions with loess-derived soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(8), 826-835. https://doi.org/10.1002/esp.3325

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.45-64 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82599.1372 Open access

Evaluation of function and landscape ecological connectivity in Khamir-Qeshm mangrove forests

Parvaneh Sobhani [a], Afshin Danehkar[*b]

[a] *Assistant Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran.*
[b] *Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.*

Received: 26 May 2023 ***Revised: 21 June 2023*** ***Accepted: 23 June 2023***

Abstract

Ecological connectivity function is one of the most important types of biological connections among natural ecosystems due to providing ecological connections. Habitat fragmentation and the subsequent decline of landscape ecological connectivity is one of the main reasons for the devastation of biodiversity. Accordingly, in the present study, using the landscape ecology approach, the function and landscape ecological connectivity was evaluated in the mangrove forests of Khamir-Qeshm. In this way, by identifying the ecological functions and prioritizing the barrier effect, the state of ecological continuity was discussed in this area from 1989-2021. The results demonstrated that the most dispersion of ecological functions can be seen in the bare land and the most barrier effect in the tidal area. According to the ecological functions and the existing barriers, most of the mangrove forests of Khamir-Qeshm are under the influence of ecological barriers, the reasons for which can be mentioned to the development of human activities, the reduction of forest lands, and the advancement of water body and tidal area in the region. The results indicate a decreasing trend in the function and ecological continuity of the area, and on the contrary, an increasing trend in the barriers effect. Ecological functions and continuity have a direct relationship with the density of mangrove forests, meaning that with the reduction of forest habitats under the influence of environmental and human hazards, the level of ecological function and continuity has also decreased. According to the results, the assessment of ecological function and continuity can provide the possibility of analyzing the principles of development activities to increase human well-being by maintaining habitat continuity and increasing the stability of ecosystems. The results of this study, as a management solution, can help to protect and plan properly in line with human activities development, followed by environmental risks and consequences.

Keywords: Ecological performance, Ecological connectivity, Mangrove forests of Khamir-Qeshm, Habitat fragmentation, Landscape structure, Biodiversity

[*] .Corresponding author: Afshin Danehkar Email: danehkar@ut.ac.ir Tel:+9809123094861

How to cite this Article: Sobhani, P., & Danehkar, A. (2022). Evaluation of function and landscape ecological connectivity in Khamir-Qeshm mangrove forests. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 45-64.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ٦٤-٤٥ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جفرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82599.1372 دسترسی آزاد

ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانگرو خمیر- قشم

پروانه سبحانی - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
افشین دانه‌کار[1]-استاد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ **دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۳/۳۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/٤/۲**

چکیده

پیوستگی عملکرد بوم‌شناختی به دلیل فراهم کردن اتصالات بوم‌شناختی از مهم‌ترین انواع اتصالات زیستی در بین زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود. ازهم‌گسیختگی زیستگاه‌ها و به دنبال آن افول کاهش پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، از دلایل اصلی نابودی تنوع زیستی است. بر این اساس در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین به ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم پرداخته شد. بدین ترتیب با شناسایی هم‌زمان عملکردهای بوم‌شناختی و اولویت‌بندی اثر موانع، وضعیت پیوستگی بوم‌شناختی در این منطقه در طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۱، موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. همان‌طور که نتایج نشان داد، در این منطقه بیشترین پراکندگی عملکردهای بوم‌شناختی در اراضی بایر و در مقابل بیشترین موانع در پهنه‌های جزر و مدی قابل‌مشاهده است. با توجه به عملکردهای بوم‌شناختی و موانع موجود، بیشترین وسعت از جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم تحت تأثیر موانع بوم‌شناختی می‌باشند که از دلایل آن می‌توان به توسعه فعالیت‌های انسانی، کاهش اراضی جنگلی و پیشروی پهنه‌های آبی و جزر و مدی در منطقه اشاره نمود. همچنین نتایج حاکی از روند کاهشی در عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی منطقه و در مقابل افزایش روند اثر موانع است. ازاین‌رو عملکردها و پیوستگی بوم‌شناختی با میزان تراکم جنگل‌های مانگرو رابطه‌ای مستقیم دارد، بدین معنا که با کاهش رویشگاه‌های جنگلی تحت تأثیر مخاطرات محیطی و انسانی، میزان عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی نیز کاهش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی می‌تواند امکان تحلیل اصولی از فعالیت‌های توسعه‌ای برای افزایش رفاه انسانی را از طریق حفظ پیوستگی زیستگاه و افزایش پایداری اکوسیستم‌ها فراهم نماید. همچنین نتایج این مطالعه به‌عنوان یک راهکار مدیریتی می‌تواند به حفاظت و برنامه‌ریزی صحیح در راستای توسعه فعالیت‌های انسانی و به دنبال آن مخاطرات و پیامدهای محیطی کمک کند.

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۰۹۴۸۶۱ Email: danehkar@ut.ac.ir

کلیدواژه‌ها: عملکرد اکولوژیکی، پیوستگی بوم‌شناختی، جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم، ازهم‌گسیختگی زیستگاه‌ها، سیمای سرزمین، تنوع زیستی

مقدمه

گسستگی زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی و به دنبال آن کاهش پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، از دلایل اصلی نابودی تنوع زیستی است که جریان ماده، انرژی و اطلاعات را در مقیاس سیمای سرزمین مختل کرده است (Santiago & Feria-Toribio, 2021; Wolf, Sobhani, & Esmaeilzadeh, 2023; Almasieh & Kaboli, 2019). از طرفی تغییر در الگوی سیمای سرزمین و عملکردهای بوم‌شناختی منجر به اثرات منفی بر محیط‌زیست و بروز مخاطرات بوم‌شناختی به دلیل بیابان‌زایی، فرسایش خاک، کاهش منابع جنگلی و عملکرد زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی شده است (Zou, 2016; Xie, 2013). اثرات بوم‌شناختی ناشی از تشدید استفاده از سرزمین، خصوصیات منطقه‌ای و تجمعی دارد و به‌طور مستقیم، ساختار، عملکرد و ترکیب اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mehri, Salmanmahiny, Mikaeili Tabrizi, Mirkarimi, & Sadoddin, 2018).

با افزایش رشد سریع جمعیت و توسعه شهرنشینی، باعث تغییرات عمده‌ای در عملکرد شبکه‌های بوم‌شناختی شده است، که به دنبال آن تهدید محیط‌زیست در مقیاس‌های فضایی و زمانی چندگانه از طریق تغییرات آب و هوایی، از دست دادن زیستگاه حیات‌وحش و تنوع زیستی را به همراه داشته است (Aksu, 2022; Montis, Ganciu, Cabras, Bardi, & Mulas, 2019). این امر موجب ایجاد اثرات برگشت‌ناپذیری در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی سرزمین شده است که نتیجه آن پیامدهایی چون کاهش فرآیندهای بوم‌شناختی، نابودی گونه‌ها و تضعیف خدمات اکوسیستمی است (Monteiro, Pizo, Vancine, & Ribeiro, 2021; Aburas, Sabrina, Ramli, Firuz, & Ashaari, 2016)

بوم‌شناسی سیمای سرزمین به مطالعه اثرات متقابل الگوهای مکانی بر روی عملکردهای بوم‌شناختی می‌پردازد و این کار توسعه مدل‌ها و نظریه‌های مکانی را ترویج داده و همچنین موجب استفاده‌ای گسترده از انواع داده‌های مربوط به الگوی مکانی می‌شود. بوم‌شناسان به دنبال کمی کردن الگوهای مکانی لکه‌ها در داخل سیمای سرزمین می‌باشند تا بتوانند تأثیر این الگوهای مکانی را بر عملکردهای بوم‌شناختی، مطلوبیت زیستگاه و حفظ تنوع زیستی به دست آورند (Rahimi, & Mahini, 2017).

تکه‌تکه شدگی زیستگاه با گذشت زمان باعث انزوا و جدایی لکه‌های زیستگاهی و کاهش پیوستگی بوم‌شناختی می‌شود(Almasieh & Kaboli, 2019). این ازهم‌گسیختگی زیستگاه جدی‌ترین تهدید برای تنوع زیستی و انقراض گونه‌ها در حال حاضر است (Makki, Fakheran, Moradi, Iravani, & Farahmand, 2013; Darvishi, Fakheran, Soffianian, & Ghorbani, 2015). پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین یک ویژگی ساختاری-عملکردی است که به میزان سهولت و یا محدودیت سیمای سرزمین در جریان ماده، انرژی و

اطلاعات در میان لکه‌های بوم‌شناختی مختلف اطلاق می‌شود (Zhang, Peng, Liu, & Wu, 2017; Huang, Ye, Zhao, Guo, & Ding, 2022) ؛ بنابراین پیوستگی عملکرد بوم‌شناختی به دلیل فراهم کردن اتصالات بوم‌شناختی از مهم‌ترین انواع اتصالات زیستی در بین زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود. سیمای سرزمین یک محدوده همگن است که از مجموعه‌ای از اکوسیستم‌ها با روابط متقابل و به فرم مشابه تکرار شونده تشکیل شده است (Poodat, Arrowsmith, Mikaeili Tabrizi, & Gordon, 2018) . ازاین‌رو یکی از مهم‌ترین اهداف اصلی بوم‌شناسی سیمای سرزمین، مطالعه ساختار سیمای سرزمین و تأثیرات آن بر عملکردهای بوم‌شناختی می‌باشد (Shabani, Abarkar,Parivar, & Kouchekzadeh, 2011; Sobhani, Esmaeilzadeh, Barghjelveh, Sadeghi, & Marcu, 2021).

تغییر در توزیع فضایی عناصر ساختاری منجر به کاهش پیوستگی در سیمای سرزمین یا میزان سهولت گردش ماده و جریان‌های حیاتی اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود. در این راستا اکوسیستم‌های جنگلی در صورت مدیریت مطلوب، می‌توانند کارکردهایی ازجمله حفظ فرآیندهای اکولوژیکی و حیات‌بخش، تنوع ژنتیکی، فراهم کردن زیستگاه برای گونه‌های حساس و بسیاری خدمات دیگر را عرضه کنند (Naderi, Salarijazi, & Zakerinia, 2019). متأسفانه امروزه به دلیل رشد جمعیت و توسعه بی‌رویه فعالیت‌های انسانی روند عملکرد بوم‌شناختی این رویشگاه‌های ارزشمند زیستی با تهدیداتی مواجه شده است.

با توجه به اهمیت و ضرورت مسئله، در این زمینه مطالعاتی انجام شده است که می‌توان به (Panahandeh, 2018)، در مطالعه بررسی روند تباهی زیستگاه و ازهم‌گسیختگی منطقه حفاظت شده لیسار بر اساس رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین اشاره کرد. نتایج به دست آمده حاکی از تغییرات سنجه‌ها و وقوع هم‌زمان دو پدیده مخرب تباهی و ازهم‌گسیختگی زیستگاه بوده است. (Melhosseini Darani, Mortazavi, Hosseini, Shayesteh, & Falahatkar, 2021)، به ارزیابی و کمی‌سازی معیارهای بصری پوشش اراضی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در جنگل‌های دو هزار سه هزار تنکابن پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات و ازهم‌گسیختگی مربوط به کاربری جنگل بوده و بیشتر از سایر کاربری‌ها دستخوش مداخلات انسانی قرار گرفته است.

(Mansouri, Badeh, Ghobad, & Malek, 2021)، از سنجه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین در تحلیل و کمی‌سازی پوشش زمین در اکوسیستم‌های جنگلی حوزه دادآباد خرم‌آباد استفاده کردند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که دسترسی به اراضی ملی جنگلی و مراتع و از طرف دیگر نزدیکی به رودخانه خرم رود منجر به توسعه کشاورزی غیر تولیدی گردیده و درنتیجه منجر به کاهش پوشش جنگلی و افزایش زمین‌های بایر شده است.

(Rostamvandi Zabrlou, Salehi, & Farzin, 2022)، به بررسی تخریب سیمای سرزمین با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناختی در منطقه حفاظت شده دنا پرداختند. در این مطالعه روند تغییرات پوشش سیمای سرزمین در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ نشان‌دهنده توسعه کشاورزی در زیر اشکوب جنگل و افزایش تخریب سیمای سرزمین در طی این سال‌ها می‌باشد.

(Chehrazar, Chehrazar, & Amiri, 2021) به بررسی آثار رشد شهری بر سیمای سرزمین شهر کرج اقدام کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اثرات توسعه شهرنشینی بر پیوستگی بوم‌شناختی لکه‌های فضای سبز منطقه منجر به کاهش کیفیت محیط‌زیست و تهدید الگوهای بوم‌شناختی شده است.

(Naroei, Barghjelveh, Esmaeilzadeh, & Zebardast, 2022)، تغییرات فضایی-زمانی پوشش‌های سبز شهری را با استفاده از الگوی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در استان تهران موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرآیندهای فضایی کاهش تعداد و مساحت اراضی سبز منجر به کاهش پیوستگی و توزیع نامتعادل زیرساخت‌های سبز شهری در این استان شده است.

(Withaningsih, Parikesit, Malik, & Rahmi, 2022)، در مطالعه‌ای دیگر عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین را در غرب جاوه اندونزی مورد تحلیل قرار دادند. مطابق نتایج، ساختار سیمای سرزمین در این منطقه شامل اراضی زراعی دیم و آبی، مراتع و جنگل‌ها می‌باشد که در این میان اراضی جنگلی به دلیل بالاترین ارزش بوم‌شناختی، بیشترین تغییرات و ازهم‌گسیختگی را نشان می‌دهند. (Belote, Barnett, Zeller, Brennan, & Gage, 2022)، به بررسی اتصالات بوم‌شناختی محلی و منطقه‌ای در سراسر آمریکای شمالی پرداختند. نتایج به دست آمده فرضیه‌ها و پیش‌بینی‌های جایگزین را در مورد چگونگی حرکت گونه‌ها در پاسخ به میزان تغییرات مختلف انسانی در زیستگاه را نشان می‌دهند. همچنین اهمیت قطعات کوچک و جدا شده از زمین‌های نسبتاً طبیعی را برجسته کرده، و به‌طور هم‌زمان مناطق وسیعی را که برای حفظ ارتباط و پیوستگی در مناطق طبیعی آمریکای شمالی مهم هستند، شناسایی می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر(Gulcin, 2022)، به ارزیابی تجربی رابطه بین پیوستگی بوم‌شناختی و پیچیدگی سرزمین بر اساس متریک‌های نظری اطلاعات پرداخت. نتایج نشان داد که تمامی متریک‌های موردبررسی از نظر آماری برای مدل‌سازی پیوستگی بوم‌شناختی معنی‌دار می‌باشند و ازاین‌رو شاخص عملکرد بوم‌شناختی برای بهبود مدل‌های پیوستگی و ارزیابی عملکرد بوم‌شناختی از اهمیت بالایی برخوردار است.

مطابق مطالعات صورت گرفته ارزیابی عملکرد بوم‌شناختی به‌منظور کنترل از هم گسیختی و حفظ ارتباط زیستگاه در برابر تغییرات به وقوع پیوسته (مخاطرات محیطی و انسانی)، امری ضروری است. بر این اساس، در مطالعه حاضر به‌منظور احیاء و حفاظت از گذرگاه‌های جریان ماده، انرژی و اطلاعات و با بهره‌گیری از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین به ارزیابی عملکرد و تغییرات پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین در

جنگل‌های مانگرو خمیر–قشم در طی یک دوره ۳۲ ساله (۲۰۲۱–۱۹۸۹) پرداخته شد. این مطالعه با شناسایی هم‌زمان عملکردهای بوم‌شناختی و اولویت‌بندی اثر موانع بر عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی، تکمیل‌کننده سایر مطالعاتی می‌باشد که تا کنون انجام شده است.

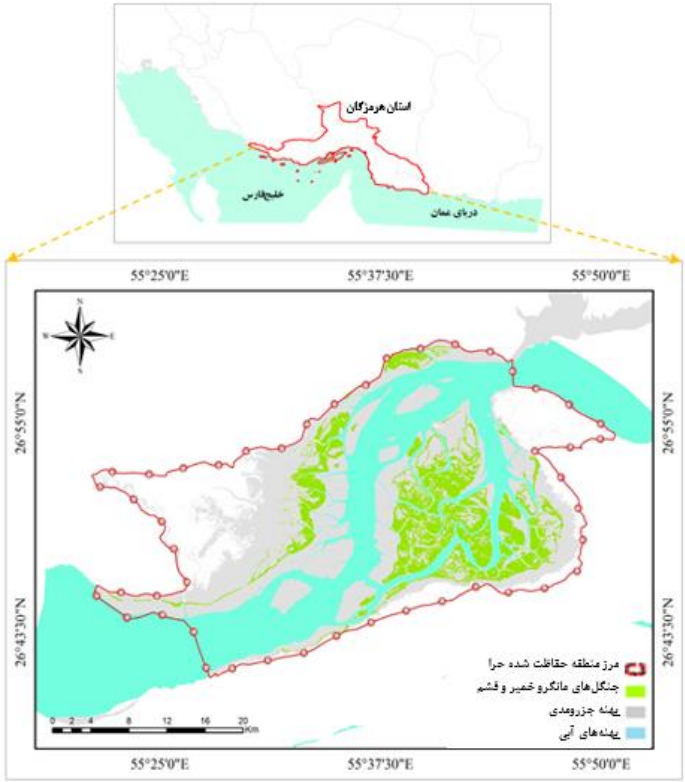
جنگل‌های مانگرو خمیر–قشم، از غنی‌ترین زیستگاه‌های تالابی به شمار می‌روند که دارای اهمیت و کارکردهای چند جانبه غیر قابل جانشین هستند. این جنگل‌ها در گذرگاه خشکی به دریا تحت تأثیر جزرومد قرار دارند و با سازگاری‌هایی که در مسیر تکامل خود کسب کرده‌اند قادرند در شرایط پر تنش و گاه غیر قابل‌تحمل گیاهان دیگر استقرار یابند (Giri, Pengra, Zhu, Singh, & Tieszen, 2007; Sobhani, & Danehkar 2024a). این اکوسیستم خشکی–آبی در کنار خدمات ارزنده محیط‌زیستی با توسعه بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی و همچنین بی‌توجهی جوامع محلی مواجه شده است. در این راستا ارزش‌های زیستگاهی، جاذبه‌های جنگل‌شناسی، غنای تنوع‌زیستی و به‌ویژه توان بالای گردشگری در جنگل‌های مانگرو کشور سبب شده است که در دو دهه اخیر بیشتر موردتوجه پژوهش‌گران، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران قرار گیرد. بر این اساس مطالعه حاضر با هدف شناسایی عملکردهای بوم‌شناختی و ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین در جنگل‌های مانگرو خمیر–قشم انجام گردید. ازاین‌رو عمده‌ترین سؤالات تحقیق عبارتند از: ۱) مهم‌ترین نواحی با عملکردهای بوم‌شناختی در جنگل‌های مانگرو خمیر–قشم کدامند؟ ۲) عملکردهای بوم‌شناختی و پیوستگی سیمای سرزمین در منطقه، در طی سال‌های موردمطالعه (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱) از چه وضعیتی برخوردار است؟

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

جنگل‌های مانگرو خمیر–قشم (منطقه حفاظت شده حرا)، به‌عنوان یکی از بوم‌سازگان‌های عمده گیاهی در حوزه خلیج‌فارس، با مساحتی بالغبر ۷۰۵۸/۱٦ هکتار و در کرانه ساحلی سه شهرستان خمیر، قشم و بندرلنگه توزیع شده‌اند. این منطقه با مختصات جغرافیایی ۲٦ درجه و ٤۳ دقیقه و ٤۷ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۰۱ دقیقه و ۰۲ ثانیه شمالی و ۵۵ درجه و ۲۳ دقیقه و ٤٦ ثانیه تا ۵۵ درجه و ٥٤ دقیقه و ۰۱ ثانیه شرقی به‌عنوان یکی از مناطق تحت حفاظت سازمان حفاظت محیط‌زیست و دربرگیرنده ٦ رویشگاه قابل‌تفکیک (پهل، مردو، خمیر–لشتغان، سایه خوش، ساحل قشم و خورخوران) می‌باشد. محدوده موردمطالعه، از نظر تنوع زیستی نیز یکی از کانون‌های مهم زیستی کشور در حوزه خلیج‌فارس محسوب می‌شود و از طرفی به دلیل برخورداری از جاذبه‌های گردشگری متعدد و همچنین غنای گونه‌ای بالا به‌عنوان یکی از مکان‌های پر تقاضای طبیعت‌گردی ساحلی شناخته شده است (Sobhani, & Danehkar 2023) علاوه براین، رویشگاه‌های مانگرو خمیر–قشم از نظر بوم‌شناختی، اقتصادی–اجتماعی و ارائه خدمات ارزشمند بوم‌سازگانی نقش بسیار مهمی را در مناطق

ساحلی ایفا می‌نمایند. ازاین‌رو، ارزیابی عملکرد و پایش تغییرات بوم‌شناختی در این رویشگاه‌ها به‌منظور مدیریت و بهبود در وضعیت حفاظتی آن‌ها امری ضروری است(Sobhani, & Danehkar 2023). در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی این منطقه نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

Fig.1. Geographic location of the study area

روش بررسی

در مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی عملکرد سیمای سرزمین به بررسی سه مؤلفه اصلی اعم از عملکرد بوم‌شناختی (EFA)[1]، شاخص اثر مانع (BEI)[2] و شاخص پیوستگی بوم‌شناختی (ECI)[3] پرداخته شد. بدین منظور نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی موجود در محدوده موردمطالعه، به‌عنوان نواحی با عملکرد بوم‌شناختی معرفی شدند و همچنین شاخص‌های اثر مانع و پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین نیز با استفاده از مدل‌سازی ریاضی در نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی گردید.

شناسایی عملکردهای بوم‌شناختی

[1] - Ecological Functional Areas
[2] - Barrier Effect Index
[3] - Ecological Connectivity Index

در این مطالعه به شناسایی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی پرداخته شد و نواحی طبیعی و غیرطبیعی که می‌توانند نقش گذرگاه بوم‌شناختی را داشته باشند، شناسایی شد؛ به‌عبارت‌دیگر نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی به نواحی از سرزمین گفته می‌شود که با هدف این که گونه‌های جانوری بدون مزاحمت یا با مزاحمت کمتر امکان گذر از آن را داشته باشند تعیین می‌گردد. بر این اساس به‌منظور نقشه‌سازی نواحی دارای عملکرد بوم‌شناختی، از دو معیار کمی شامل حداقل مساحت (۲۵ تا ۲۰۰ هکتار) با توجه به مقیاس نقشه، مرور منابع مطالعاتی (Virgós, Tellería, & Santos, 2002; Mallarach, & Marull, 2006)، نظر کارشناسان بوم‌شناسی، مبنی بر این که هیچ‌گونه روش خاصی برای برآورد حجم نمونه در این گروه‌های آماری وجود ندارد، از ۳۵ نفر از اساتید دانشگاهی و کارشناسان سازمانی متخصص در این زمینه نظرسنجی گردید و همچنین در نظر گرفتن حداقل ۳۰ درصد از طبقات تعیین شده، استفاده شد.

مطابق جدول ۱، از بین طبقات کاربری پوشش/اراضی به تفکیک عملکردهای بوم‌شناختی و موانع اثر اقدام گردید. لازم به ذکر است که مطابق با مطالعه (Sobhani, & Danehkar 2024b). طبقات پوشش/کاربری اراضی در طی یک دوره ۳۲ ساله (سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۱) موردمطالعه قرار گرفته است و در مطالعه حاضر نیز به ارزیابی عملکردهای بوم‌شناختی، اثر موانع و پیوستگی بوم‌شناختی در طی این سال‌ها پرداخته شده است.

بر این اساس کاربری‌هایی که در جدول ۲، نمایش داده شده‌اند به‌عنوان عملکردهای بوم‌شناختی و سایر کاربری‌های اراضی که در این جدول، طبقه‌بندی نشده است به‌عنوان نواحی ازهم‌گسیخته در نظر گرفته شد، بدین معنی که این نواحی فاقد عملکرد بوم‌شناختی در سیمای سرزمین می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۲، قابل‌مشاهده است با توجه به نظر کارشناسان بوم‌شناسی سیمای سرزمین، جنگل‌ها با مساحت کمتر از ۵۰ هکتار، مراتع با مساحت کمتر از ۱۰۰ هکتار، و اراضی زراعی و باغی با مساحت کمتر از ۵۰ هکتار نمی‌توانند در عملکرد بوم‌شناختی و در مقیاس سیمای سرزمین نقش داشته باشند (Darvishi, Mobarghaee Dinan, Barghjelveh, & Yousefi, 2020). ازآنجایی‌که در محدوده موردمطالعه، جنگل‌های مانگرو تنها گونه گیاهی غالب منطقه می‌باشد؛ ازاین‌رو به بررسی اراضی جنگلی در طبقه ۲ پرداخته شد.

جدول ۱- طبقات پوشش/کاربری اراضی در محدوده موردمطالعه (سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۱)

سال	مساحت			
	۱۹۸۹		۲۰۲۱	
طبقات	هکتار	درصد	هکتار	درصد
جنگل‌های مانگرو	۷۷۰۹	۸/۹۳	۷۰۱۲	۸/۱۲
پهنه جزر و مدی	۳۵۸۸۷	٤۱/٦۰	۳۹۰۲۳	٤٥/۲۳
اراضی لخت	۱٥۲۲٤	۱۷/٦٤	۱۷۲۸۷	۲۰/۰٤
پهنه‌های آبی	۲۷٤۳٦	۳۱/۸۰	۲۲۹۳٤	۲٦/٥۸
جمع کل	**۸٦۲٥۸**	**۱۰۰**	**۸٦۲٥۸**	**۱۰۰**

Table1- Land cover/use classes in the study area (years 1989-2021)

جدول ۲- حداقل مساحت کاربری پوشش/اراضی با عملکرد بوم‌شناختی

ردیف	طبقات کاربری‌های اراضی	مساحت (هکتار)
۱	اراضی زراعی و باغی	≥ ٥۰
۲	اراضی جنگلی	≥ ٥۰
۳	اراضی مرتعی	≥ ۱۰۰

Table2- Minimum area of land cover/use with ecological function

رتبه‌بندی شاخص اثر موانع

موانع به کاربری‌های ساخت بشر که در جریان ماده، انرژی و اطلاعات مقاومت می‌کنند، اطلاق می‌شود (Casalegno, Anderson, Cox, Hancock, & Gaston, 2017)؛ بنابراین در این مطالعه پهنه‌های آبی (رودخانه‌ها، خورها و...) علاوه بر عملکرد انتقال دهندگی، به‌عنوان موانع طبیعی و همچنین مقاومت سیمای سرزمین شناخته و لحاظ شدند. در این راستا به‌منظور محاسبه اثر موانع، از رابطه ۱ که توسط دوپراس و همکاران پیشنهاد شده است، استفاده گردید (Dupras, et al., 2016).

رابطه ۱

$$BEL = \frac{Ys}{Y_{max}}$$

در این رابطه Ys اثر مانع در واحد تحلیلی (پیکسل) و Ymax حداکثر اثر مانع در سیمای سرزمین می‌باشد. ازاین‌رو شاخص اثر مانع، بر اساس وزن هر مانع در جدول ۳ و ضرایب $Ks1^a$ و $Ks2^a$ نیز مطابق با همین جدول مشخص می‌شود که نشان‌دهنده میزان کاهش اثر با افزایش فاصله از مانع است. ازاین‌رو فاصله اثر، حداکثر فاصله‌ای را که هر یک از موانع می‌توانند در کاربری پوشش/ اراضی نفوذ نمایند را نشان می‌دهد

(فورمن[1]، ۲۰۰۰). به‌بیان‌دیگر سطوح کاربری اراضی ازجمله موانع و لکه‌های زیستگاهی در برابر نفوذ موانع مقاومت می‌کنند که فاصله اثر، این مقدار نفوذ را در هر یک از انواع کاربری پوشش/ اراضی مشخص می‌نماید. این مدل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از تحلیل فاصله- هزینه، استخراج می‌گردد که در این مدل موانع اصلی مطابق با جدول ۳ و سطوح مقاومت بر اساس جدول ٤، مشخص می‌شود.

جدول ۳- ویژگی‌های موانع اساسی

ردیف	نوع مانع	وزن (b_s)	Ks_1[a]	Ks_2[a]
۱	پهنه‌های آبی (رودخانه‌ها، چشمه‌ها و دریاچه‌ها)	b_1 =۵۰	-	-
۲	راه‌های ارتباطی اصلی (جاده‌ها، بزرگراه‌ها و اتوبان‌ها)	b_2 =۸۰	$K2_1$= ۲۲/۲۱۰	$K2_2$= ۰/۱۲۳
۳	اراضی ساخته شده (نواحی مسکونی، صنعتی و تجاری)	b_3 =۱۰۰	$K3_1$= ۳۳/۳۱۰	$K3_2$= ۰/۰٦۳

منبع: مارول و مالاراک، ۲۰۰٦.

Table3- Characteristics of major barriers

این مدل، ترکیبی از روش فازی و سطوح مقاومت می‌باشد که با افزایش فاصله، اثر مانع کاهش می‌یابد. در رابطه ۲، نحوه محاسبه اثر مانع در هر واحد پیکسل نشان داده شده است که برای هر یک از موانع ذکر شده مطابق با جدول ۳ محاسبه می‌شود:

$$Ys = bs - ks_1 \ln\left(ks_2\left(bs - ds\right) + 1\right)$$ رابطه ۲

در این رابطه bs وزن موانع، ks1 و ks2 ضرایب کاهش‌دهنده اثر موانع با افزایش فاصله در نرم‌افزار می‌باشند، که در جدول ٤، برای هر مانع تعریف شده است. ds هزینه- فاصله تعدیل شده هر یک از موانع می‌باشد که این فاکتور به فاصله‌ای از سطوح مقاومت اطلاق می‌شود که جریان ماده، انرژی و اطلاعات از سطح موردنظر را مشخص می‌نماید (Mallarach, & Marull, 2006)؛ به‌عبارت‌دیگر این مفهوم بیانگر فاصله‌ای از کاربری پوشش/ اراضی می‌باشد که ماده، انرژی و اطلاعات از آن کاربری و پوشش می‌توانند به آن دست یابند. در این جدول با توجه به این که پهنه‌های آبی اثر فضایی بر محیط اطرافشان ندارند، ازاین‌رو ضرایب کاهش‌دهنده اثر برای آن تعریف نشده است. علاوه بر این جهت محاسبه اثر مانع کل می‌توان با تجمیع نقشه‌های تولید شده از رابطه ۲ استفاده نمود. محاسبه مستقل هر یک از اثر موانع به دلیل اهمیت بالای برخی از موانع ازجمله آزادراه،

[1] - Forman

راه‌آهن و نواحی مسکونی می‌باشد، که با تجمیع نقشه‌های موانع مختلف، به‌نوعی اثر تجمعی موانع در سیمای سرزمین محاسبه می‌گردد، بر این اساس اثر موانع یک شاخص نسبی است که برای هر منطقه در مقیاس ۱ تا ۱۰ نمایش داده می‌شود. ازاین‌رو مطابق با جدول ۵، اثر موانع با توجه به شاخص‌های عددی و نوع اثر موانع موجود، در سیمای سرزمین محدوده موردمطالعه محاسبه گردید.

جدول ٤- ماتریس اثر برای محاسبه شاخص اثر مانع

ردیف	سطوح مقاومت	فاصله اثر	ضریب اثر ($A_n= b_3/a_n$)
۱	مراتع (پرتراکم و کم تراکم)، اراضی زراعی و باغی، اراضی بایر	a_1 = ۱۰۰۰m	A_1= ۰/۱۰
۲	جنگل	a_2 = ۵۰۰m	A_2= ۰/۲۰
۳	پهنه‌های آبی، راه‌های ارتباطی اصلی، اراضی ساخته شده	a_3 = ۲۵۰m	A_3= ۰/٤۰
٤	گذرگاه	a_4 = ۱m	A_4= ۱۰۰

منبع: مارول و مالاراک، ۲۰۰٦، دوپراس و همکاران، ۲۰۱٦.

Table4- Effect matrix for calculating barrier effect index

جدول ۵- رتبه‌بندی اثر موانع اساسی در سیمای سرزمین

شاخص اثر موانع	اثر	نوع موانع
صفر	بدون اثر	فاقد موانع انسان‌ساخت؛ جریان آزادانه ماده، انرژی و اطلاعات
۱ و ۲	اثر کم	موانع کوچک و غیر متراکم مانند کشاورزی‌های کوچک و محلی
۳ و ٤	اثر متوسط	شبکه ارتباطی ثانویه و نواحی مسکونی پراکنده مانند نواحی روستایی
۵ و ٦	اثر زیاد	شبکه ارتباطی اصلی و نواحی مسکونی شهری پراکنده
۷ و ۸	اثر خیلی زیاد	هم‌افزایی نواحی شهری و شبکه ارتباطی درجه‌یک
۹ و ۱۰	اثر بحرانی	هم‌افزایی نواحی شهری متمرکز و شبکه ارتباطی درجه‌یک

منبع: درویشی و همکاران، ۱۳۹۹.

Table5- Ranking of major barriers in the landscape

ارزیابی شاخص پیوستگی بوم‌شناختی

ماتریس همبستگی شامل پتانسیل همبستگی بین انواع مختلف نواحی عملکردی بوم‌شناختی و طبقات کاربری پوشش/ اراضی می‌باشند که با نظرات کارشناسی و تجربی تهیه می‌گردد(Dupras, et al., 2016). کاربرد ماتریس همبستگی در نواحی می‌باشد که اثر موانع حداقل است، و این ماتریس نقش اصلی را در ایجاد تغییر ایفا می‌نماید (Mallarach, & Marull, 2006). بر این اساس برای اجرای مدل پیوستگی بوم‌شناختی، فاصله- هزینه تعدیل شده برای هر یک از نواحی عملکردی تعیین گردید. این فاکتور نشان‌دهنده فاصله اثر هر یک از نواحی عملکردی در سیمای سرزمین می‌باشد (Parcerisas, 2012)، که با تعیین فاصله-هزینه تعدیل شده می‌توان

هنگامی‌که چندین لایه با هم ادغام می‌شوند، از خطاهای احتمالی ایجاد شده پیشگیری نمود. این فاصله کاملاً به‌طور تجربی و با اجرای چندین باره مدل به دست می‌آید و برای هر منطقه بر اساس مقیاس مطالعه و تعداد نواحی عملکردی متفاوت است. درنهایت با استفاده از رابطه ۳ می‌توان ارزش فاصله- هزینه کل را برای تمامی نواحی عملکردی استفاده نمود.

$$X = a_{\circ} + \sum_{r=1}^{r=n} dr'$$ رابطه ۳

به‌منظور محاسبه شاخص پیوستگی بوم‌شناختی سیمای سرزمین، ابتدا شاخص پایه (ECIb) با استفاده از رابطه ٤ محاسبه گردید. این شاخص برای محاسبه پیوستگی بوم‌شناختی نواحی جغرافیایی مختلف و یا نواحی عملکردی کاربرد دارد و برای هر یک از نواحی به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود و به‌عبارت‌دیگر این شاخص یک شاخص موضوعی برای نواحی عملکرد بوم‌شناختی محسوب می‌گردد.

$$ECIB = 10 - 9\frac{\ln(1+X_i)}{\ln(1+X_t)^3}$$ رابطه ٤

در این رابطه xi بیشترین ارزش فاصله- هزینه تعدیل شده و ECIb شاخص پیوستگی پایه می‌باشد، که بعد از محاسبه آن می‌توان ECIa شاخص مطلق را با استفاده از رابطه ۵ محاسبه نمود و نتایج کمی آن را در مقیاس ۱ تا ۱۰ و به‌صورت اعداد صحیح نمایش داد. ازاین‌رو می‌توان از آن برای مقایسه مناطق مختلف و یا حتی یک منطقه در طول یک دوره زمانی استفاده نمود و به‌عبارت‌دیگر این شاخص، مجموع شاخص‌های محاسبه شده پایه برای نواحی عملکردی می‌باشد.

$$ECI_a = \sum_{m=1}^{m=n} ECI_b / m$$ رابطه ۵

در این رابطه m تعداد نواحی عملکرد بوم‌شناختی است که ارزش‌های این شاخص هدفمند بوده و در برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، به‌ویژه برای حفاظت و مدیریت تنوع زیستی در مقیاس سیمای سرزمین قابل استفاده می‌باشد (مارول و همکاران، ۲۰۱۸).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پراکندگی عملکردهای بوم‌شناختی در محدوده موردمطالعه

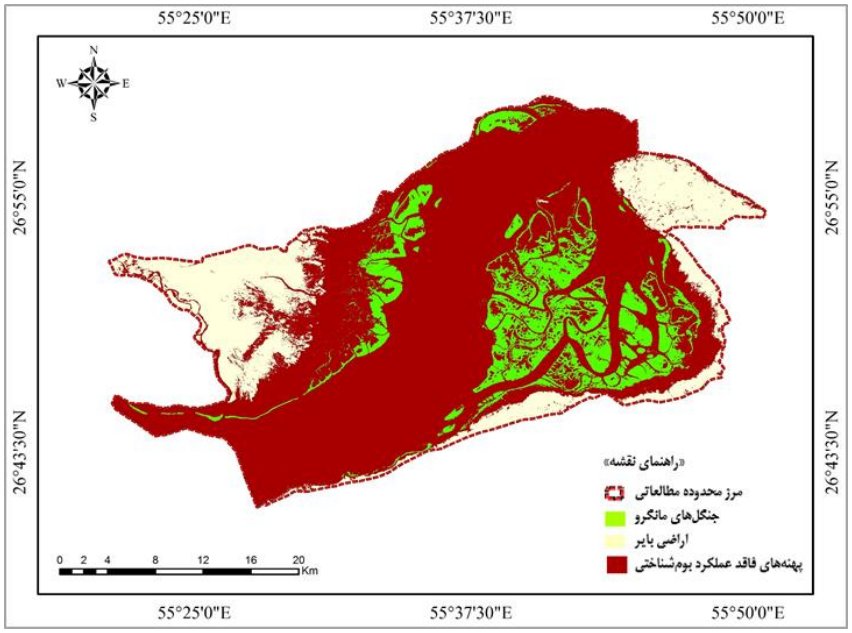
به‌منظور بررسی عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین به‌عنوان یکی از سه اصل پایه در مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین، به تهیه ماتریسی بر اساس پتانسیل همبستگی در بین نواحی مختلف با عملکرد بوم‌شناختی و طبقات پوشش/کاربری اراضی بر اساس نظرات کارشناسی و تجربی پرداخته شد (جدول ٦). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد عملکردهای بوم‌شناختی در جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم شامل اراضی جنگلی و اراضی

بایر است و همچنین موانع موجود در این منطقه مربوط به پهنه جزر و مدی و پهنه‌های آبی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، در محدوده موردمطالعه حدود ۳۰ درصد از زیستگاه‌های طبیعی و غیرطبیعی از نواحی با عملکرد بوم‌شناختی کاربری پوشش/اراضی تشکیل شده است و در مقابل ۷۰ درصد از منطقه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر موانع بوم‌شناختی می‌باشد. همچنین در این منطقه اراضی بایر با ۲۰/۰٤ درصد بیش‌ترین نقش را در پیوستگی زیستگاهی ایفا می‌کند و جنگل‌های مانگرو با ۸/۱۲ درصد در رتبه بعدی قرار گرفته است. براین‌اساس با توجه به عملکردهای بوم‌شناختی و موانع موجود، بیشترین وسعت از جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم تحت تأثیر موانع بوم‌شناختی می‌باشند که از دلایل آن می‌توان به توسعه فعالیت‌های انسانی، کاهش اراضی جنگلی و پیشروی پهنه‌های آبی و جزر و مدی در منطقه اشاره نمود. در این راستا در مطالعه (Yaghoubzadeh, Salmanmahiny, Mikaeili Tabrizi, Danehkar, & Moslehi, 2021) نیز به این نتایج اشاره شده است، که جنگل‌های مانگرو تحت تأثیر اسکله‌های تجاری و گردشگری به‌عنوان موانع اصلی بوم‌شناختی در منطقه می‌باشند و بدین ترتیب میزان عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی این رویشگاه‌ها به دلیل توسعه فعالیت‌های انسانی کاهش یافته است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر ازجمله (Erfanifard & Lotfi Nasirabad, 2022) به ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی جنگل‌های مانگرو پرداختند و نتایج به دست آمده حاکی از روند افزایشی تغییرات این جنگل‌ها تحت تأثیر توسعه موانع بوم‌شناختی به‌ویژه فعالیت‌های انسانی می‌باشد. (Safari, Mafi Gholami, & Mahmoodi, 2019)، بیان کردند که توسعه راهبردهای مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر برای حفاظت و احیاء اکوسیستم‌های مانگرو نیازمند پایش تغییرات ساختاری مانگروها در طول زمان به‌عنوان یک شاخص کارآمد در ارزیابی آسیب‌پذیری و پیوستگی بوم‌شناختی در منطقه می‌باشد. نتایج مطالعات (Mansouri, Badeh, Ghobad, & Malek, 2021) نیز نشان داد که وجود کاربری‌های ناسازگار مهم‌ترین تهدیدات برای اکوسیستم‌های جنگلی و به‌خصوص تنوع زیستی آن‌ها به شمار می‌رود. ازاین‌رو لزوم برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های بازسازی اراضی و حمایت از اکوسیستم‌های طبیعی تأکید می‌گردد.

جدول ٦- ماتریس همبستگی در محدوده موردمطالعه

عملکرد/موانع	طبقات	جنگل‌های مانگرو	اراضی بایر
عملکردهای بوم‌شناختی	جنگل‌های مانگرو	۰	۰/۵
	اراضی بایر	۰/۷	۰
موانع	پهنه جزر و مدی	۱	۱
	پهنه‌های آبی	۰/۸	۰/۸

Table6- Correlation matrix in the study area



شکل ۲- نقشه پراکندگی نواحی با عملکردهای بوم‌شناختی در محدوده موردمطالعه

Fig.2. Distribution of areas map with ecological functions in the study area

۳-۲- بررسی عملکرد بوم‌شناختی، اثر موانع و پیوستگی سیمای سرزمین

مطابق جدول ۷ و شکل ۳، در این بخش به بررسی عملکردهای بوم‌شناختی، اثر موانع و پیوستگی بوم‌شناختی پرداخته شد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی در منطقه کاهش، و در مقابل اثر موانع از روند افزایشی برخوردار بوده است. بدین ترتیب بیشترین مقدار به عملکرد بوم‌شناختی با ٦۳/۳۲ درصد، پیوستگی بوم‌شناختی با ٥٤/٤۱ درصد و اثر موانع با ۲۰/۱۱ درصد اختصاص یافته است که در این میان بیشترین کاهش مربوط به پیوستگی بوم‌شناختی با اختلاف ۱۳/۱۱ درصد در بین سال‌های موردمطالعه می‌باشد. براین‌اساس با توجه به عملکردهای بوم‌شناختی و موانع موجود، بیشترین وسعت از جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم تحت تأثیر موانع بوم‌شناختی می‌باشند که از دلایل آن می‌توان به توسعه فعالیت‌های انسانی، کاهش اراضی جنگلی و پیشروی پهنه‌های آبی و جزر و مدی در منطقه اشاره نمود. این نتایج در مطالعه (Erfanifard & Lotfi Nasirabad, 2022)، نیز مورد تائید قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از روند کاهشی جنگل‌های مانگرو در طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۰ به دلیل توسعه موانع انسانی در منطقه می‌باشد. همچنین در مطالعه (Mafi Gholami, Baharlouii, & Mahmoudi, 2018) به نرخ پیشروی و پسروی در جنگل‌های مانگرو خمیر-قشم به دلیل مخاطرات محیطی ازجمله فرسایش و رسوب‌گذاری اشاره شده است که این نتایج حاکی از نقش مخاطرات محیطی به‌عنوان یکی دیگر از موانع بوم‌شناختی در کاهش عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی در این منطقه می‌باشد. در این راستا (Darvishi, Fakheran, Soffianian, & Ghorbani,

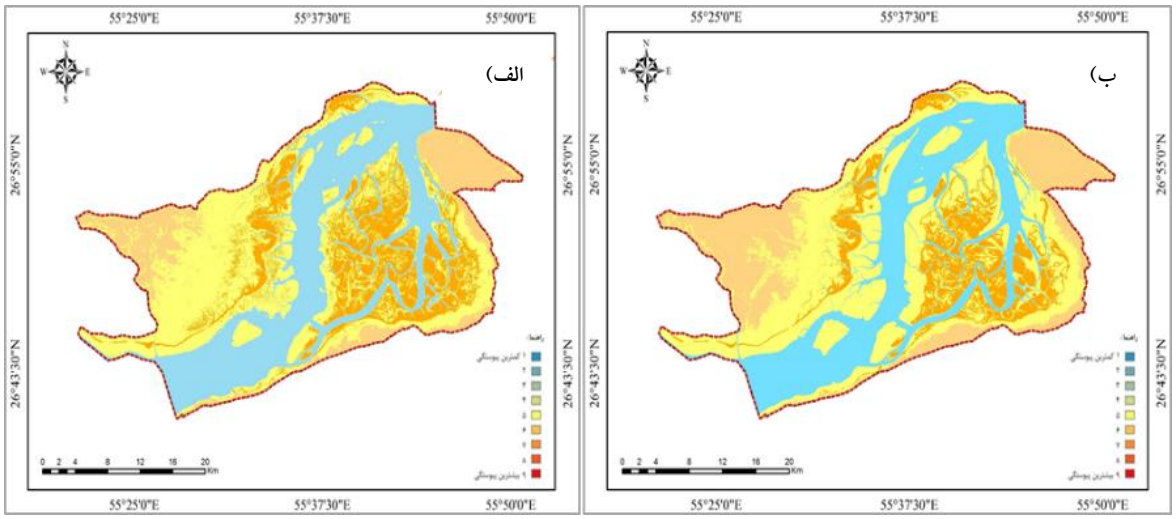
(2015، بیان کردند که تکه‌تکه شدن زیستگاه در مقیاس سیمای سرزمین، مهم‌ترین فاکتور در توزیع اکوسیستم‌ها، به‌ویژه اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشد. ازاین‌رو لزوم برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های بازسازی اراضی و حمایت از اکوسیستم‌های طبیعی تأکید می‌گردد.

مطابق شکل ۳، بیشترین پیوستگی بوم‌شناختی در این منطقه، مربوط به نواحی می‌باشد که از تراکم و درجه انبوهی بالایی از جنگل‌های مانگرو برخوردار هستند. در این مناطق به دلیل محدودیت‌های حفاظتی و حساسیت‌های زیستی در توسعه فعالیت‌های انسانی منجر به حفظ عملکردهای بوم‌شناختی و درنتیجه بالا بودن سطح پیوستگی در منطقه شده است.

جدول ۷- درصد عملکردهای بوم‌شناختی، اثر موانع و پیوستگی بوم‌شناختی

عملکردهای بوم‌شناختی		اثر موانع		پیوستگی بوم‌شناختی	
سال					
۱۹۸۹	۲۰۲۱	۱۹۸۹	۲۰۲۱	۱۹۸۹	۲۰۲۱
۷۵/٤٦	٦۳/۳۲	۱۲/۳۷	۲۰/۱۱	٦۷/۵۲	۵٤/٤۱

Table7- Percentage of ecological functions, barrier effects, and ecological connectivity



شکل ۳- نقشه وضعیت پیوستگی زیستگاه در محدوده موردمطالعه:

الف) ۱۹۸۹، ب) ۲۰۲۱

Fig.3. Map of habitat connectivity status in the study area: a) 1989, b) 2021

نتیجه‌گیری

ازهم‌گسیختگی و کاهش عملکرد بوم‌شناختی در زیستگاه‌های جنگلی یکی از تهدیدهای مهم برای حفاظت از این ذخایر ارزشمند طبیعی می‌باشد؛ بنابراین احیای اتصالات و حفظ کریدورها در بین لکه‌های زیستگاهی، راهبردهای مؤثری برای کنترل تکه‌تکه شدن و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد که این امر مستلزم شناسایی عملکردهای بوم‌شناختی و موانع پیوستگی در منطقه است. ازاین‌رو بررسی پیوستگی و عملکرد بوم‌شناختی در مقیاس سیمای سرزمین می‌تواند در اجرای مدیریت مؤثر منطقه نقش بسیار مهمی داشته باشد.

با توجه به این‌که اکوسیستم‌های مانگرو همواره در معرض تهدیدهای ناشی از فعالیت‌های انسانی و مخاطرات طبیعی می‌باشند، انجام برنامه‌ریزی و فراهم کردن ابزارهای مناسب برای کاهش اثرات این تهدیدها امری ضروری است. با توجه به نتایج به دست آمده ارزیابی عملکرد و پیوستگی بوم‌شناختی می‌تواند امکان تحلیل اصولی از فعالیت‌های توسعه‌ای برای افزایش رفاه انسانی را از طریق حفظ پیوستگی زیستگاه و افزایش پایداری اکوسیستم‌ها فراهم نماید. همچنین نتایج این مطالعه به‌عنوان یک راهکار مدیریتی می‌تواند به حفاظت و برنامه‌ریزی صحیح در راستای توسعه فعالیت‌های انسانی و به دنبال آن مخاطرات و پیامدهای محیطی کمک کند.

قدردانی و تشکر

این مقاله با همکاری و مساعدت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)، برگرفته شده از طرح شماره ٤۰۰۵۹۷۲ به انجام رسیده است.

References

Aburas, M.M., Sabrina, A., Ramli, H., Firuz, M., & Ashaari, Z.H. (2016). Landscape Analysis of Urban Growth Patterns in Seremban, Malaysia, Using Spatio-Temporal Data. Conference or Workshop Item. https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012055

Aksu, G. A., Tağıl, S., Musaoğlu, N., Canatanoğlu, E. S., & Uzun, A. (2022). Landscape Ecological Evaluation of Cultural Patterns for the Istanbul Urban Landscape. *Sustainability*, 14 (23), 1630. https://doi.org/10.3390/su142316030

Almasieh, K., & Kaboli, M. (2019). Assessment of Landscape Connectivity and Prediction of Migration Corridors for the Baluchistan Black Bear (Ursus Thibetanus Gedrosianus Blanford, 1877) in the Southeastern Habitats, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8 (1), 33-45. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/ijae.8.1.33

Belote, R. T., Barnett, K., Zeller, K., Brennan, A., & Gage, J. (2022). Examining Local and Regional Ecological Connectivity Throughout North America. *Landscape Ecology*, 37, 2977–2990. https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-022-01530-9

Casalegno, S., Anderson, K., Cox, D. T., Hancock, S., & Gaston, K. J. (2017). Ecological Connectivity in the Three-Dimensional Urban Green Volume Using Waveform Airborne Lidar. *Scientific Reports*, 7, 45571. https://doi.org/10.1038/srep45571

Chehrazar, Y., Chehrazar, F., & Amiri, M. J. (2021). Investigation and Comparison of Urban Growth Effects on Landscape of 4 and 9 Areas of Karaj to Revise the Settlement Planning Process. *Environment and Interdisciplinary Development*, 6(71), 25-40.[In Persian]. https://doi.org/10.22034/envj.2021.180149

Darvishi, A., Fakheran, S., Soffianian, A., & Ghorbani, M. (2015). Change Detection and Land Use/Cover Dynamics in the Arasbaran Biosphere Reserve. *Journal of Natural Environment*, *68*(4), 559-572. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jne.2015.56929

Darvishi, A., Mobarghaee Dinan N., Barghjelveh, S., & Yousefi, M. (2020). Assessment and Spatial Planning of Landscape Ecological Connectivity for Biodiversity Management (Case Study: Qazvin Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9 (1), 15-29 [In Persian]. https://doi.org/10.47176/ijae.9.1.4182

Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard M., & Tello, E. (2016). The Impacts of Urban Sprawl on Ecological Connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, 58, 61-73. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.005

Erfanifard, Y., & Lotfi Nasirabad, M. (2022). Efficiency of Mangrove Indices in Mapping Some Mangrove Forests Using Landsat 8 Imagery in Southern Iran. 13(4), 68 – 86. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.4.4.8

Erfanifard, Y., Lotfi Nasirabad, M., & Sterenczak, K. (2022). Assessment of Iran's Mangrove Forest Dynamics (1990–2020) Using Landsat Time Series. *Remote Sens*, 14, 4912. https://doi.org/10.3390/rs14194912

Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., & Tieszen, L.(2007). Monitoring Mangrove Forest Dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India Using Multi-Temporal Satellite Data from 1973 to 2000. Estuar., Coast. Shelf Sci. 73 (1–2), 91–100. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.019

Gulcin, D. (2022). Empirical Assessment of the Relation Between Ecological Connectivity and Land Complexity Based on Information-Theoretic Metrics. *Ecological Complexity*, 48, 100969. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100969

Huang, X., Ye, Y., Zhao, X., Guo, X., & Ding, H. (2022). Identification and Stability Analysis of Critical Ecological Land: Case Study of a Hilly County in Southern China. *Ecological Indicators*, 141, 109091. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109091

Mafi Gholami, D., Baharlouii, M., & Mahmoudi, B. (2018). Erosion and accretion monitoring in mangrove forests using remote sensing and Digital Shoreline Analysis System (DSAS)(Case study: Hara Biosphere reserve). *Journal of Environmental Studies*, *43*(4), 633-646. [In Persian]. https://doi.org/ 10.22059/jes.2018.225288.1007381

Makki, T., Fakheran, S., Moradi, H., Iravani, M., & Farahmand, M. (2013). Ecological Impact Assessment of Isfahan's West Ringway on Ghamishloo Wildlife Refuge Using Habitat Evaluation Procedure (HEP). *Iranian Journal of Applied Ecology*; 1(2), 39-52. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763128.1391.1.2.4.8

Melhosseini Darani, K., Mortazavi, S. Hosseini, Mohsen, , Shayesteh, K. & Falahatkar, S. (2021). Quantification Visual Criteria of Land Cover Using Landscape Metrics (Case Study: Tonekabon Forests of Dohezar-Sehezar). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10), 119-132. [In Persian]. https://sanad.iau.ir/en/journal/jest/Article/837321

Mallarach, J. M., & Marull, J. (2006). Impact assessment of ecological connectivity at the regional level: recent developments in the Barcelona Metropolitan Area. Impact Assessment and Project Appraisal, 24 (2), 127-137. https://doi.org/10.3152/147154606781765228

Mansouri, M., Badeh, Z., Ghobad, M., & Malek, R. (2021). Application of Landscape Ecology Measures in Analysis and Quantification of Land Cover in Forest Ecosystems (Study Area: Dadabad Sub-Basin, Khorramabad City. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 9(18), 151-172. [In Persian]. https://pec.gonbad.ac.ir/article-1-704-en.html

Mehri, A., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A., Mirkarimi, S. H., & Sadoddin, A. (2018). Ecological impacts assessment of land use change on the natural structure of the Gharesoo Watershed. *Town and Country Planning*, *10*(1), 93-116. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jtcp.2018.221374.669635

Monteiro, E. C. S., Pizo, M. A., Vancine, M., & Ribeiro, M. C. (2021). Data from: Forest Cover and Connectivity Have Pervasive Effects on the Maintenance of Evolutionary Distinct Interactions in Seed Dispersal Networks. *Oikos*, 2022(2). https://doi.org/10.1111/oik.08240

Montis, A. D., Ganciu, A., Cabras, M., Bardi, A., & Mulas, M. (2019). Comparative Ecological Network Analysis: An Application to Italy. *Land Use Policy*, 81, 714–724. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.043

Naderi, M.H., Salarijazi, M., & Zakerinia, M. (2019). Aquatic of Ecosystem Management and Restoration Rivers. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 6(3), 719-737. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ije.2019.280480.1101

Naroei, B., Barghjelveh, S., Esmaeilzadeh, H., & Zebardast, L. (2022). Evaluating Spatial-Temporal Changes of Urban Green Infrastructure Using Decision Tree Algorithm of Spatial Processes - Case study: Tehran Landscape System. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(122), 167-188. [In Persian]. https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.254788

Panahandeh, M. (2018). Study of Habitat Loss and Fragmentation in Lisar Protected Area Based on Landscape Ecology Approach. *Journal of Environmental Research and Technology*, 4(3), 41-48. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.26763060.1397.3.4.6.4

Parcerisas, L. (2012). Cambios en los usos del suelo en El Maresme, provincia de Barcelona, (1850-2007), *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*.173, pp. 511-524.

Poodat, F., Arrowsmith, C., Mikaeili Tabrizi, A., Gordon, A. (2018). Application of Graph Theory in Landscape Ecology The Case Study: Assessment of Habitat Connectivity within

Greater Melbourne .*Iranian Journal of Applied Ecology*, 6 (4), 81-95, 6 (4), 81-95. http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763128.1396.6.4.5.8

Rahimi, E., & Salman Mahini, A. (2017). Identifying, Quantifying and Predicting of Landscape Patterns in Space and Time. *Environmental Researches*, *7*(14), 43-60. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089597.1395.7.14.5.2

Rostamvandi Zabrlou, A., Salehi, A., & Farzin, M. (2022). Determining the Extent of Land Degradation in the Dena Protected Area Between 2009 and 2017. *Journal of Natural Environment*, *74*(4), 677-693. [InPersian]. https://doi.org/10.22059/JNE.2022.334862.2342

Safari, J., Mafi Gholami, D., & Mahmoodi, B. (2019, August). *Spatial mapping of structural changes of mangroves using Landsat 8 satellite in Mangrove Biosphere Reserve*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd National Conference on the Natural Resources and Sustainable Development in Central Zagros(Iran), Shahrekord. [In Persian]. https://civilica.com/doc/941642/

Santiago-Ramos, J., & Feria-Toribio, J.M. (2021). Assessing the Affectiveness of Protected Areas Against Habitat Fragmentation and Loss: A Long-Term Multi-Scalar Analysis in a Mediterranean Region. *Journal for Nature Conservation*, 64, 126072. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126072

Shabani, N., Abarkar, M., Parivar, P., & Kouchekzadeh, M. (2011). Introducing and Applying Landscape Ecological Approach in City Scale (Case study: The City of Tehran). *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 12(4), 185-197. [In Persian]. https://www.magiran.com/paper/840390/

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2023). Evaluating and zoning of ecosystem services in mangrove forests of Khamir and Qeshm. *Town and Country Planning*, *15*(2), 275-292. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jtcp.2023.358990.670391

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2023). Natural Features and Management Areas of Khamir and Gheshm Mangrove Forests. *Iran Nature*, *8*(4), 97-112. [In Persian]. https://www.magiran.com/p2634778

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2024a). Presenting Scenarios for the Development of Sustainable Nature Tourism Tours with a Future Research Approach in the Mangrove Forests of Iran. *Journal of Tourism Planning and Development*, *13*(49), 93-120. [In Persian]. https://doi.org/10.48308/SDGE.2023.232851.1147

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2024b). The trend of land use changes and the level of ecological risk in the Hara Protected Area. *Sustainable Development of Geographical Environment*, *5*(9), 1-19.[In Persian]. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126072

Sobhani, P., P., Esmaeilzadeh, H., Barghjelveh, S., Sadeghi, S. M. M., & Marcu, M. V., (2021). Habitat Integrity in Protected Areas Threatened by LULC Changes and Fragmentation: A Case Study in Tehran Province, Iran. *Land*, 11(1), 6. [In Persian]. https://doi.org/10.3390/land11010006

Virgós, E., Tellería, J. L., Santos, T. (2002). A comparison on the response to forest fragmentation by medium-sized Iberian carnivores in central Spain. Biodiversity & Conservation, 11 (6), 1063-1079. https://doi.org/10.1023/A:1015856703786

Withaningsih, S., Parikesit, P., Malik, A. D., Rahmi, M. A. (2022). Analysis of the Structure and Ecological Function of an Extreme Landscape in a Tropical Region of West Java, Indonesia. *Forest*, 13(1), 115. https://doi.org/10.3390/f13010115

Wolf, I. D., Sobhani, P., Esmaeilzadeh, H. (2023). Assessing changes in Land Use/Land Cover and Ecological Risk to Conserve Protected Areas in Urban–Rural Contexts. *Land*, 12(1), 231. https://doi.org/10.3390/land12010231

Xie, H., Wang, P., & Huang, H. (2013). Ecological Risk Assessment of Land Use Change in the Poyang Lake Eco-economic Zone, China. *International Journal of Environmental Research* and *Public Health*, 10 (1), 328-346. https://doi.org/10.3390/ijerph10010328

Yaghoubzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A., Danehkar, A., & Moslehi, M. (2021). Prioritizing Environmental Hazards of Mangrove Forests in Hormozgan Province. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *10*(30), 69-82. [In Persian] https://doi.org/10.22111/jneh.2020.34699.1675

Yaghoubzadeh, M., Salmanmahiny, A., Moslehi, M., Danehkar, A., & Mikaeili Tabrizi, A. (2020). Investigation of port effects on vegetative and reproductive characteristics of grey mangrove (Avicennia marina (Forssk.) Vierh.) of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *28*(3), 244-256. [In Persian]. https//doi.org/10.22092/ijfpr.2020.342904.1930

Zhang, L.Q., Peng, J., Liu, Y. X., & Wu, J.S. (2017). Coupling Ecosystem Services Supply and Human Ecological Demand to Identify Landscape Ecological Security Pattern: A Case Study in Beijing-Tianjin-Hebei Region China. Urban. *Ecosystem*, 20 (3), 701–714. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0629-y

Zou, T., Zhang, J., Yoshino, K., 2016. Ecological Risk Assessment of Land Use Change in the Northeast China: A Case Study of Linjiang Area. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(4), 312-315. https://doi.org/10.7763/IJESD.2016.V7.790

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.65-91 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82202.1359 Open access

Flood risk assessment using fuzzy logic and HEC-HMS model in Ojan Chay watershed, Northwest of Iran

Marziyeh Esmaeilpour*

Associate professor in Climatology, University of Maragheh,, Maragheh, Iran

Received: 3 May 2023 ***Revised: 23 May 2023*** ***Accepted: 1 June 2023***

Abstract

In the current study the flood risk in the Ojan Chay basin, which is situated in the province of East Azarbaijan, Bostan-Abad, was assessed. 16 spatial variables influencing the probability of flooding were taken into account, integrated, and examined using fuzzy logic within the geographic information system framework in order to extract the risk map. The application of the fuzzy gamma operator to the overlapping thematic maps revealed that about 4.8% of the basin's area falls into the high risk category. A considerable portion of these areas match the basin's major river beds and the surrounding terrain. The class with high risk is also located mostly in the vicinity of the mentioned class and includes more than 16.6% of the area of the study area. Floods with a ten-year or longer return period may damage these areas. In the high risk class, there are roughly 2.3% of residential areas with an area of 11.1 hectares. However approximately 42.9% with an area of 35.9 hectares are located in the high risk class. The HEC-HMS model was employed in the second phase of the study to simulate rainfall-runoff and pinpoint sub-basins with high potential for runoff generation. The findings demonstrated that geomorphometric features and land cover have a significant impact on the flood hydrograph of the sub-basins and the basin's output. High slope, low permeability, a high concentration of rocky outcrops, impermeable surfaces, and the least amount of protective cover are the characteristics of sub-basins that exhibit high peaks. The upstream sub-basins with the highest peak discharge are 1, 3, 7, 11, and 12.

Keywords: Flood risk assessment, Flood hazard mapping,Geographic Information System (GIS), HEC-HMS model, Ojan Chay basin, Northwest Iran

* . Email:m.esmaeilpour@maragheh.ac.ir Tel:+989144215674

How to cite this Article: Esmaeilpour, M. (2024). Flood risk assessment using fuzzy logic and HEC-HMS: The case of Ojan Chay. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 65-91.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۹۱-۶۵ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82202.1359 دسترسی آزاد

ارزیابی خطر سیلاب در حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از منطق فازی و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

مرضیه اسمعیل پور[1] - دانشیار اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۲/۱۳ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۳/۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۱۱

چکیده

در پژوهش حاضر خطر سیلاب در سطح حوضه اوجان‌چای، واقع در شهرستان بستان‌آباد استان آذربایجان شرقی، ارزیابی شد. برای تهیه نقشه خطر تعداد ۱۶ متغیر مکانی تأثیرگذار بر وقوع سیلاب موردتوجه قرار گرفته و در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از منطق فازی ترکیب و تحلیل شدند. نتایج همپوشانی با کاربست اپراتور گامای فازی نشان داد بالغ بر ۴/۸ درصد از مساحت حوضه در کلاس با خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. بخش قابل‌توجهی از این پهنه‌ها منطبق بر بستر رودخانه-های اصلی حوضه و اراضی پیرامون آن‌هاست. کلاس با خطرپذیری زیاد نیز عمدتاً در مجاورت کلاس مذکور قرار گرفته و بالغ بر ۱۶/۶ درصد مساحت حوضه مطالعاتی را شامل می‌شود. این پهنه‌ها می‌توانند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ سال و بالاتر تحت تأثیر قرار گیرند. حدود ۳/۲ درصد از مناطق مسکونی با مساحتی بالغ ۱۱/۱ هکتار در کلاس با خطرپذیری بسیار زیاد و حدود ۴۲/۹ درصد با مساحتی بالغ بر ۳۵/۹ هکتار در کلاس با خطرپذیری زیاد واقع شده‌اند. در بخش دوم تحقیق از مدل HEC-HMS به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب و شناسایی زیرحوضه‌های با پتانسیل تولید رواناب بالا استفاده شد. نتایج نشان داد هیدروگراف سیلاب زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های ژئومورفومتری و پوشش زمین است. پیک‌های بالا در زیرحوضه‌های با کمترین میزان پوشش حفاظتی، شیب زیاد، نفوذپذیری کم، فراوانی برون‌زدهای سنگی و سطوح غیرقابل نفوذ مشاهده می‌شود. می‌توان به زیرحوضه‌های بالادست ازجمله ۱، ۳، ۷، ۱۱ و ۱۲ اشاره کرد که از بالاترین میزان دبی پیک برخوردارند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی خطر سیلاب، نقشه‌سازی خطر سیلاب، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ، مدل HEC-HMS ،حوضه اوجان‌چای، شمال‌غرب ایران

[1]نویسنده مسئول : ۰۹۱۴۴۲۱۵۶۷۴ Email:m.esmaeilpour@maragheh.ac.ir

مقدمه

طی ۲۰ سال گذشته، فراوانی مخاطراتی مانند زمین‌لرزه‌ها، سونامی‌ها، فوران‌های آتشفشانی و حرکات توده‌ای تقریباً ثابت باقی مانده است، ولی مخاطرات مربوط به اقلیم (عمدتاً سیلاب‌ها و طوفان‌ها) به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده است (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, UN International Strategy for Disaster Reduction (CRED, UNISDR) (2015)). روند افزایشی رویدادهای اقلیمی حدی که ناشی از گرمایش جهانی می‌باشد یکی از مهم‌ترین مسائل جهانی به‌شمار می‌رود که نوع بشر با آن روبروست (Chen, et al., 2015; Sui, Lang, & Jiang, 2018). در واقع، رخدادهای اقلیمی حدی ازجمله سیل و خشکسالی بیش از ۷۰ درصد از کل خسارت‌های اقتصادی ناشی از بلایای طبیعی را به خود اختصاص داده‌اند (Toya & Skidmore, 2007). در این رابطه، سیل یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی به‌شمار می‌رود که باعث خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی در سراسر جهان می‌شود. تا جایی که در سال‌های اخیر حدود ٤٠ درصد از کل خسارات اقتصادی ناشی از بلایای طبیعی مربوط به وقوع سیلاب بوده است (یاریان[1] و همکاران، ۲۰۲۰). بدین ترتیب، سیل در طی صدها سال گذشته اثرات منفی اقتصادی- اجتماعی در اغلب کشورها برجای گذاشته است. در مواجهه با چنین تهدیدی، مطالعه علمی پارامترهای مؤثر بر سیل و یافتن راه‌حل‌هایی برای پیش‌بینی و به حداقل رساندن خسارات آن بر جان و مال انسان‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین ترتیب، برای پیشگیری و کاهش خسارات ناشی از سیل، ارزیابی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب ضروری است (Dung, Long, Tran, & Tuyet, 2021).

پیشگیری کامل سیل ممکن نیست، ولی ارزیابی و مدیریت سیلاب‌های محتمل آینده امکان‌پذیر است. در سه دهه گذشته تعداد حوادث مرتبط با سیل در سراسر جهان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. علل اصلی افزایش خطر سیل، تغییرات اقلیمی، تغییر کاربری اراضی و سایر مداخلات و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. رایج‌ترین اثرات آنتروپوژنیک عبارتند از: توسعه شهری، پل‌های با ابعاد نامناسب، جنگل‌زدایی و فرسایش متعاقب آن، ساخت جاده‌ها یا سایر سازه‌ها در مسیر آب، فرونشست به دلیل پمپاژ بیش‌ازحد و درنهایت تغییر یا انحراف مسیر جریان آب (Kourgialas & Karatzas, 2011). روند فعلی و سناریوهای آتی سیل به اطلاعات مکانی و زمانی دقیق نیاز دارد. از سوی دیگر، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر نسبت به سیل و اتخاذ اقدامات مقابله‌ای مناسب می‌تواند خسارات ناشی از آن را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد. علاوه بر این، پهنه‌بندی خطر سیل نقشی اساسی در برنامه‌ریزی کاربری زمین، سیستم‌های هشدار اولیه، طراحی واکنش اضطراری و اقدامات کاهش خطر سیل دارد (Allafta & Opp, 2021)؛ به‌عبارت‌دیگر، پیشگیری از سیل فرایندی پیچیده است، اما وقوع آن را می‌توان با استفاده از روش‌ها و اقدامات مناسب پیش‌بینی و تا حدی کنترل کرد. در این

[1] - Yariyan

رابطه، دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام برای جلوگیری از سیل یا حداقل کاهش اثرات مخرب آن نقش کلیدی دارد. یکی از این اطلاعات کلیدی، نقشه پتانسیل سیل است (یاریان و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به موارد مذکور، در پژوهش حاضر خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز اوجان‌چای در شهرستان بستان‌آباد استان آذربایجان شرقی مورد تحلیل فضایی قرار گرفت. حوضه مطالعاتی یکی از حوضه‌های سیل‌خیز منطقه می‌باشد که در این زمینه می‌توان به سیلاب فروردین‌ماه سال ۱۳۹۶ اشاره کرد. اختلاف ارتفاع زیاد، درجه ناهمواری بالا، شیب زیاد حوضه، وجود سازندهای زمین‌شناسی نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم، اثرگذاری توده‌هواهای متعدد و دریافت بارش‌های همرفتی- رگباری، مشارکت ذوب برف در دبی رودخانه (مخصوصاً در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار)، تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی طبیعی حوضه، وجود سکونتگاه‌های متعدد در مجاورت آبراهه‌های اصلی، دست‌اندازی و تجاوز به حریم آبراهه‌های اصلی حوضه و عوامل متعدد دیگر باعث افزایش مخاطره سیلاب در سطح حوضه آبریز اوجان‌چای شده است. بدین ترتیب ضرورت دارد که خطر سیلاب در سطح این حوضه مورد ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد.

در ادامه برخی از پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی خطر سیلاب مورد اشاره قرار گرفته است. (Ghanavati, Karam, & Aghaalikhani, (2013) در پژوهشی سعی کردند تا پهنه‌های با بیشترین خطر وقوع سیلاب در حوضه فرحزاد را با استفاده از مدل فازی تعیین کنند. در این رابطه، لایه‌های مربوط به شیب، انحنا پروفیل و پلانیمتریک، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، لندفرم‌ها و کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. در نقشه نهایی، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در پایین‌دست حوضه و منطبق بر دره اصلی فرحزاد هستند. Moradnezhadi, Jourgholami, & Malekian, (2015) به بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف حوضه‌های آبریز جنگلی خیرود پرداختند. کارایی مدل HEC-HMS پس از واسنجی آن برای شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب در حوضهٔ مطالعه‌شده، مورد تأیید قرار گرفت. Sistani Badooei, Negaresh, & Fotoohi, (2017) مناطق سیل‌گیر را در حوضه آبریز گابریک در جنوب شرق ایران شناسایی و پهنه‌بندی کردند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که ۲۳ درصد از مساحت حوضه در گروه مناطق با خطر بالا و بسیار بالا قرار گرفته است. عواملی همچون شیب و فرسایش-پذیری زیاد و نفوذپذیری کم از دلایل این وضعیت می‌باشند. Ganji, Gharechelou, & Ahmadi, (2022) خطر سیلاب را در رودخانه گرگانرود در شهرستان آق‌قلا پهنه‌بندی کردند. ایشان ۱۸ معیار مؤثر بر سیل‌خیزی را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی کردند و نتایج نشان داد معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی در ایجاد سیل در حوضه موردبررسی بالاترین تأثیر را دارند. نتایج پهنه‌بندی نیز نشان داد حدود ۱۴ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در کلاس خیلی کم و ۲۶ درصد آن در پهنه خطر خیلی زیاد قرار دارند. Mesri Alamdari, (2021) خطر سیلاب را در حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS تحلیل

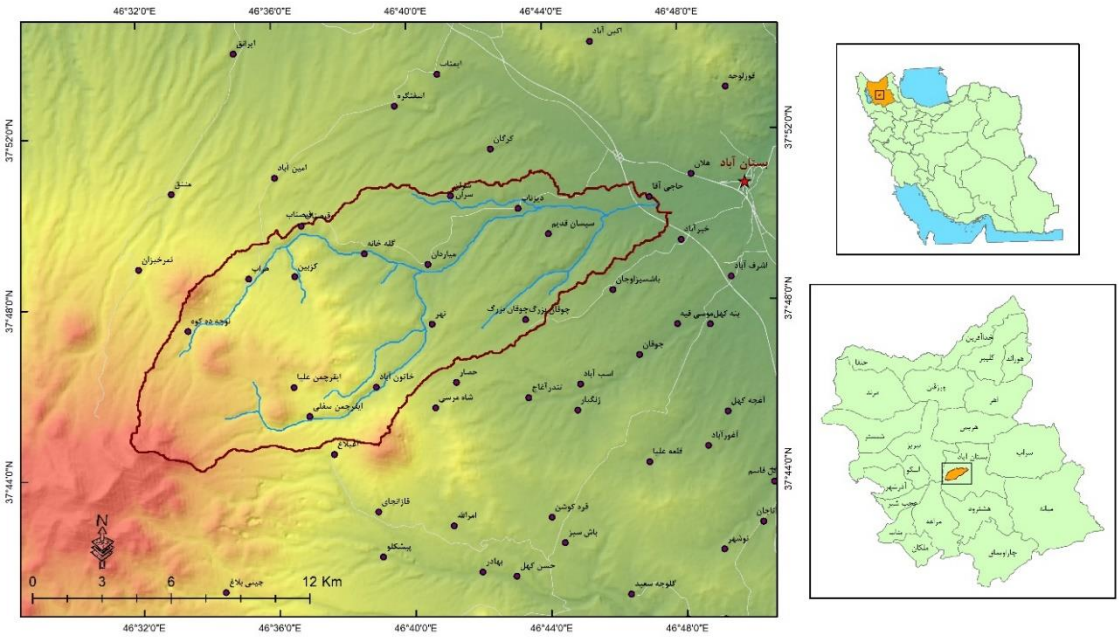
کردند. در این تحقیق تعداد هشت متغیر جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از منطق فازی ترکیب شدند. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نیز جهت شناسایی پهنه‌های با تولید رواناب بالاتر به کار برده شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر سیلاب نشان داد که ۷/۷ درصد از مساحت حوضه قلعه‌چای از خطرپذیری بالایی در مقابل سیلاب برخوردار است. شبیه‌سازی بارش- رواناب نشان می‌دهد که بارش‌های با دوره بازگشت بالاتر می‌تواند دبی‌های سیلابی ایجاد کند. Zare, Azari, & Rezaei Arefi,(2024) مناطق آسیب‌پذیر نسبت به سیلاب را در حوضه آبخیز کشف رود با استفاده از ۵ روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل تحلیل شبکه، ویکور، تاپسیس، تحلیل سلسله مراتبی و الکتره و با در نظر گرفتن ۱۶ شاخص مورفومتری مستخرج از مدل رقومی ارتفاع منطقه شناسایی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که در بین روش‌های موردبررسی، تحلیل شبکه برای تهیه نقشه سیل‌خیزی دارای دقت بالاتری می‌باشد. Ali Mohammad, Aslam, & Khan, (2011)، برای بررسی میزان تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی در حوضه لینولاه در پاکستان از مدل بارش رواناب HEC-HMS استفاده کرد. نتایج نشان داد که در آینده با تغییر کاربری اراضی، رواناب کل بین ۵۱/۶ تا ۱۰۰ درصد افزایش خواهد یافت. Nandalal & Ratnayake, (2011) در تحقیقی به ارزیابی کارایی رویکرد فازی به‌منظور بررسی ریسک سیلاب در سطح حوضه آبریز رودخانه کالوگانگا در سریلانکا پرداختند. گستره سیلاب برای بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با استفاده از سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیک (HEC-HMS) و مدل‌های مبتنی بر سیستم تجزیه‌وتحلیل رودخانه HEC-River تعیین شد. مقایسه نتایج به دست آمده نشان داد که منطق فازی عدم اطمینان در تعیین سطح خطر، آسیب‌پذیری و سطح خطر را به‌صورت دقیق‌تری در نظر می‌گیرد. Ajin, Krishnamurthy, Jayaprakash, & Vinod, (2013) مخاطره سیل را در حوضه رودخانه واماناپورام در هند بر اساس ارزیابی چند معیاره و کاربست تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد ارزیابی قرار دادند و منطقه موردمطالعه را از نظر پتانسیل خطر سیلاب به پنج پهنه مجزا تقسیم کردند. Rashetnia, (2016) به ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به سیلاب در مورلندسیتی واقع در منطقه ملبورن استرالیا با کاربست منطق فازی پرداخت. یافته‌های این تحقیق نشان‌دهنده کارایی بالای منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به سیلاب است. این پژوهش نشان داد که مناطق بسیار پرجمعیت در طبقات آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد واقع‌اند. Tella & Balogun, (2020) جهت ارزیابی مکانی خطر سیل در ایبادان در نیجریه از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فازی استفاده کردند. برای بهبود دقت وزنی معیارهای ایجاد سیل، فازی AHP با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای محاسبه وزن و فرآیند همپوشانی ترکیب شد. نقشه فازی AHP دارای ۹۱٪ سازگاری با مکان‌های تاریخی سیل بود. مروری بر پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که محققان با استفاده از روش‌های متعددی به ارزیابی خطر سیلاب پرداخته‌اند. این امر در طی سال‌های اخیر با تکیه بر تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. در پژوهش حاضر

نیز ارزیابی خطر سیلاب حوضه مطالعاتی تا حد زیادی بر GIS استوار است. بااین‌حال، دو مفهوم سیل‌گیری و سیل‌خیزی تفکیک شده‌اند. برای ارزیابی خطر سیل‌گیری یا پتانسیل مکانی پخش سیلاب از منطق فازی استفاده شده است. ارزیابی سیل‌خیزی یا پتانسیل تولید رواناب نیز متکی بر مدل HEC-HMS در ترکیب با GIS می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

در پژوهش حاضر خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز اوجان‌چای، واقع در شهرستان بستان‌آباد استان آذربایجان شرقی، ارزیابی شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مطالعاتی در ٤٦ درجه و ۳۱ دقیقه و ٤٠ ثانیه تا ٤٦ درجه و ٤٧ دقیقه و ٤٥ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ٤٤ دقیقه و ۸ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۵ ثانیه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه حدود ۱٦۲ کیلومترمربع و محیط آن حدود ۸٤ کیلومتر می‌باشد. حوضه اوجان‌چای بخش‌هایی از دامنه‌های شمال شرقی توده آتشفشانی سهند را زهکشی می‌کند و از پایکوه‌ها تا نزدیک قله سهند امتداد یافته است. در محدوده حوضه مطالعاتی تعداد ۱۵ روستا وجود دارد که اکثراً در مجاورت یا بستر دره‌های اصلی حوضه استقرار یافته‌اند. افزون بر این، دره‌های اصلی حوضه آبریز اوجان‌چای کانون فعالیت‌های کشاورزی منطقه می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز اوجان‌چای در شمال غرب ایران

Fig.1. The location of the Ojan Chay watershed in the northwest of Iran

روش انجام پژوهش

متغیرهای متعددی بر وقوع سیلاب در یک حوضه آبخیز تأثیر می‌گذارند. مهم‌ترین عوامل و متغیرها عبارتند از: عوامل فیزیکی (مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای دامنه، سنگ‌شناسی، موقعیت توپوگرافی و بارندگی)، عوامل هیدرولوژیکی (مانند تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، رطوبت توپوگرافی و قدرت جریان) و عوامل انسانی (مانند کاربری اراضی و فاصله از جاده) (یاریان و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به موارد مذکور در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی سیل‌گیری (پهنه‌بندی سیلاب) و سیل‌خیزی (تولید رواناب) حوضه آبریز اوجان‌چای از داده‌هایی بدین شرح استفاده به عمل آمد: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور)؛ نقشه خاک (سازمان آب منطقه‌ای)، تصاویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) مربوط به ماهواره استر[1] با قدرت تفکیک مکانی ۲۷ متر، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ (مربوط به اوایل تابستان ۱٤۰۱ هـ . ش) و گوگل ارث، داده‌های ایستگاه سینوپتیک بستان‌آباد و ایستگاه باران‌سنجی دیزناب و داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری بستان‌آباد و دیزناب. ارزیابی مکانی سیلاب مستلزم مشارکت عوامل متعددی بوده و می‌بایست به‌صورت ترکیبی و یکپارچه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرند. بدین منظور در پژوهش حاضر مخاطره سیلاب در سطح حوضه آبریز اوجان‌چای با بهره‌گیری از قابلیت‌ها و امکانات تحلیل‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به انجام رسید. به‌منظور استاندارد نمودن و ترکیب لایه‌های موضوعی مؤثر بر سیل‌گیری از رویکرد منطق فازی استفاده شد. همچنین به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب در سطح حوضه و شناسایی پهنه‌های با بیشترین میزان تولید رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و اکستنشن آن در محیط نرم‌افزار ArcGIS یعنی HEC-GeoHMS بهره گرفته شد.

منطق فازی

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به‌عنوان نظریه‌ای ریاضیاتی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم قطعیت موجود در فرایندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به شمار می‌رود. این نظریه قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق (فازی) و مبهم، صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد Jahanbakhsh Asl, Asad, & Akbari, (2016). فرایند فازی‌سازی، عدم قطعیت کلاس‌ها را در خصوص پدیده‌هایی مشخص می‌سازد که دارای مرزهای دقیق نیستند. در فرایند فازی‌سازی، ایده‌آلی برای عضویت در مجموعه تعریف می‌شود. به هر مقداری از پدیده که نسبت به هسته مجموعه، محوری‌تر (مرکزی‌تر) باشد ارزش ۱ اختصاص خواهد یافت و به مقادیری که به‌طورقطع بخشی از مجموعه نیستند ارزش ۰ تخصیص می‌یابد. مقادیری که

[1] - Aster

بین این دو حد واقع می‌شوند، در منطقه گذار مجموعه قرار می‌گیرند (Sarvar & Kherizadeh Arouq,(2015.
تابع عضویت در مدل فازی به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

رابطه (۱) $A = \{X , \mu_A (X)\}$ for each x ε X...}

μ_A تابع عضویتی است که درجه عضویت X را در مجموعه A تعریف می‌کند. بعد از فازی‌سازی لایه‌های موضوعی نسبت به ترکیب یا روی‌هم‌گذاری فازی آن‌ها اقدام شد. بسته نرم‌افزاری ArcGIS پنج عملگر فازی مختلف را جهت ترکیب فازی لایه‌های رستری در اختیار می‌گذارد این عملگرها به شرح زیرند (Lee, 2007):

رابطه (۲)- «و» فازی $\mu_{combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$

رابطه (۳)- «یا» فازی $\mu_{combination} = MAX(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$

رابطه (٤)- ضرب فازی $\mu_{combination} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$

رابطه (٥)- جمع فازی $\mu_{combination} = 1- \prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i)$

رابطه (٦)- گامای فازی $\mu_{combination} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^{\lambda} * (\text{Fuzzy algebraic product})^{1-\lambda}$

در روابط فوق، μi تابع عضویت فازی برای لایه موضوعی i ام و λ یک پارامتر انتخابی در دامنه (۱و ۰) می‌باشد.

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

در این تحقیق جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب و بررسی پتانسیل تولید رواناب حوضه اوجان‌چای از روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS همراه با الحاقی HEC-GeoHMS استفاده شد. این سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیک برای شبیه‌سازی فرایندهای بارش- رواناب سیستم‌های حوضه آبریز طراحی شده است. طراحی سیستم به نحوی بوده تا در یک طیف گسترده‌ای از مناطق جغرافیایی برای حل مسائل متعدد قابل‌اجرا باشد. این‌گونه مسائل شامل تأمین آب و هیدرولوژی سیلاب حوضه‌های بزرگ رودخانه و رواناب حوضه‌های آبریز کوچک شهری یا طبیعی می‌شود. هیدروگراف‌های تولید شده توسط این برنامه به‌صورت مستقیم یا توأم با نرم‌افزارهای دیگر برای مطالعات قابلیت دسترسی آب، زهکشی شهری، پیش‌بینی جریان، اثرات آتی شهرنشینی، طراحی سرریز مخزن، کاهش خسارات سیلاب، منطقه‌بندی دشت سیلابی و عملیات سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hydrologic Engineering Center, 2016). در این رابطه، HEC-GeoHMS به‌عنوان یک ابزار هیدرولوژی زمین- مکانی برای مهندسان و هیدرولوژیست‌ها با تجربه محدود GIS توسعه یافته است. این برنامه نمایان‌سازی اطلاعات مکانی، مستند کردن ویژگی‌های حوضه آبریز، تحلیل مکانی، تعیین حدود زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها، ایجاد ورودی‌ها به مدل‌های هیدرولوژیک و تهیه گزارش‌ها برای کاربران را امکان‌پذیر می‌سازد (Hydrologic Engineering Center, 2013). برای مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS لازم است که سه مدل شامل مدل حوضه، مدل هواشناسی و مدل مشخصات کنترل

تعریف شود. در پژوهش حاضر شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه مطالعاتی بر مبنای روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) صورت گرفت. مدل مذکور در کتاب‌های هیدرولوژی به‌تفصیل تشریح شده است؛ بنابراین با توجه به حجم زیاد مطالب از بیان مدل مذکور در مقاله حاضر اجتناب شد.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه اوجان‌چای با استفاده از منطق فازی

برای تهیه نقشه خطر سیلاب در سطح حوضه اوجان‌چای ابتدا توزیع فضایی مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر خطر سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس عوامل مذکور با استفاده از توابع مختلف در بستر GIS فازی شدند. درنهایت، لایه‌های فازی با استفاده از اپراتورهای مختلف فازی ترکیب و یکپارچه شدند.

ارزیابی توزیع فضایی عوامل مؤثر بر خطر سیلاب

در این بخش از پژوهش توزیع فضایی عوامل مؤثر بر خطر سیلاب در سطح حوضه اوجان‌چای مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل (۲) توزیع فضایی عوامل مربوطه ارائه شده است.

- **ارتفاع:** بر اساس محاسبات پیکسل‌پایه، میانگین ارتفاع حوضه اوجان‌چای حدود ۲۲٤۹ متر می‌باشد. همچنین اختلاف ارتفاعی بالغ بر ۱۷۹٤ متر در سطح حوضه دیده می‌شود. سطوح مرتفع حوضه از نظر تولید رواناب و سیل‌خیزی حائز اهمیت زیادی می‌باشند. رواناب تولیدی به سمت اراضی پست و کم‌ارتفاع حوضه هدایت می‌شوند و به دلیل وجود سکونتگاه‌ها، تأسیسات و اراضی کشاورزی در پهنه‌های مذکور می‌توانند باعث مخاطراتی شوند؛ بنابراین، سطوح کم‌ارتفاع حوضه از نظر خطر سیل‌گیری دارای اهمیت بوده و در فرایند فازی‌سازی ارزش‌های زیادتری را به خود اختصاص می‌دهند.
- **شیب:** متوسط شیب در سطح حوضه اوجان‌چای حدود ۱۷ درصد می‌باشد. در رابطه با پهنه‌بندی، اراضی کم‌شیب همواره در معرض پخش سیلاب قرار دارند. در این رابطه طبقه شیب ۰ تا ۵ درصد از اهمیت بیشتری برخوردار است. در حوضه اوجان‌چای بالغ بر ۱۲ درصد مساحت حوضه در طبقه شیب مذکور قرار گرفته است. سطوح شیب مذکور از یک طرف در معرض سیلاب‌های رودخانه‌ای می‌باشند و از طرف دیگر می‌توانند توسط سیلاب‌های ورقه‌ای (شیت‌فلادها) تحت تأثیر قرار گیرند. از نظر تولید رواناب، عکس موارد مذکور صادق است. به‌بیان‌دیگر، اراضی پرشیب قسمت‌های میانی و بالادست حوضه از بیشترین میزان تولید رواناب برخوردارند.

– **جهت شیب:** اثر مستقیم جهت شیب به‌واسطه تأثیر بر ذوب برف و اثر غیرمستقیم آن به‌واسطه تأثیر بر پوشش گیاهی است. در دامنه‌های جنوبی و غربی، برف‌های حوضه با سرعت بالاتری ذوب می‌شوند. این امر در اواخر زمستان و اوایل بهار که منطقه بارش‌های همرفتی- رگباری فراوانی را تجربه می‌کند حائز اهمیت زیادی است. تراکم پوشش گیاهی اندک و درنتیجه اثرات محدود حفاظتی آن در مقابله با سیلاب را می‌توان به موارد مذکور اضافه نمود.

– **تحدب سطح زمین:** شاخص مذکور برای اولین بار توسط Iwahashi & Pike, (2007) مطرح شد و هدف از ارائه آن طبقه‌بندی عوارض سطح زمین بود. تحدب سطح زمین معیاری مناسب برای ارزیابی پتانسیل پخش یا تجمع آب به‌شمار می‌رود. مقادیر بالاتر شاخص تحدب زمین معرف سطوح با تحدب زیاد و مقادیر پایین‌تر نشان‌دهنده سطوح با تحدب پایین (مقعر) می‌باشد. پهنه‌های با تقعر بالا شامل سطوح با مقادیر ۲۵ تا ۳٦ می‌باشند که در حدود ۱۲/۲ درصد از سطح حوضه اوجان‌چای را به خود اختصاص داده‌اند. این پهنه‌ها مشتمل بر سطوح مقعر حوضه بوده و به‌طور عمده منطبق بر بستر دره‌ها و سیرک‌های یخچالی بالادست حوضه می‌باشند. به دلیل ریخت‌شناسی مقعر، بخش قابل‌توجهی از رواناب‌های تولید شده به سطوح مذکور هدایت می‌شوند (شکل ۲).

– **طول دامنه:** عامل طول دامنه یکی از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر حجم جریان و سرعت رواناب به‌شمار می‌رود. هر چه طول دامنه بیشتر باشد، سرعت جریان بالاتر و حجم رواناب بیشتر می‌شود. این امر به‌طور قابل‌توجهی شکل‌گیری سیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dung, Tuyet, Ahmad, Long, 2020). در تحقیق حاضر، برای استخراج لایه طول دامنه از رابطه زیر استفاده شد (Luca, Conforti, & Robustelli, 2011):

رابطه (۷)

$$LSF=(fa*Cell_size/22.3)^{0.4}*(Sin\sigma/0.0896)^{1.3}$$

که در آن: LSF عامل طول دامنه و fa تجمع جریان می‌باشد. در حوضه مطالعاتی مقادیر طول دامنه از حداقل صفر تا حداکثر ۹۰ متر متغیر است. بین طول دامنه و وقوع سیلاب رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.

– **توان رودخانه:** مقادیر بالاتر شاخص مذکور بیانگر این است که جریان رودخانه از توانایی انجام کار ژئومورفیک بیشتری برخوردار است. این امر از نظر تولید رسوب، فرسایش و افزایش توان تخریبی سیلاب‌ها حائز اهمیت می‌باشد. توان رودخانه را می‌توان از طریق فرمول زیر محاسبه نمود (Luca, Conforti, & Robustelli, 2011):

رابطه (۸)

$$SPI=In(As/tan\sigma)$$

که در آن: SPI شاخص قدرت جریان، As مساحت ویژه جریان و σ درجه شیب می‌باشد. در سطح حوضه مطالعاتی مقادیر شاخص توان رودخانه از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است. این امر تا حد زیادی در

ارتباط با تغییرپذیری شدید توپوگرافی منطقه می‌باشد. در این رابطه، در سطح حوضه آبریز اوجان‌چای مقادیر توان رودخانه از حداقل صفر تا حداکثر ۱۵۰۰۰ وات بر مترمربع متغیر است.

– **رطوبت توپوگرافیک:** این شاخص یکی از کارآمدترین شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی خطر سیلاب به‌شمار می‌رود. شاخص TWI متکی بر این فرض است که توپوگرافی کنترل‌کننده حرکت آب در چشم‌انداز است. در واقع، شاخص مذکور تأثیر توپوگرافی محلی در فرآیندهای هیدرولوژیکی را به‌صورت کمّی نشان می‌دهد. شاخص رطوبت توپوگرافیک از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Kumar & Gupta, 2016; Qin, et al., 2011):

$$\mathrm{TWI} = \mathrm{Ln}\frac{(A_S * \text{Pixel area})}{\mathrm{Tan}((S * \pi)/180))}$$ رابطه (۹)

که در آن: As مساحت زهکشی دامنه فوقانی در واحد عرض خط کانتور (مترمربع/ متر) و S شیب به درجه است. مقادیر این شاخص در سطح حوضه مطالعاتی از حداقل ۳ تا حداکثر ۲۳ متغیر است. رابطه‌ای مستقیم بین مقادیر این شاخص و خطرپذیری سیلاب در سطح حوضه برقرار است. در پهنه‌هایی که این شاخص مقادیر بالایی دارد احتمال وقوع سیلاب بیشتر است. در این رابطه کلاس با مقادیر TWI بیش از ۱۵ حائز اهمیت بیشتری می‌باشد.

– **شاخص همگرایی:** شاخص همگرایی پارامتری است که ساختمان ناهمواری را به‌صورت مجموعه‌ای از سطوح همگرا و واگرا نمایش می‌دهد. مقادیر منفی این شاخص نشان‌دهنده سطوح همگرا بوده که بیشتر در معرض سیلاب قرار می‌گیرند. در این رابطه کلاس با مقادیر همگرایی کمتر از ۲۰- معرف سطوح با همگرایی بسیار زیاد هستند. سطوح مذکور بالغ بر ۳ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شوند. این سطوح مشتمل بر بستر آبراهه‌ها و اراضی مجاور آن‌ها بوده و همه‌ساله توسط دبی‌های معمول و طغیانی (سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱ تا ۳ ساله) تحت تأثیر قرار می‌گیرند. کلاس با مقادیر شاخص همگرایی ۲۰- تا ٤- نیز دلالت بر سطوح با همگرایی زیاد هستند که حدود ۱۳ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به مطالعات میدانی و داده‌های هیدرومتری می‌توان گفت که سطوح مذکور در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۳ تا ۲۵ ساله می‌باشند.

– **عمق دره:** مقادیر بالاتر این شاخص دلالت بر عمق زیاد دره نسبت به خط‌الرأس‌ها دارد. این امر به دلایلی منجر به افزایش خطرپذیری نسبت به سیلاب می‌شود. در این رابطه می‌توان به مشارکت قابل‌توجه رواناب‌های دامنه‌های مشرف به این دره‌ها در دبی آبراهه‌های اصلی اشاره نمود که خطر وقوع سیلاب را به‌صورت محلی افزایش می‌دهد. بدین ترتیب طبقه با مقادیر بالاتر از ۲۳۰ متر از بیشترین میزان خطرپذیری نسبت به سیلاب برخوردار است.

– **تراکم زهکشی:** هرچه تراکم زهکشی حوضه‌ای بالاتر باشد تخلیه رواناب‌ها راحت‌تر صورت گرفته و زمان تمرکز زیرحوضه‌ها کاهش می‌یابد. این امر منجر به افزایش خطر سیلاب می‌گردد. مقادیر این شاخص در سطح حوضه مطالعاتی از ۰ تا ۵ کیلومتر در کیلومترمربع متغیر است. در کل، از رأس قلل و ستیغ‌های منطقه در جهت پای دامنه‌ها و دره‌ها بر میزان تراکم زهکشی افزوده می‌شود.

– **فاصله از رودخانه:** نواحی مجاور رودخانه‌ها بیشتر تحت تأثیر سیلاب‌های رودخانه‌ای قرار می‌گیرند و با دور شدن از بستر رودخانه‌ها خطر سیلاب کاهش پیدا می‌کند. در این رابطه، حدود ۳٦ درصد از مساحت کاربری‌های مسکونی (حدود ۳۰/۲ هکتار) در فاصله صفر تا ۲۰۰ متری از رودخانه‌های حوضه استقرار یافته‌اند. پهنه‌های مذکور جزو خطرپذیرترین و آسیب‌پذیرترین پهنه‌های حوضه مطالعاتی نسبت به سیلاب می‌باشند.

– **کاربری اراضی:** کاربری‌هایی که باعث افزایش نفوذ آب می‌شوند به‌عنوان کاربری‌های تعدیل‌کننده سیلاب‌ها مطرح می‌شوند. در این رابطه می‌توان به مراتع با پوشش گیاهی خوب اشاره نمود که درصد قابل‌توجهی از آب ناشی از بارش را جذب می‌کنند. برعکس، کاربری‌هایی مانند کاربری مسکونی با کاهش نفوذ و افزایش آبدوی باعث تبدیل بخش قابل‌توجهی از آب بارش به رواناب سطحی می‌شوند و درنتیجه خطر سیلاب را افزایش می‌دهند.

– **پوشش گیاهی:** در این زمینه از شاخص NDVI استفاده شد که از رابطه زیر به دست می‌آید (لئو و ماسون[1]، ۲۰۰۹):

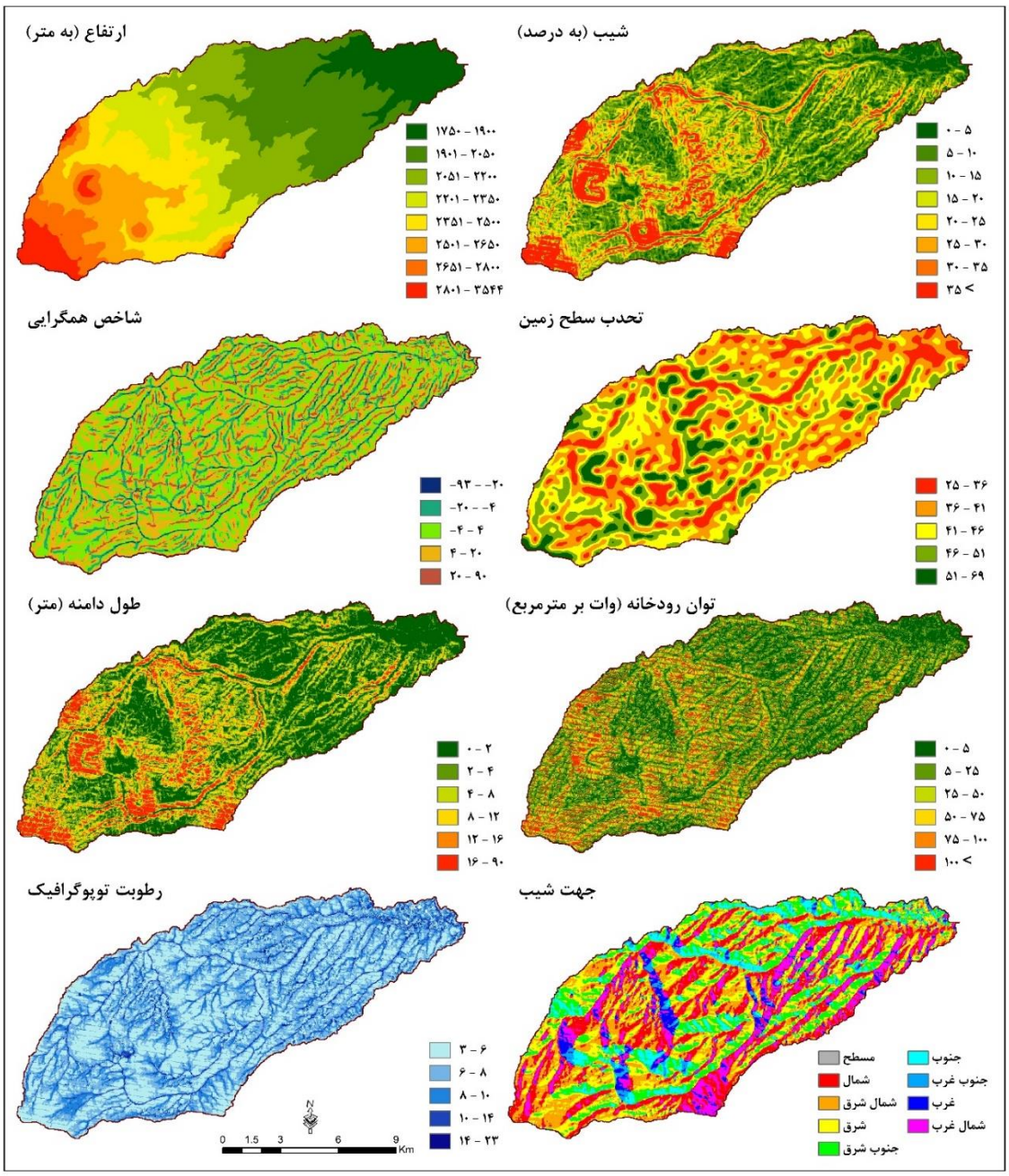
$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{Red}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{Red}}. \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن: NIR و RED به ترتیب بازتاب‌ها در باند مادون‌قرمز نزدیک و باند قرمز هستند. بین تراکم پوشش گیاهی و خطر سیلاب رابطه‌ای معکوس برقرار است. این اصل در فرایند فازی‌سازی لایه NDVI به‌کار بسته شد و بدین ترتیب، پیکسل‌های با مقادیر NDVI اندک از ارزش بیشتری برخوردار شدند و برعکس.

– **زمین‌شناسی:** سازندهای زمین‌شناسی حوضه اوجان‌چای را با توجه به میزان نفوذپذیری و تأثیر آن بر وقوع سیلاب می‌توان به سه گروه طبقه‌بندی نمود: سازندهای با نفوذپذیری زیاد تا بسیار زیاد: این سازندها به ترتیب افزایش نفوذپذیری شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی (Qt1)، پادگانه‌های آبرفتی جدید (Qt2) و آبرفت‌های عهد حاضر (Qal) می‌باشند. در طی کمّی‌سازی کدهای ۱ تا ۳ به این سازندها اختصاص یافت. سازندهای با نفوذپذیری متوسط: این سازندها بر اساس کاهش میزان نفوذپذیری شامل لاهار و جریان‌های گلی (Plvc2la با کد ٤)، توف برشی و توف‌های لایه‌ای (Et با کد ۵) و پومیس، خاکستر آتشفشانی و کنگلومرا (Plvclp با کد ٦) می‌باشند. سازندهای با نفوذپذیری کم تا بسیار کم: این سازندها روی‌هم‌رفته بالغ بر ۵۸/۱ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شوند و عبارتند از: واحد Plvc2c (کنگلومرا با کد ۷)، واحد Eit (ایگنیمبریت– توف با کد

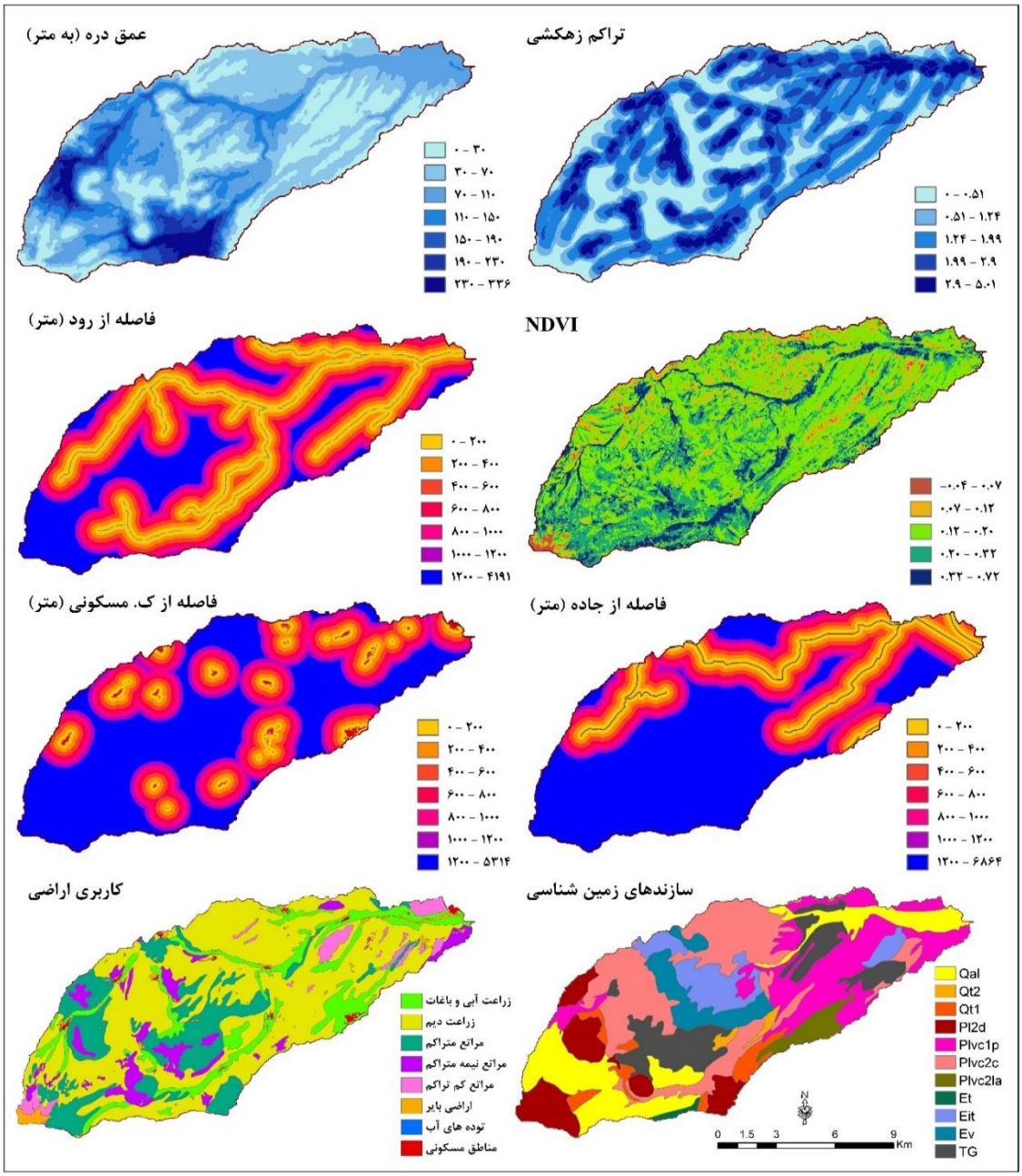
[1] - Liu & Mason

۸)، واحد TG (گرانیت الکالی با کد ۹)، واحد EV (تراکی آندزیت- بازالت با کد ۱۰) و واحد Pl2d (داسیت- آندزیت داسیتی با کد ۱۰).



شکل ۲- نقشه متغیرهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز اوجان‌چای

Fig.2. Map of variables used in flood risk zoning of Ojan Chay watershed



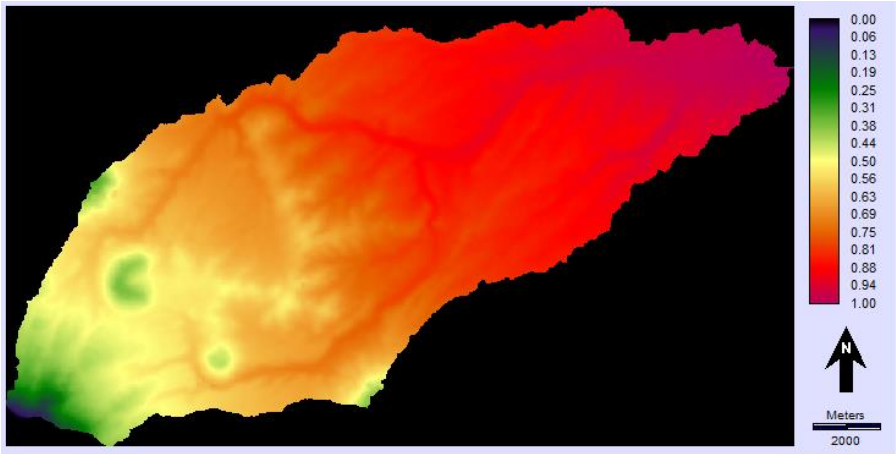
ادامه شکل ۲- نقشه متغیرهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز اوجان‌چای

Fig.2. Map of variables used in flood risk zoning of Ojan Chay watershed

فازی‌سازی لایه‌های موضوعی مؤثر بر سیلاب

فازی‌سازی لایه‌های موضوعی با هدف بی‌بعدسازی و همسان‌سازی لایه‌ها، ارزش‌گذاری مجدد لایه‌ها و رفع عدم قطعیت‌های کلاسه‌بندی لایه‌ها می‌باشد. در این رابطه، لایه‌های موضوعی مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر

سیلاب را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی نمود: الف) لایه‌هایی که در آن‌ها ارزش‌های بالاتر منجر به افزایش خطر سیلاب می‌شوند. توان رودخانه، طول دامنه، عمق دره، رطوبت توپوگرافیک و تراکم زهکشی در این گروه قرار می‌گیرند. درنتیجه، به‌منظور فازی‌سازی لایه‌های مذکور می‌توان از توابعی مانند تابع خطی افزایشی یا بزرگ فازی استفاده نمود. ب) لایه‌هایی که در آن‌ها ارزش‌های پایین‌تر منجر به افزایش خطر سیلاب می‌شوند. ارتفاع، شیب، تحدب سطح زمین، همگرایی، فاصله از آبراهه و پوشش گیاهی در این گروه قرار می‌گیرند. دو تابع فازی خطی کاهشی و نزدیک فازی می‌توانند برای فازی‌سازی لایه‌های مذکور مورد استفاده قرار گیرند. سه لایه کاربری اراضی، لیتولوژی و جهت شیب لایه‌های کیفی تحقیق می‌باشند. ازاین‌رو در گام نخست لایه‌های موضوعی مذکور از طریق کددهی کمّی گردیده و سپس فازی شدند. در شکل (۳) نمونه‌ای از نقشه فازی ارائه شده است.



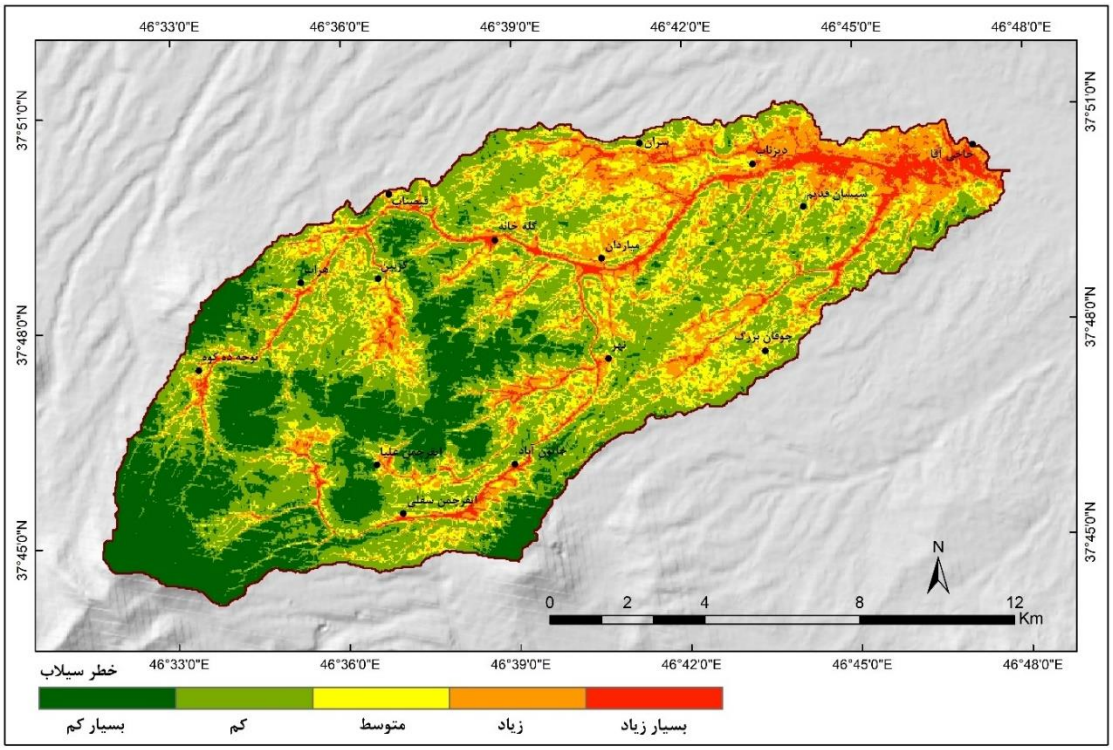
شکل ۳- نمونه‌ای از نقشه فازی تحقیق (لایه ارتفاع)

Fig.3. An example of a research fuzzy map (elevation layer)

ترکیب فازی لایه‌ها و تهیه نقشه خطر سیلاب

در پژوهش حاضر لایه‌های موضوعی فازی با کاربست پنج اپراتور «و» فازی، «یا» فازی، جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و فازی گاما ترکیب شدند و نقشه خطر سیلاب حاصل گردید. در پهنه‌بندی با اپراتورهای «و» فازی و ضرب فازی اکثریت منطقه در کلاس با خطر بسیار پایین قرار گرفت. در واقع، مقادیر پیکسل‌ها در نقشه نهایی به سمت صفر میل می‌کند. نتایج حاصل از کاربست دو اپراتور «یا» فازی و جمع جبری فازی برعکس دو اپراتور فوق‌الذکر می‌باشد. در واقع، با اعمال اپراتورهای «یا» فازی و جمع جبری فازی، در لایه نهایی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک تمایل پیدا می‌کند و تقریباً کل محدوده حوضه در کلاس بسیار پرخطر قرار گرفت. بدین ترتیب هر چهار اپراتور مذکور برای پهنه‌بندی خطر سیلاب از کارایی پایینی برخوردار می‌باشند. برعکسِ این اپراتورها، اپراتور گامای فازی جهت همپوشانی لایه‌های رستری و تهیه نقشه سیلاب به

نتایج مناسب و مقبولی منجر گردید. این اپراتور ترکیبی از اپراتورهای جمع جبری فازی و ضرب فازی به‌حساب می‌آید. در عملیات گامای فازی، هنگامی‌که λ برابر ۱ باشد تلفیق مشابه جمع جبری فازی و هنگامی‌که λ برابر ۰ باشد ترکیب معادل با ضرب جبری فازی می‌باشد. در پژوهش حاضر، ترکیب با بهره‌گیری از گامای ۰/۷ از دقت بالاتری برخوردار شد. این امر با توجه به نتیجه نهایی پهنه‌بندی در سطح منطقه و مقایسه آن با واقعیت‌های میدانی حاصل شد (شکل ٤).

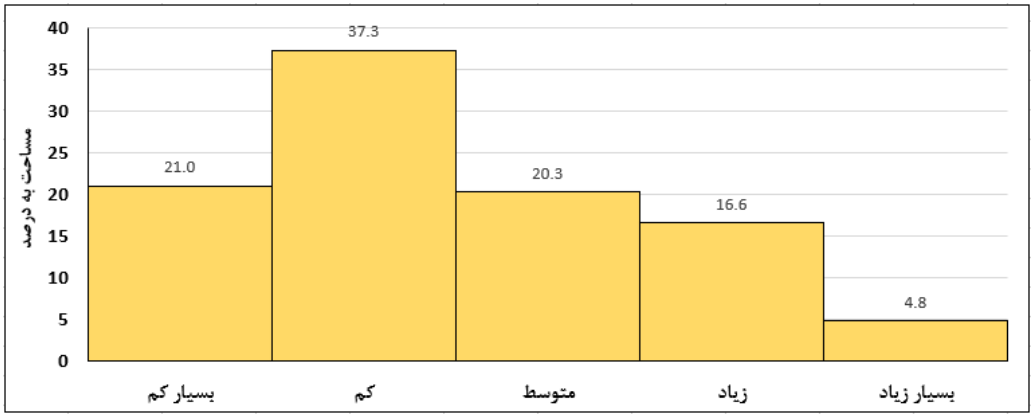


شکل ٤- پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از منطق فازی

Fig.4. Flood risk mapping of Ojan Chay watershed using fuzzy logic

با توجه به نقشه مذکور بالغ بر ٤/٨ درصد از مساحت حوضه اوجان‌چای در کلاس با خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. بخش قابل‌توجهی از این پهنه‌ها منطبق بر بستر رودخانه‌های اصلی حوضه و اراضی پیرامون آن‌ها می‌باشد. حوضه اوجان‌چای از درجه ناهمواری بالایی برخوردار بوده و عرض دره‌ها نیز از توسعه زیادی برخوردار نیستند. در مقاطعی که عرض دره افزایش پیدا می‌کند دشت سیلابی در بستر آن شکل گرفته که می‌تواند توسط سیلاب‌های مخرب تحت تأثیر قرار گیرد. کلاس با خطرپذیری زیاد نیز عمدتاً در مجاورت کلاس مذکور قرار گرفته و بالغ بر ١٦/٦ درصد مساحت حوضه مطالعاتی را شامل می‌شود. این پهنه‌ها به‌طور عمده می‌توانند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ سال و بالاتر تحت تأثیر قرار گیرند. پهنه‌های مذکور عمدتاً در قسمت‌های پایین‌دست حوضه توزیع شده‌اند. افزایش عرض دره و وجود اراضی هموار در مجاورت

رودخانه‌ها از دلایل اساسی توزیع بیشتر پهنه‌های مذکور در قسمت‌های پایین‌دست می‌باشد. پهنه‌های مذکور در قسمت‌های میانی و بالادست حوضه در ارتباط با توسعه محلی عرض دره‌ها می‌باشد که از آسیب‌پذیری زیادی نسبت به سیلاب برخوردارند. بدین ترتیب مجموعه‌ای از اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای مهار سیلاب در پهنه‌های مذکور ضروری می‌باشد. در این رابطه، حدود ۳/۲ درصد از مناطق مسکونی با مساحتی بالغ ۱۱/۱ هکتار در کلاس با خطرپذیری بسیار زیاد و حدود ٤٢/٩ درصد با مساحتی بالغ بر ۳۵/۹ هکتار در کلاس با خطرپذیری زیاد واقع شده‌اند. کلاس با خطرپذیری متوسط بالغ بر ۲۰/۳ درصد مساحت حوضه اوجان‌چای را شامل می‌شود. کلاس مذکور به‌طور عمده در قسمت‌های پایین‌دست حوضه توزیع شده است. این پهنه‌ها در اکثر موارد منطبق بر پای‌کوه‌های ارتفاعات منطقه می‌باشند و می‌توانند توسط سیلاب‌های صفحه‌ای (شیت‌فلادها) و در مواردی محدود توسط سیلاب‌های رودخانه‌ای تحت تأثیر قرار گیرند. خطر وقوع سیلاب در پهنه‌های مذکور را تا حد زیادی می‌توان از طریق اقدامات غیرسازه‌ای کاهش داد. کلاس‌های با خطرپذیری کم و بسیار کم به ترتیب حدود ۳۷/۳ و ۲۱ درصد مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. کلاس‌های مذکور عمدتاً در قسمت‌های میانی و بالادست حوضه توزیع شده‌اند. توپوگرافی جزو مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش خطر وقوع سیلاب در پهنه‌های مذکور می‌باشد. ضمن اینکه در پهنه‌های مذکور سکونتگاه‌های انسانی محدودی وجود دارد و درنتیجه، وقوع سیلاب به مخاطره جدی تبدیل نمی‌شود.



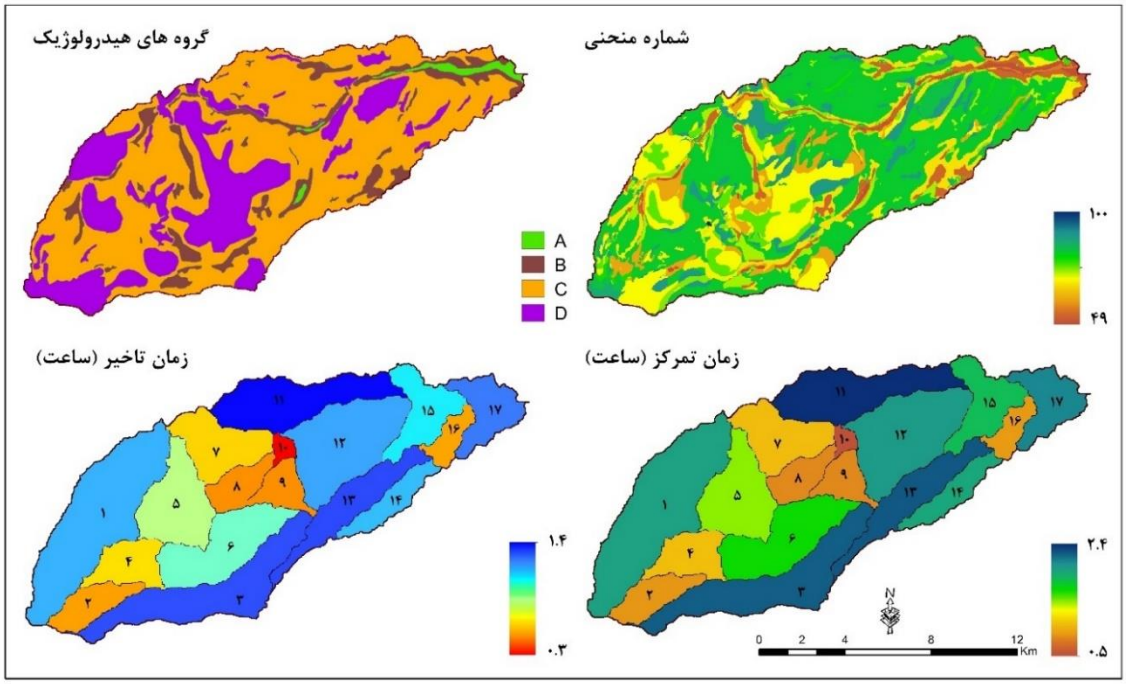
شکل ۵- درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر سیلاب حوضه اوجان‌چای

Fig.5. The percentage of the area of each flood risk class in the Ojan Chay watershed

شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS

با شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌توان پهنه‌های با بیشترین میزان تولید رواناب را شناسایی نمود که از نظر اقدامات مقابله‌ای و مدیریت سیلاب مهم‌اند. شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS مستلزم مدل‌سازی حوضه، هواشناسی و کنترل مشخصات دارد. در پژوهش حاضر بخش عمده‌ای از داده‌های مورد نیاز

از طریق اکستنشن HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. در این زمینه می‌توان به استخراج شبکه آبراهه‌ای، طولانی‌ترین آبراهه، مرکز ثقل زیرحوضه‌ها، زمان تأخیر، زمان تمرکز، شماره منحنی (CN)، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، شیب زیرحوضه‌ها، شیب آبراهه‌ها، ارتفاع، مساحت، محیط و ... اشاره نمود. در شکل (٦) برخی از مهم‌ترین ورودی‌های داده‌های مکانی مدل ارائه شده است. لازم به ذکر است که توزیع مکانی برخی از ورودی‌های مهم مانند شیب و کاربری اراضی در مراحل قبلی تحقیق ارائه شده‌اند. در پژوهش حاضر روش‌شناسی SCS به‌عنوان مبنای محاسبات بسیاری از پارامترهای مربوطه استفاده شد. داده‌های مورد نیاز شبیه‌سازی بارش- رواناب پس از آماده‌سازی در محیط ArcGIS به نرم‌افزار HEC-HMS ارسال گردید. سایر داده‌های مورد نیاز از قبیل هیدروگراف‌ها و هایتوگراف‌ها در محیط نرم‌افزار مذکور وارد مدل گردید. به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب در سطح حوضه اوجان‌چای از داده‌های حداکثر بارش ٢٤ ساعته و همچنین هایتوگراف رگبارها استفاده شد. در جدول (١) دوره‌های بازگشت حداکثر بارش ٢٤ ساعته برای حوضه آبریز اوجان‌چای ارائه شده است. برای محاسبه دوره‌های بازگشت از نرم‌افزار Smada بهره گرفته شد. داده‌های سیلاب نیز به‌عنوان دبی مشاهداتی وارد مدل گردید. در شکل (٧) شماتیک حوضه آبریز اوجان-چای در محیط اکستنشن HEC-GeoHMS نشان داده شده است.



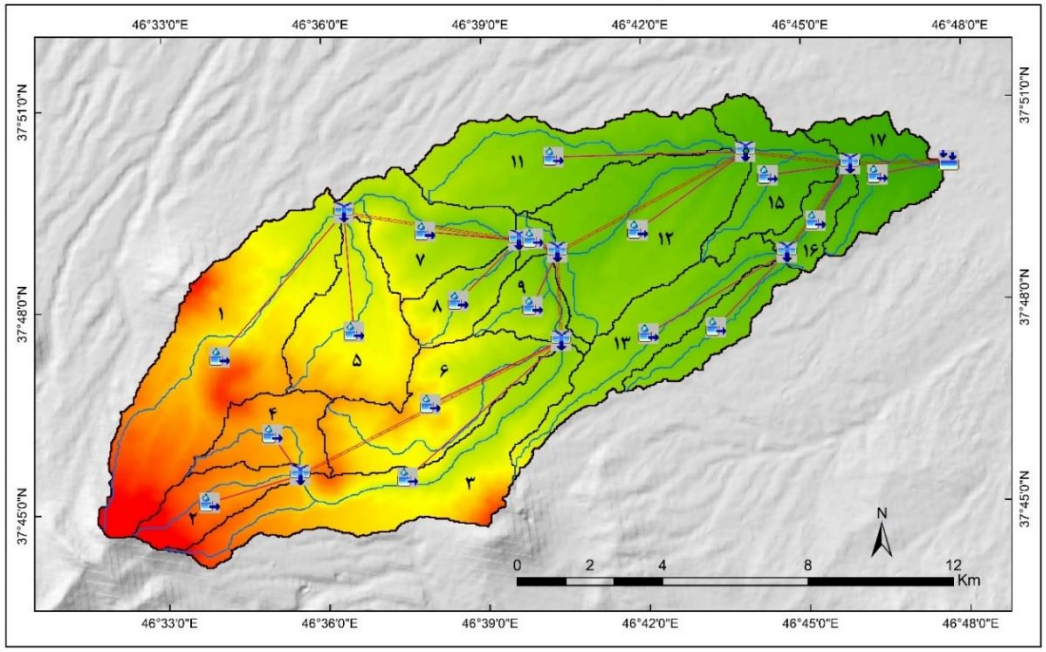
شکل ٦- مهم‌ترین ورودی‌های داده‌های مکانی مدل HEC-HMS

Fig.6. The most important spatial data inputs of HEC-HMS model

جدول ١- مقادیر محاسبه شده حداکثر بارش ٢٤ ساعته حوضه اوجان‌چای

Table1- Calculated values of the maximum 24-hour rainfall of Ojan Chay watershed

احتمال وقوع	دوره بازگشت	مقدار محاسبه شده	انحراف معیار
۰/۵۰۰	۲	۱۷/۴۰	۰/۶۹۷
۰/۶۶۷	۳	۱۹/۵۲	۰/۸۲۹
۰/۸۰۰	۵	۲۴/۶۳	۰/۹۸۰
۰/۹۰۰	۱۰	۳۳/۷۰	۲/۰۹۱
۰/۹۶۰	۲۵	۳۹/۴۳	۳/۹۰
۰/۹۸۰	۵۰	۴۶/۷۵	۴/۹۸۹
۰/۹۹۰	۱۰۰	۵۵/۸۶	۷/۶۹۹
۰/۹۹۵	۲۰۰	۶۱/۴۹	۱۰/۵۶۵



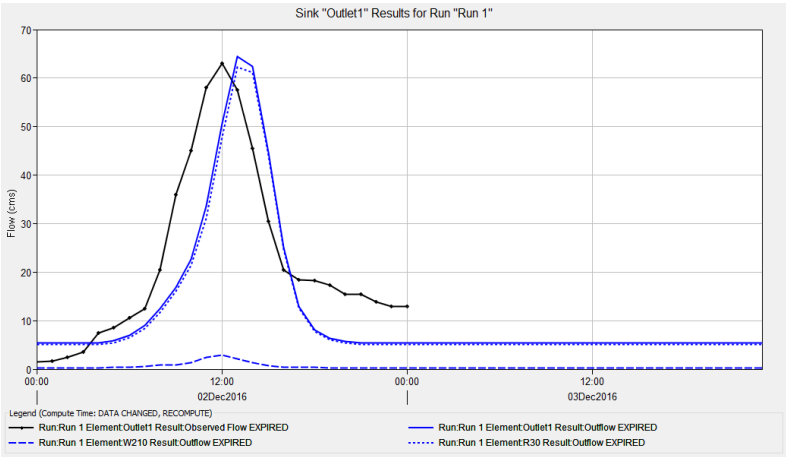
شکل ۷- شماتیک حوضه اوجان‌چای در محیط اکستنشن HEC-GeoHMS همراه با نام زیرحوضه‌ها

Fig.7. Schematic of Ojan Chay watershed in the HEC-GeoHMS extension along with the names of the sub-basins

برای تخمین پارامترها در نرم‌افزار HEC-HMS از فرایند بهینه‌سازی[1] که فرایندی تکرار شونده است، استفاده می‌شود. در این فرایند برای کمینه کردن میزان اختلاف هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی، یک تابع هدف در عنصری که در آن هیدروگراف مشاهداتی وجود دارد، بکار می‌رود و این تابع به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که اگر مقدار هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در عنصر موردنظر کاملاً برابر شوند، مقدار آن برابر صفر شود. همچنین، برای این تابع هدف، قیود به‌گونه‌ای تعریف می‌شوند که مقادیر پارامترهای تخمین زده شده در

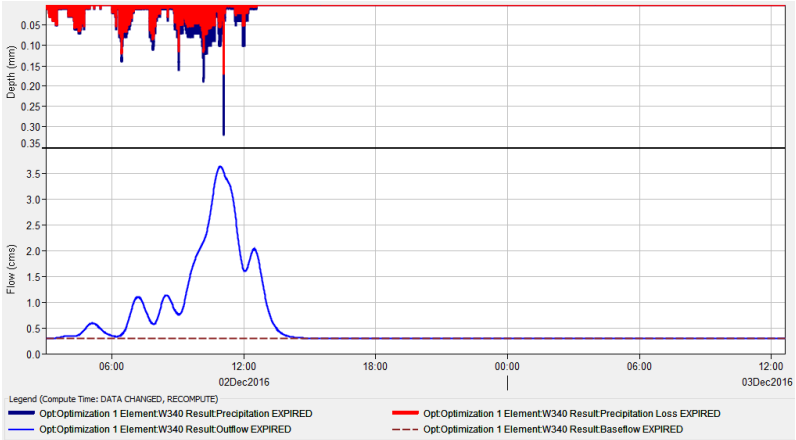
[1] - Optimization

محدوده مجاز باشند. در این فرایند بهینه‌سازی از دو روش بهینه‌سازی یک و چندمتغیره با شروع از مقداری مشخص و تعیین شده توسط کاربر استفاده می‌شود و مبنای توقف آن، رسیدن مقدار تابع هدف به حد مشخص و یا انجام شدن تعداد تکرارهای مشخص است (Modaresi & Araghinejad, 2017). در تحقیق حاضر از ارائه نتایج مدل بدون فرایند بهینه‌سازی خودداری می‌شود. در شکل (۸) هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی سیلاب در خروجی حوضه اوجان‌چای نمایش داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارایی نسبتاً خوب مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه آبریز اوجان‌چای- مخصوصاً در برآورد دبی‌های پیک سیلاب- می‌باشد. به‌طوری‌که مقایسه دبی پیک هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی نشان‌دهنده اختلاف کمتر از ۷ درصد می‌باشد.



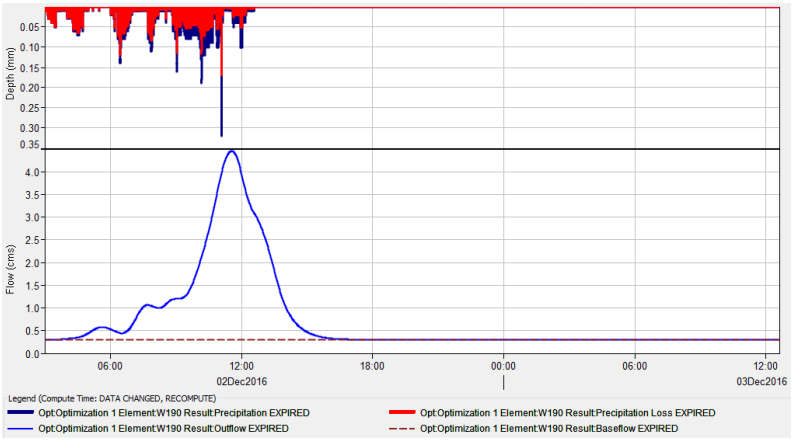
شکل ۸- هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی حوضه آبریز اوجان‌چای

Fig.8. Observational and computational output hydrograph of Ojan Chay watershed



شکل ۹- نمونه‌ای از شبیه‌سازی بارش- رواناب برای زیرحوضه شماره ۱

Fig.9. An example of rainfall-runoff simulation for sub-basin no1



شکل ۱۰- نمونه‌ای از شبیه‌سازی بارش- رواناب برای زیرحوضه شماره ۱۵

Fig.10. An example of rainfall-runoff simulation for sub-basin no15

در جدول (۲) دبی‌های پیک سیلاب‌های حوضه اوجان‌چای به ازای بارش‌های با دوره بازگشت مختلف ارائه گردیده است. همچنین در شکل (۱۱) دبی پیک سیلاب‌های زیرحوضه‌ها به ازای بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله ارائه شده است. نتایج حاصله را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- تغییرپذیری زیادی در دبی پیک سیلاب زیرحوضه‌ها وجود دارد. در این رابطه عوامل متعددی از قبیل ویژگی‌های مورفولوژیکی، پوشش زمین، شماره منحنی و ... در تغییرات شدید دبی اوج سیلاب‌های زیرحوضه‌ها مؤثرند. بیشترین میزان دبی‌های پیک سیلاب‌ها مربوط به زیرحوضه‌های شماره ۱، ۱۲ و ۷ می‌باشد. در این رابطه، دبی پیک سیلاب برای بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله در زیرحوضه‌های مذکور به ترتیب بالغ بر ۱۰/۷، ۸/۹ و ۷/۱ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. در زیرحوضه‌های مذکور علاوه بر مساحت زیاد، عوامل متعدد دیگری

از قبیل شماره منحنی بالا (به دلیل وجود خاک‌های با نفوذپذیری اندک و پوشش زمین) باعث افزایش رواناب-های ناشی از بارش می‌شود.

- با اینکه مساحت در میزان دبی‌های پیک سیلاب‌های زیرحوضه‌ها مؤثر است؛ بااین‌حال همبستگی قوی بین مساحت و مقدار دبی پیک مشاهده نمی‌شود. این امر بیانگر این است که نقش سایر فاکتورهای حوضه‌ای در میزان تولید و نحوه انتقال رواناب از اهمیت بالایی برخوردار است. در این زمینه، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شکل زیرحوضه‌ها به‌دلیل تأثیر زیاد بر پارامترهایی نظیر نفوذپذیری و تلفات بارش، زمان تأخیر و زمان تمرکز از اهمیت بالایی برخوردارند.

- در پهنه‌هایی از قسمت‌های میانی و بالادست حوضه به دلیل عوامل متعددی از قبیل وجود سازندهای زمین‌شناسی با نفوذپذیری اندک، پوشش ضعیف زمین، درجه ناهمواری بالا و شیب زیاد، پتانسیل تولید رواناب بالاست. در این رابطه می‌توان به زیرحوضه‌های ۱، ۳، ۷، ۱۱ و ۱۲ اشاره کرد که از بالاترین میزان دبی پیک برخوردارند. بدین ترتیب، در زیرحوضه‌های مذکور اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای در رابطه با مهار سیلاب در سرچشمه‌ها لازم به نظر می‌رسد.

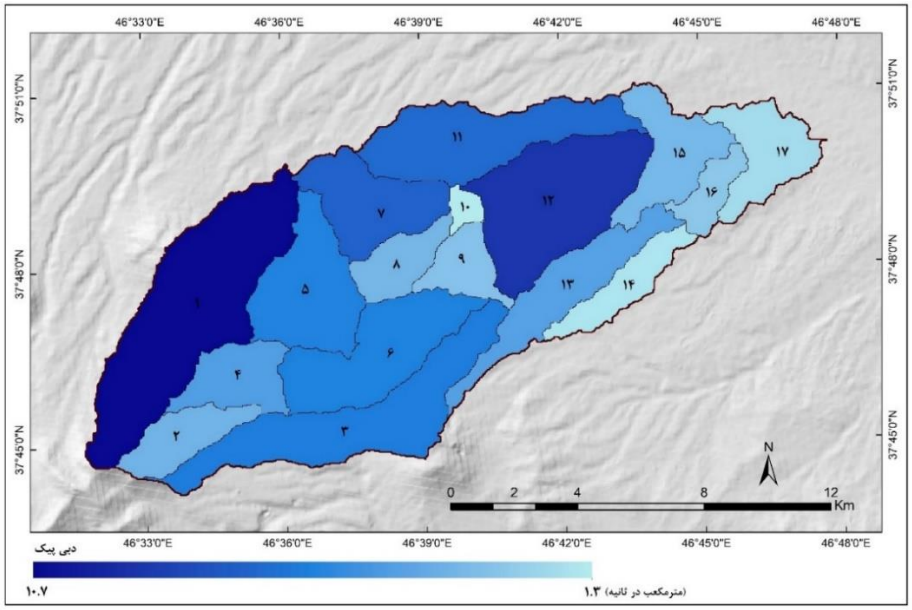
- بارش‌های با دوره بازگشت بیش از ۱۰ سال می‌توانند منجر به سیلاب‌هایی شوند که همراه با مخاطرات می‌باشند. در این رابطه دبی پیک حوضه آبریز اوجان‌چای برای بارش با دوره بازگشت ۱۰ سال حدود ٥٤/۷ مترمکعب در ثانیه، برای بارش با دوره بازگشت ۲٥ ساله حدود ٦٤/۲ مترمکعب در ثانیه، برای بارش با دوره بازگشت ٥۰ ساله حدود ۹۱/٤ مترمکعب در ثانیه، برای بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۱۲۸/٤ مترمکعب در ثانیه و برای بارش با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله حدود ۱٥۲/۷ مترمکعب در ثانیه است. سیلاب‌های مذکور می‌توانند شهر بستان‌آباد را نیز تحت تأثیر قرار دهند.

جدول ۲- دبی پیک سیل‌های حوضه اوجان‌چای (مترمکعب در ثانیه) برای بارش‌های با دوره‌های بازگشت مختلف

Table2-Peak discharge of floods in Ojan Chay basin (cubic meters per second) for rains with different return periods

زیرحوضه	۲ سال	۳ سال	٥ سال	۱۰ سال	۲٥ سال	٥۰ سال	۱۰۰ سال	۲۰۰ سال
شماره ۱	۰/۷٥	۱/٤۱	۳/۰۱	۸/۹٥	۱۰/٦٦	۱٥/۳۲	۲۱/۷۰	۲٥/۹۰
شماره ۲	۰/۲۸	۰/٤۷	۱/۰۷	۲/٦۰	۳/٦۹	٥/۳۳	۷/٥۸	۹/۰٦
شماره ۳	۰/٤۳	۰/۷۳	۱/۷۳	٥/۹۲	٦/۱٤	۸/۹۱	۱۲/۷۳	۱٥/۲٦
شماره ٤	۰/٥٥	۰/۸۱	۱/٥۹	٤/۲۷	٤/۷۱	٦/٥٦	۹/۰٦	۱۰/٦۸
شماره ٥	۰/٤۷	۰/۷۷	۱/۷۳	٥/۷۰	٥/۹۲	۸/٥۲	۱۲/۰۸	۱٤/٤۳
شماره ٦	۰/٤٥	۰/۷٥	۱/۷۲	٥/۷٤	٥/۹۷	۸/٦۲	۱۲/۲٦	۱٤/٦٦
شماره ۷	۰/٦۳	۱/۱۲	۲/۱۳	٥/۹٤	۷/۱۲	۹/۹۹	۱۳/۸۷	۱٦/٤۰

شماره ۸	۰/۳۲	۰/۵۰	۱/۰۹	۲/٤۷	۳/۵۵	۵/۰۵	۷/۱۱	۸/٤٦
شماره ۹	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۸۸	۱/٦۷	۳/۰۱	٤/۳٤	٦/۱٦	۷/۳٦
شماره ۱۰	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/٤۱	۰/۷۵	۱/۳۱	۱/۸٦	۲/٦۱	۳/۱۰
شماره ۱۱	۰/۹۰	۱/۲۹	۲/٤٤	۷/۵۱	٦/۸۸	۹/٤۷	۱۲/۹٤	۱۵/۱۸
شماره ۱۲	۰/۹۲	۱/٤٤	۲/۹۹	۸/۷٦	۸/۹۲	۱۲/٤٤	۱۷/۱۸	۲۰/۲٦
شماره ۱۳	۰/۵٤	۰/۸۰	۱/۵٦	٤/۰۹	٤/۵۷	٦/۳۵	۸/۷۵	۱۰/۳۰
شماره ۱٤	۰/۰۸	۰/۱٦	۰/٤۲	۱/۹۰	۱/٦۷	۲/٤۹	۳/٦۳	٤/٤۰
شماره ۱۵	۰/۲۷	۰/٤٤	۱/۰۱	۲/۳۱	۳/٤۸	۵/۰۱	۷/۱۲	۸/۵۱
شماره ۱٦	۰/۳۳	۰/٤۸	۰/۹۵	۱/۵۰	۲/۷۸	۳/۸۷	۵/۳۳	٦/۲۸
شماره ۱۷	۰/۰٦	۰/۱۳	۰/٤۳	۰/۰٤	۱/۹۷	۳/۰۱	٤/٤۹	۵/٤۸
خروجی	۵/۷۳	۹/۲۸	۱۹/٦۲	۵٤/٦۹	٦٤/۲٤	۹۱/۳۷	۱۲۸/۳۸	۱۵۲/٦٦



شکل ۱۱- دبی پیک زیرحوضه‌های اوجان‌چای برای بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله (حدود ۳٤ میلی‌متر)

Fig.11. Peak discharge of Ojan Chay sub-basins for rainfall with a return period of 10 years (about 34 mm)

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور تهیه نقشه سیلاب حوضه اوجان‌چای تعداد ۱٦ متغیر مکانی موردتوجه قرار گرفته و با کاربست منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شدند. نتایج نشان داد که بالغ بر ۳/۲ درصد از مناطق مسکونی با مساحتی در حدود ۱۱/۱ هکتار در کلاس با خطرپذیری بسیار زیاد و حدود ٤۲/۹ درصد با مساحتی بالغ بر ۳۵/۹ هکتار در کلاس با خطرپذیری زیاد واقع شده‌اند. حوضه اوجان‌چای دارای

توپوگرافی و شیب تندی بوده که این امر باعث محدودیت شدید فضا جهت توسعه سکونتگاه‌ها شده است. بدین ترتیب، بخش عمده‌ای از توسعه فضایی- کالبدی سکونتگاه‌های موجود در منطقه در بستر دره‌های اصلی حوضه صورت گرفته است. در سال‌های اخیر ساخت ویلاها و خانه‌باغ‌ها به پدیده‌ای رایج در سطح منطقه تبدیل شده است. هر چند سیلاب‌های با دوره بازگشت پایین خطر جدی برای سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های انسانی موجود در بستر دره‌ها ایجاد نمی‌کند؛ بااین‌حال، نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS نشان داد که سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰ سال و مخصوصاً بالاتر از ۲۵ سال از دبی قابل‌توجهی برخوردار می‌باشند که می‌توانند بخش‌های قابل‌توجهی از بستر دره‌های کم‌عرض منطقه را غرقاب سازند. بدین ترتیب توسعه ساخت‌وساز در بستر و حریم رودخانه‌های حوضه باعث افزایش جدی خطر سیلاب شده است. همچنین ارزیابی متغیرهای مؤثر بر سیلاب و نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نشان داد که حوضه آبریز اوجان‌چای دارای پتانسیل تولید رواناب بالایی می‌باشد. نتایج تحقیق بیانگر کارایی بالای مدل HEC-HMS به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب در سطح حوضه اوجان- چای می‌باشد. مخصوصاً دقت این مدل در برآورد دبی‌های پیک حوضه مناسب می‌باشد. به‌طوری‌که اختلاف بین دبی پیک هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی کمتر از ۷ درصد می‌باشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هیدروگراف سیلاب زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه اوجان‌چای تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی- های ژئومورفومتری و پوشش زمین می‌باشد. پیک‌های بالا در زیرحوضه‌های با کمترین میزان پوشش حفاظتی، شیب زیاد، نفوذپذیری کم، فراوانی برون‌زدهای سنگی و سطوح غیرقابل نفوذ مشاهده می‌شود. این زیرحوضه‌ها مخصوصاً در قسمت‌های بالادست حوضه واقع شده‌اند. Yousefi, Golshan, & Pirnia, (2018) کارایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را جهت شبیه‌سازی سیل در دو حوضه کسیلیان (با اقلیم مرطوب) و حوضه کارده (با اقلیم خشک) مورد بررسی قرار دادند. نتایج کارایی مدل نشان داد که HEC-HMS در هر دو حوضهٔ آبخیز از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. ولی کارایی مدل مذکور جهت مدیریت وقایع در حوضهٔ آبخیز کسیلیان نسبت به حوضه کارده سیل نسبتاً بالاتر است. Rahimzadeh, & Habibi, (2018) با استفاده از مدل HEC-HMS حجم و دبی اوج سیلاب حوضه روانسر کرمانشاه را شبیه‌سازی کردند. ایشان نتیجه‌گیری کردند که درصورتی‌که پارامترهای متغیر مدل مانند شماره منحنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر به‌درستی محاسبه شده باشند، مدل از توان بالایی جهت برآورد دبی اوج و حجم سیلاب برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج مطالعه Mazidi, & Kooshki, (2015) در مورد شبیه‌سازی بارش-رواناب و تخمین سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد با استفاده از مدل HEC-HMS نشان داد که بین هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده سازگاری وجود دارد. همچنین اعتبارسنجی مدل با شاخص‌هایی مانند ناش-ساتکلیف و ضریب واریانس نیز کارایی بالای مدل را در برآورد دبی پیک در حوضه موردمطالعه نشان می‌دهد.

References

Ajin, R.S., Krishnamurthy, R.R, Jayaprakash, M., & Vinod, P.G. (2013). Flood Hazard Assessment of Vamanapuram River Basin, Kerala, India: An Approach Using Remote Sensing & GIS Techniques. *Advances in Applied Science Research*, 4(3), 263–274. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2331182

Ali Mohammad, J.K., Aslam, I., & Khan, Z. (2011). Simulation of the Impacts of Landuse Change on Surface Runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landscape and Urban Planning*, 102(4), 271–279. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05.006

Allafta, H., & Opp, C. (2021). GIS-Based Multi-Criteria Analysis for Flood Prone Areas Mapping in the Trans-Boundary Shatt Al-Arab Basin, Iraq-Iran, Geomatics. *Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2087-2116. https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1955755

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, UN International Strategy for Disaster Reduction (CRED, UNISDR) (2015). The Human Cost of Natural Disasters 2015: A Global Perspective, Report available at https://reliefweb.int/report/world/human-cost-natural-disasters-2015-global-perspective

Chen, Y., Liu, R.D., Barrett, D., Gao, L., Zhou, M., Renzullo, L., & Emelyanova, I. (2015). A Spatial Assessment Framework for Evaluating Flood Risk under Extreme Climates. *Science of the Total Environment*, 538, 512-523. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.094

Dung, N.B., Long, N.Q., Tran, A.D., & Tuyet, M.D. (2021). Multi-Geospatial Flood Hazard Modelling for a Large and Complex River Basin with Data Sparsity: A Case Study of the Lam River Basin, Vietnam. *Earth Systems and Environment*, 6 (20), 715-731. https://doi.org/10.1007/s41748-021-00215-8

Dung NB, Tuyet MD, Ahmad A, Long NQ. (2020). The Role Of Relative Slope Length In Flood Hazard Mapping Using Ahp And Gis (Case Study: Lam River Basin, Vietnam). Geography, Environment, Sustainability, 13(2): 118-126.https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-48

Ganji, K., Gharechelou, S., & Ahmadi, A. (2022). Determining Effective Factors on Gorganrood River Flooding and Micro-Zoning of Flood Risk Analysis in Aq'Qala County Using AHP Method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *10*(4), 25-46. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68419.1011

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

Hydrologic Engineering Center. (2013). HEC-GeoHMS, Geospatial Hydrologic Modeling Extension. US Army Corps of Engineers.

Hydrologic Engineering Center. (2016). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. US Army Corps of Engineers.

Iwahashi, J., Pike, R.J. (2007). Automated Classifications of Topography from DEMs by an Unsupervised Nested-Means Algorithm and a Three-Part Geometric Signature. *Geomorphology*, 86(3-4), 409–440. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012

Jahanbakhsh Asl, S., Asad, M., & Akbari, E. (2016). The Potential Evaluation of Wind Power Plants by Using the Fuzzy- AHP Methods in GIS (Case Study: North East of IRAN).

Journal of Geography and Planning, *20*(56), 55-72. [In Persian] https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_4981.html

Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P. (2011). Flood Management and a GIS Modelling Method to Assess Flood-Hazard Areas—A Case Study. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 212-225. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836

Kumar, S., Gupta, S. (2016). Geospatial Approach in Mapping Soil Erodibility Using CartoDEM – A Case Study in Hilly Watershed of Lower Himalayan Range. *Journal of Earth System Science*, 125, 1463–1472. https://doi.org/10.1007/s12040-016-0738-2

Lee, S. (2007). Application and Verification of Fuzzy Algebraic Operators to Landslide Susceptibility Mapping. Environmental Geology 52, 615–623. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0491-y

Liu, J.G., & Mason, P.J. (2009). *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. New Jersey, John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118687963

Luca, F., Conforti, M., & Robustelli, G. (2011). Comparison of GIS-based Gullying Susceptibility Mapping Using Bivariate and Multivariate Statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, 134(3-4), 297-308. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.006

Mazidi, A., & Kooshki, S. (2015). Simulation of Rainfall-Runoff Process and Estimate of Flood with HEC-HMSModel in Khorramabad Catchment Area. *Geography and Development*, *13*(41), 1-10. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2236

Mesri Alamdari, P. (2021). Spatial Analysis of Flood Hazard in Ajabshir Ghaleh Chay Catchment using GIS and HEC-HMS Model. *Quantitative Geomorphological Research*, *10*(1), 93-111. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_134562.html

Modaresi, F. & Araghinejad, Sh. (2017) Practical training of the hydrological modelling of the watershed in HEC-HMS and HEC-GeoHMS, Noavar publication.

Moradnezhadi, M., Jourgholami, M., & Malekian, A. (2015). Evaluating the HEC-HMS Hydrologic Model in Order to Simulating Flood Hydrograph in Forest Basin (Case Study: Kheyrud Forest). *Forest and Wood Products*, *68*(3), 625-639. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jfwp.2015.55594

Nandalal, H.K., Ratnayake, U.R. (2011). Flood Risk Analysis Using Fuzzy Models. *Journal of Flood Risk Management*, 4, 128–139. https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01097.x

Qin C.Z., Zhu, A.X., Pei, T., & Li B.L., Scholten, T., Behrens, T., & Zhou, C.H. (2011). An Approach to Computing Topographic Wetness Index Based on Maximum Downslope Gradient. Precision Agric 12, 32–43. https://doi.org/10.1007/s11119-009-9152-y

Rahimzadeh, Z., & Habibi, M. (2018). Simulation of Hydrograph of Flood with Hydrological Model HEC-HMS and Prediction of Return Period in Kermanshah Ravansar Basin. *Geography and Development*, 16(53), 175-194. [In persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2018.4186

Rashetnia, S. (2016). Flood Vulnerability Assessment by Applying a Fuzzy Logic Method: A Case Study from Melbourne. Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering, College of Engineering and Science Victoria University, Melbourne, Australia. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132844539

Sarvar, H., & Kherizadeh Arouq, M. (2015) Feasibility of optimal physical development of Maragheh city using geographic information system (GIS). Research project, Maragheh University.

Sistani Badooei, M., Negaresh, H., & Fotoohi, S. (2017). Zoning Flood Hazard in the GabrikDrainage Basin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *6*(2), 163-182. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v6i2.59833

Sui, Y., Lang, X., & Jiang, D. (2018). Projected Signals in Climate Extremes Over China Associated with a 2°C Global Warming Under Two RCP Scenarios. *International Journal of Climatology*, 38 (S1): 678–697. https://doi.org/10.1002/joc.5399

Tella, A., & Balogun, A.L. (2020). Ensemble Fuzzy MCDM for Spatial Assessment of Flood Susceptibility in Ibadan, Nigeria. *Nat Hazards*, 104, 2277–2306. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04272-6

Toya, H., Skidmore, M. (2007). Economic Development and the Impacts of Natural Disasters. *Econ. Lett*, 94 (1), 20–25. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.06.020

Yariyan, P., Avand, M., Ali Abbaspour, R., Torabi Haghighi, A., Costache, R., Ghorbanzadeh, O., Janizadeh, S., & Blaschke, T. (2020). Flood Susceptibility Mapping Using an Improved Analytic Network Process with Statistical Models. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2282-2314. https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1836036

Yousefi, H., Golshan, M., & Pirnia, A. (2018). Performance of HEC-HMS Hydrological Model in Simulation of Flood Hydrograph in Arid and Humid Watersheds. *Iranian journal of Ecohydrology*, *5*(1), 319-330. [In Persian] https://doi.org/ 10.22059/ije.2018.240802.715

Zare, M., Azari, M., & Rezaei Arefi, M. (2024). Comparison of different multi-criteria decision-making methods for prioritization of flood source areas in Kashafrood basin. Journal of Geography and Environmental Hazards, 13(4), -. https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.88777.1498

Vol.13, No2, Summer 2024, pp.92-114 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83439.1397 Open access

Investigation of the Thermal Anomaly Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran

Mostafa Heidari[a], Ahmad Mazidi[*b], Iman Rousta[b]

[a] *Master in Remote Sensing,Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran*
[b] *Associate Professor in Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran*

Received: 15 July 2023 ***Revised: 10 August 2023*** ***Accepted: 18 August 2023***

Abstract

The warming of the air and the earth before the occurrence of earthquakes is a precursor that has been known since ancient times. Today, the truth of this myth, with the scientific title of thermal anomaly, has been proven in many earthquakes. The present study aims to investigate the occurrence of the anomaly in the long-term period of three years before the 2017 Azgeleh earthquake, using the simple method of deviation from the moving average. The results showed that one or two weeks before the occurrence of the earthquake, a rare or unprecedented daily anomaly occurred in both the meteorological parameters of air temperature, soil temperature, and air humidity at the synoptic station of Tazeh-Abad, as well as in the satellite parameter of the land surface temperature. These thermal anomalies can be related to the occurrence of the earthquake. The spatial investigation of the land surface temperature anomaly that occurred 15 days before the earthquake, revealed that on that day, the land boundary between the Arabian and Eurasian plates in the west of Iran was warm, and a hot area appeared in the center of Iraq with elongation toward the epicenter of the earthquake. Other tests showed that this simple anomaly detection method is also able to identify the thermal anomaly before the 2003 Bam and 2010 Mohammad-Abad Rigan earthquakes, both in Kerman province. The Azgeleh earthquake was a typical earthquake of the active and densely populated Zagros zone. This type of research hopes to better understand the precursors of earthquakes in each zone, with the aim of realizing the dream of earthquake prediction.

Keywords: Thermal anomaly, Earthquake prediction, Earthquake precursors, Land surface temperature, Moving average deviation method, Zagros region of Iran

[*]. Corresponding author: Ahmad Mazidi Email: mazidi@yazd.ac.ir Tel:+989133531135

How to cite this Article: Heidari, M., Mazidi, A., & Rousta, I. (2022). Investigation of the Thermal Anomaly Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 93-114.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۹۲ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83439.1397 دسترسی آزاد

بررسی پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه

مصطفی حیدری - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران
دکتر احمد مزیدی[1] - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران
دکتر ایمان روستا - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۴ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۵/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۵/۲۷

چکیده

گرم شدن هوا و زمین پیش از رخداد زلزله‌ها، پیش‌نشانگری است که از دوران باستان شناخته شده است. امروزه درستی این افسانه، با عنوان علمی ناهنجاری حرارتی، در زلزله‌های بسیاری به اثبات رسیده است. هدف این پژوهش، بررسی بروز این ناهنجاری در دورهٔ بلندمدت سه سالهٔ پیش از زلزلهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه با روش سادهٔ انحراف از میانگین متحرک است. نتایج نشان داد که در یکی دو هفته پیش از رخداد این زلزله، هم در پارامترهای هواشناسی دمای هوا، دمای خاک و رطوبت هوا در ایستگاه همدید تازه‌آباد و هم در پارامتر ماهواره‌ای دمای سطح زمین، ناهنجاری روزانهٔ کم‌سابقه یا بی‌سابقه‌ای رخ داده است. این ناهنجاری‌ها حرارتی می‌تواند با رخداد زلزله در پیوند باشد. بررسی مکانی ناهنجاری در دمای سطح زمین که ۱۵ روز پیش از زلزله رخ داده بود، روشن ساخت که در آن روز، مرز خشکی دو صفحهٔ عربستان و اوراسیا در غرب ایران، گرم بوده و ناحیه‌ای داغ در مرکز عراق با کشیدگی به سمت رومرکز زلزله پدیدار شده است. دیگر آزمون‌ها نشان داد این روش سادهٔ کشف ناهنجاری، قادر به شناسایی ناهنجاری حرارتی پیش از زلزله‌های ۱۳۸۲ بم و ۱۳۸۹ محمدآباد ریگان، هر دو در استان کرمان نیز هست. زلزلهٔ ازگله، شاخصی برای زلزله‌های منطقهٔ فعال و پرجمعیت زاگرس است. امید این دست پژوهش‌ها، شناخت بهتر پیش‌نشانگرهای زلزله در هر منطقه با هدف تحقق رؤیای پیش‌بینی زلزله است.

کلیدواژه‌ها: ناهنجاری حرارتی، پیش‌بینی زلزله، پیش‌نشانگرهای زلزله، دمای سطح زمین، روش انحراف از میانگین متحرک، زاگرس ایران

[1] نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۳۳۵۳۱۱۳۵ Email:mazidi@yazd.ac.ir

مقدمه

زلزله از ویرانگرترین مخاطرات است. بشر دریافته که پیش از زلزله‌های بزرگ، نشانه‌هایی پدیدار می‌شود (جدول ۱). هدف از بررسی این پدیده‌ها، پیش‌بینی زلزله‌های آینده است. امروز، هرگونه تغییر قابل‌اندازه‌گیری در میانگین مشاهدات محیطی، پیش از رخداد زلزله را با نام پیش‌نشانگر زلزله می‌شناسیم. یکی از آن‌ها، ناهنجاری حرارتی است که مهم‌ترین پارامتر آن، دمای سطح زمین (LST)[1] است و عموماً یکی دو هفته پیش از رخداد زلزله‌های بزرگ، چند درجهٔ سلسیوس در رومرکز افزایش می‌یابد (Zhao, Pan, Sun, Guo, Zhang, & Feng, 2021).

با آغاز عصر فضا و پرتاب ماهواره‌های دیدبانی زمین در نیمهٔ دوم سدهٔ بیستم، علم سنجش‌ازدور پا گرفت که هنر و فن‌آوری کسب اطلاعات از پدیده‌ها از راه دور است. در دهۀ ۱۹۸۰، برای نخستین بار، تغییر دمای سطح زمین پیش از زلزله‌های آسیای میانه در تصاویر حرارتی دیده شد؛ و این‌چنین، تاریخچهٔ کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی در بررسی پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی در زلزله‌ها گشوده شد(Tronin, 2010).

کلید پیش‌بینی زلزله، پایش پیش‌نشانگرها و کشف ناهنجاری در آن‌ها با تحلیل سری زمانی است. هر چه شدت ناهنجاری بیشتر باشد، زلزله‌ای با بزرگای بیشتر و یا عمقی کمتر رخ می‌دهد (Shen, Zhang, Hong, Jing, & Zhao, 2013)؛ اما منتقدان معتقدند مبنای نظری پیش‌نشانگرها و مکانیسم ناهنجاری‌ها کاملاً روشن نیست؛ و زلزله‌های بزرگ نادرند و قابل تکرار نیستند. همچنین داده‌های ماهواره‌ای و الگوریتم‌های سنجش‌ازدوری دارای عدم قطعیت‌اند و با چالش‌های فراوانی روبرو هستند(Picozza, Conti, & Sotgiu, 2021).

جدول ۱- فهرست کلی پیش‌نشانگرهای رایج زلزله(Conti, Picozza, & Sotgiu, 2021)

Table1- General list of common earthquake precursors

سپهر	پیش‌نشانگر	
سنگ‌کره	– وقوع پیش‌لرزه و تغییر لرزه‌خیزی	– تغییر دما و رطوبت سطح و اعماق زمین
	– جابجایی و دگرشکلی زمین	– تغییر رسانایی و مقاومت خاک
آب‌کره	– تغییر دبی رود و چشمه	– تغییر دمای آب چاه، رود، چشمه و دریا
	– تغییر سطح آب‌های زیرزمینی	– تغییر عناصر شیمیایی آب چشمه و چاه
هواکره	– تغییر دما و رطوبت و فشار هوا	– تغییر محتوای هواویز
	– تغییر محتوای گازهای جو	– تشکیل ابر زلزله
سایر	– تغییر محتوای کل الکترون و شب‌تابی	– آشفتگی میدان الکتریکی یا مغناطیسی زمین
	– تغییر گرانش زمین	– تغییر رفتار جانوران

[1] Land Surface Temperature

گرم شدن هوا و زمین پیش از زلزله‌ها، از دوران چین باستان شناخته شده بود (Feng & wu 2010). اعتقاد بر این است که تنش موجود در پوستهٔ زمین و افزایش آن پیش از زلزله، سبب افزایش LST و درنتیجه افزایش تابش مادون‌قرمز حرارتی (TIR)[1] می‌شود(Saraf, Rawat, Choudhury, Dasgupta, Das, 2009). این افزایش تابش TIR که توسط ماهواره‌ها قابل‌تشخیص بوده و بروز آن پیش از زلزله‌ها بارها گزارش شده است، ناهنجاری حرارتی خوانده می‌شود(Freund, et al., 2005).

تاکنون چندین فرضیه برای توجیه گرمای پیش از زلزله ارائه شده است؛ ازجمله تراوش گاز و بخارآب از زمین در اثر باز شدن حفره و شکاف‌های درون زمین و انتقال گرمای همرفتی با تشدید اثر گلخانه‌ای محلی (Qiang, Xu, & Dian, 1991)، ایجاد گرما در اثر اصطکاک بین بلوک‌های گسل(Bhardwaj, et al., 2017) ، گرمازایی در واکنش یونیزاسیون هوا توسط گاز مادون منتشرشده از زمین(Pulinets, 2004) و جدا شدن الکترون‌های آنیون اکسیژن از سنگ‌های آذرین که سبب تابش امواج مادون‌قرمز میانی (MIR)[2] و ثبت آن در تصاویر حرارتی به‌صورت گرما می‌شود(Freund, 2002).

بررسی ناهنجاری حرارتی در زلزله‌ها، ادبیاتی غنی دارد (Tramutoli, et al., 2015). نخستین مورد در تاریخ علم، متعلق به (Gornyi, Salman, Tronin, & Shilin, 1988) است که بروز آن پیش از زلزله‌های آسیای میانه را در تصاویر حرارتی ماهوارهٔ NOAA نشان دادند.(Qiang, Xu, & Dian, 1997) با تصاویر ماهوارهٔ Meteosat به افزایش دمای زمین تا ٦ درجهٔ سلسیوس در هفتهٔ منتهی به زلزله‌ای در چین پی بردند. (Tronin, Hayakawa, & Molchanov, 2002) با بررسی هفت سال تصاویر حرارتی ماهوارهٔ NOAA در شرق آسیا، بین ناهنجاری‌های مثبت حرارتی در گسل‌ها و رخداد زلزله‌های کم‌عمق در چین و ژاپن، همبستگی خوبی یافتند.

(Ouzounov, & Freund, 2004) برای اولین بار با محصولات سنجندهٔ MODIS، ثابت کردند که ٦ روز پیش از زلزلهٔ گجرات هند، LST در رومرکز تا ٤ درجهٔ سلسیوس افزایش یافته است. (Saraf, et al., 2008) با کاوش ده زلزلهٔ ایران ازجمله زلزلهٔ بم روی تصاویر حرارتی ماهوارهٔ NOAA، دریافتند که ۱۰ تا ۱ روز پیش‌ازاین زلزله‌ها، افزایشی در LST رومرکز با شدت ۲ تا ۱۳ درجهٔ سلسیوس رخ داده است.

(Saradjian, & Akhoondzadeh, 2011) با محصول LST سنجندهٔ MODIS، بروز ناهنجاری حرارتی، ۲۰ تا ۱ روز پیش از زلزله‌های بم، زرند و بروجرد را با شدتی تا ۳ درجهٔ سلسیوس شناسایی کردند. (Akhoondzadeh, 2014) بروز ناهنجاری LST در ۸ روز پیش از زلزلهٔ سراوان را کشف کرد. (Bellaoui, Hassini, & Bouchouicha, 2017) با بررسی پنج سال تصاویر حرارتی شبگاه سنجندهٔ MODIS و آمار

[1] Thermal Infrared
[2] Mid-Infrared

دمای هوای سه ایستگاه هواشناسی نزدیک، ناهنجاری حرارتی مثبتی را به‌طور هم‌زمان در هر دو سری داده، پیش از زلزله‌ای در الجزایر یافتند.

(Barkat, et al., 2018) در محصول LST سنجندهٔ MODIS، افزایشی ۳ تا ۱۰ درجهٔ سلسیوس در یکی دو هفته پیش از سه زلزلهٔ پاکستان یافتند.(Khalili, Alavi Panah, Abdollahi Eskandar, 2019) با کاوش همین محصول در دورهٔ ده‌ساله، رومرکز زلزله سراوان را در سال رخداد این زلزله و در روزهای پیش و پس‌ازآن، ناهنجار دیدند.

(Genzano, Filizzola, Hattori, Pergola, & Tramutoli, 2021) با بررسی ۱۱ سال تصاویر حرارتی شبگاه ماهواره‌های MTSAT، دریافتند که ٦۲ درصد ناهنجاری‌های حرارتی رخ‌داده در ژاپن، به زلزله‌ای با بزرگای دست‌کم ٦ ختم شده است. عین همین پژوهش را (Filizzola, et al., 2022) با بررسی ۱۲ سال تصاویر حرارتی شبگاه ماهوارهٔ Meteosat روی ترکیه انجام دادند و به نسبت ۷٤ درصد برای زلزله‌های با بزرگای دست‌کم ٤ رسیدند.

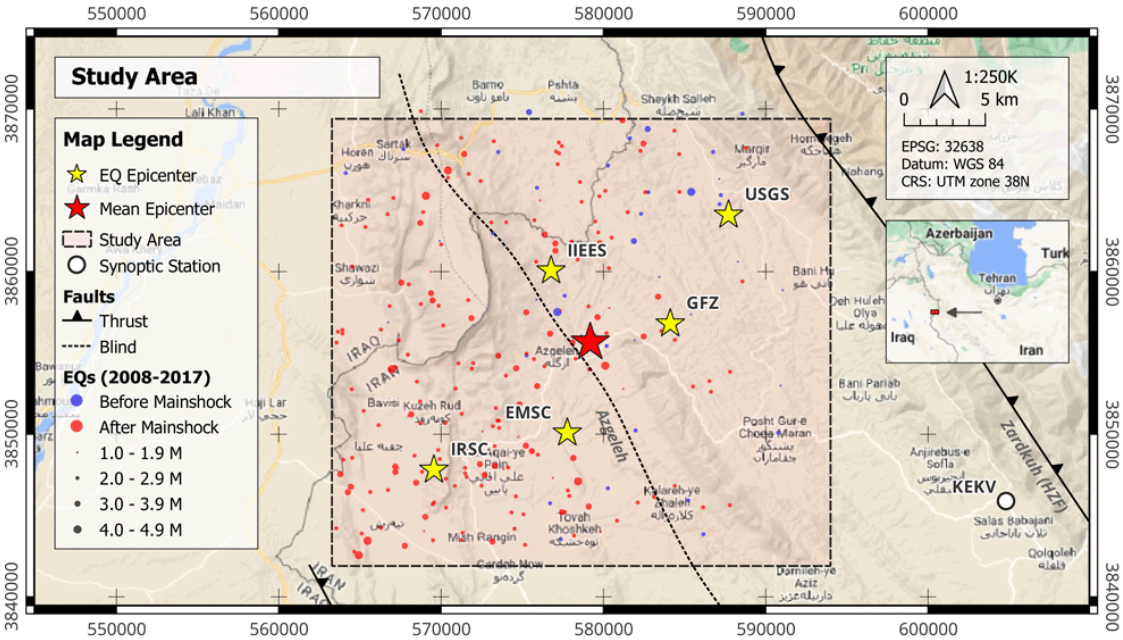
(Askari, Hafezi, Rahimi tabar, & Ansari, 2010) در تصاویر حرارتی ماهوارهٔ NOAA، افزایش شدیدی در ٦ روز پیش و در رومرکز زلزلهٔ راور دیدند. (Choubsaz, Akhoondzadeh, & Saradjian, 2015) نیز با همین تصاویر، بروز ناهنجاری حرارتی در یکی دو هفته پیش از سه زلزلهٔ اهر، کاکی و سراوان را یافتند. (Saber Mahani, & Sepahvand, 2017) با محصول LST شبگاه سنجندهٔ MODIS، بروز ناهنجاری حرارتی در ۲ روز پیش از زلزلهٔ محمدآباد ریگان را شناسایی کردند. (Khoshgoftar, Saradjian, 2021) در محصول LST سنجندهٔ MODIS و سه پیش‌نشانگر دیگر، انواع ناهنجاری در دو زلزلهٔ بم و ازگله را تشخیص دادند؛ چنان که بازهٔ زمانی و بزرگای هر دو، قابل پیش‌بینی بوده است.

ایران در کمربند زلزلهٔ آلپ هیمالیا و در برخوردگاه صفحهٔ عربستان با اوراسیا قرار دارد و زلزله‌خیز است. واپسین زلزلهٔ شدید ایران، زلزلهٔ ۱۳۹٦ ازگلهٔ کرمانشاه است. در این پژوهش، یک بار دیگر بروز پیش‌نشانگر حرارتی در این زلزله، ولی برای اولین بار در دوره‌ای بلندمدت و با روشی ساده و با کمک داده‌های ایستگاه همدید، بررسی خواهد شد. زلزلهٔ ازگله، شاخصی برای زلزله‌های منطقهٔ لرزه‌ای زاگرس است. هر دو سال یک بار، زلزله‌ای با بزرگای دست‌کم ٦، سبب جان باختن و بی‌خانمانی ساکنان این منطقه می‌شود. منطقهٔ زاگرس، ده استان و یک‌چهارم جمعیت کشور را در خود جای داده است. هر شناختی از فرآیند پیش‌نشانگری زلزله‌ها با رویکرد هشدار یا پیش‌بینی، می‌تواند منجر به حفظ جان و مال مردم و مدیریت بهتر بحران گردد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ موردمطالعه

مرکز ثقل رومرکزهای زلزله در گزارش‌ها (جدول ۲)، به‌عنوان مرکز منطقهٔ موردمطالعه در نظر گرفته شد. این نقطه در ۲ کیلومتری جهت ENE شهر ازگله قرار دارد. مرز منطقه به اندازهٔ یک انحراف معیار از پراکندگی رومرکزها، دورتر از رومرکزهای پیرامونی کشیده شد. منطقهٔ موردمطالعه، ۳۰/۷ کیلومتر طول و ۲۷/۵ کیلومتر عرض دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ موردمطالعه، رومرکزهای زلزلهٔ ازگله و ایستگاه سینوپتیک تازه‌آباد.

Fig.1. The location of the study area, epicenters of Azgeleh earthquake and Tazehabad synoptic station

زلزلهٔ موردمطالعه

روز یکشنبه، ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ ساعت ۱۸:۱۸ به‌وقت جهانی، برابر با ۲۱ آبان ۱۳۹۶ ساعت ۲۱:۴۸ به‌وقت محلی، زلزله‌ای با بزرگای ۷/۳ در غرب کشور در نزدیکی شهر ازگله در شهرستان ثلاث باباجانی در استان کرمانشاه و در چند کیلومتری مرز عراق به وقوع پیوست.

زلزلهٔ ازگله، مرگبارترین زلزلهٔ جهان در سال ۲۰۱۷ و خونبارترین زلزلهٔ ایران از سال ۲۰۰۳ است که در آن دست‌کم ۶۳۰ نفر جان باختند و بیش از ۹ هزار نفر مجروح شدند. همچنین، چند شهر به‌طور کامل یا

جزئی تخریب شد و ۳۰ هزار واحد مسکونی روستایی آسیب جدی دید و در مجموع زندگی ۴۳۰ هزار نفر تحت تأثیر قرار گرفت(Maghsoudi & Moshtari, 2021) و در پی عدم تاب‌آوری مردم، پیامدهای ناگوار اجتماعی، خانوادگی، اقتصادی، بهداشتی و روانی به بار آورد(Shahbazi, Papzan, & Gholami, 2021).

ویژگی‌های لرزه‌شناسی این زلزله از آخرین نسخهٔ گزارش‌های بین‌المللی گرفته شد (جدول ۲ و شکل ۱).

جدول ۲- ویژگی‌های لرزه‌شناسی زلزلهٔ ۱۳۹۶ ازگله.

Table2- Seismological characteristics of the 2017 Azgeleh earthquake

کد	زمان (UTC)	طول (E)	عرض (N)	عمق (km)	بزرگا (M)	منبع گزارش
IRSC	۱۸:۱۸:۱۶/۴	۴۵/۷۶	۳۴/۷۷	۱۸	۷/۳	مرکز لرزه‌نگاری کشوری، دانشگاه تهران
IIEES	۱۸:۱۸:۱۷/۸	۴۵/۸۴	۳۴/۸۸	۱۸	۷/۳	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی ایران
USGS	۱۸:۱۸:۱۷/۲	۴۵/۹۶	۳۴/۹۱	۱۹	۷/۳	سازمان زمین‌شناسی آمریکا
EMSC	۱۸:۱۸:۱۷/۳	۴۵/۸۵	۳۴/۷۹	۲۴	۷/۳	مرکز زلزله‌شناسی اروپا و مدیترانه
GFZ	۱۸:۱۸:۱۷/۲	۴۵/۹۲	۳۴/۸۵	۲۲	۷/۳	مرکز پژوهشی علوم زمین آلمان
میانگین	۱۸:۱۸:۱۷/۲	۴۵/۸۷	۳۴/۸۴	۲۰	۷/۳	-

دریافت داده‌های هواشناسی

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی همدید، در ۱۱ کیلومتری منطقهٔ موردمطالعه، ایستگاه تازه‌آباد با کد KEKV، شناسهٔ ۹۹۴۲۸ و ارتفاع ۱۲۲۶ متر از سطح دریا است (شکل ۱). انواع پارامترهای دمای هوا (AT)[1]، رطوبت هوا و دمای خاک این ایستگاه برای دورهٔ سه سالهٔ ۲۰۱۵ تا پایان ۲۰۱۷ از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO)[2] دریافت شد. داده‌های این ایستگاه مفقودی کمی دارد ولی از لحظهٔ زلزله تا دو هفته قطع می‌شود.

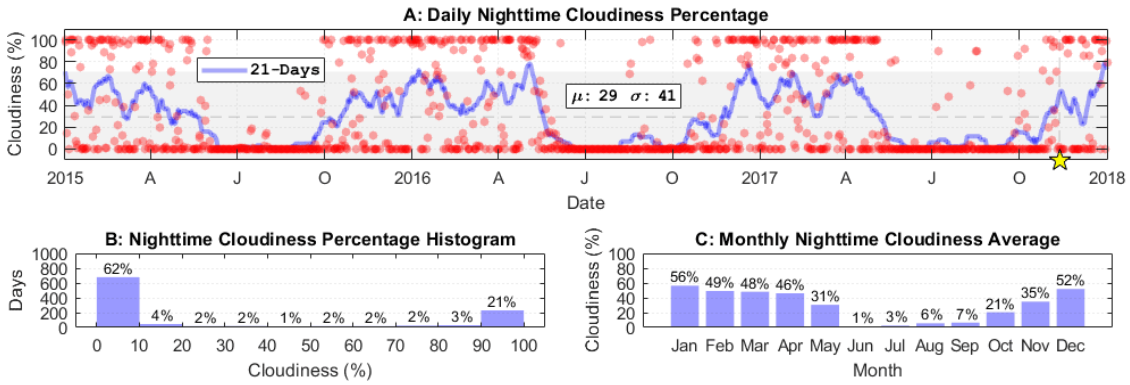
دریافت داده‌های ماهواره‌ای

دو سنجندهٔ MODIS[3] در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA)[4] روی ماهواره‌های Terra و Aqua با هدف پایش تغییرات زمین در مدار قرار گرفتند. آن‌ها در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری و در مداری شبه‌قطبی و خورشیدآهنگ با زمان بازدید ۱۶ روزه قرار دارند و به ترتیب

[1] Atmospheric Temperature
[2] Islamic Republic of Iran Meteorological Organization
[3] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
[4] National Aeronautics and Space Administration

در مدار نزولی با گذر ۱۰:۳۰ و مدار صعودی با گذر ۱۳:۳۰ به‌وقت محلی بر استوا، با توان تفکیک مکانی دست‌کم ۱ کیلومتر، در ۳۶ باند تصویر برمی‌دارند(Justice, et al., 2002).

محصول دما و گسیلمندی سطح زمین در ماهوارهٔ Aqua با نام MYD11A1 به‌طور روزانه با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و در گسترهٔ جهانی تولید می‌شود. در این پژوهش از لایهٔ دمای سطح زمین (LST) شبگاه از نسخهٔ ٦ استفاده شد. اگرچه این محصول توان اندازه‌گیری در آسمان ابری را ندارد؛ ولی ٦٢ درصد از شب‌ها، ابرناکی منطقهٔ موردمطالعه کمتر از ۱۰ درصد است (شکل ۲). این محصول در انواع پوشش‌های زمین و شرایط مختلف آب‌وهوایی با داده‌های زمینی اعتبارسنجی شده و صحت LST شبگاه آن با خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)[1] کمتر از ۲ کلوین به تأیید رسیده است (Duan, et al., 2019).



شکل ۲- وضعیت ابرناکی شبگاه منطقهٔ موردمطالعه. A- روزانه؛ B- هیستوگرام ابرناکی؛ C- میانگین ماهانه.

Fig.2. The nighttime cloudiness condition of the study area: A- Daily; B- Cloudiness histogram; C- Monthly average

روش انجام پژوهش

از همان نخستین پژوهش‌ها در این زمینه، پژوهشگران به برتری تصاویر حرارتی شبگاه نسبت به روزگاه آگاه بوده‌اند. تصاویر حرارتی شبگاه وابستگی کمتری به گرمای تابشی خورشید دارند و گرمای درونی زمین را بهتر نشان می‌دهند. همچنین در روز، بخشی از امواج حرارتی خورشید در اثر پخش یا انعکاس به سنجنده می‌رسد که خطاساز است(Saraf & Choudhury, 2005). آن‌ها که هر دو سری را در نظر گرفته‌اند، دیده‌اند که ناهنجاری حرارتی نخست در سری شبگاه ظاهر شده(Saraf, et al., 2008) و شدت آن در سری روزگاه خفیف‌تر است؛ چنان که گاه تنها در سری شبگاه مشاهده می‌شود (Mohamed, Gahalaut, Sekertekin, & Inyurt, 2021).

[1] Root Mean Square Error

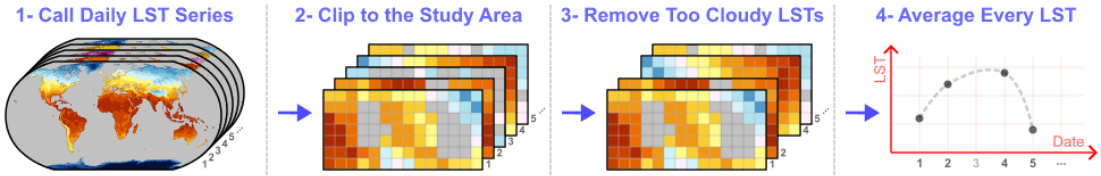
بنابراین از دیرهنگام‌ترین تصاویر LST که برای باند شبگاه محصول MYD11A1 از ماهوارهٔ Aqua و برای حوالی زمان محلی ۲ بامداد است، استفاده گردید. به دلیل استفاده از محصول آمادهٔ LST، مراحل پیش‌پردازش تنها در ٤ مرحلهٔ ساده در سامانهٔ موتور زمین گوگل (GEE)[1] انجام شد (شکل ۳):

۱- **فراخوانی محصول**: سری محصول روزانهٔ LST در بازهٔ زمانی مورد نظر فراخوانی شد.

۲- **برش تصاویر**: همهٔ تصاویر طبق مرز منطقهٔ موردمطالعه برش خورد.

۳- **حذف تصاویر ابری**: تصاویر با آستانهٔ ابرناکی ۵۰ درصد کنار گذاشته شد.

٤- **میانگین‌گیری**: برای استخراج LST روزانه از هر تصویر میانگین گرفته شد.



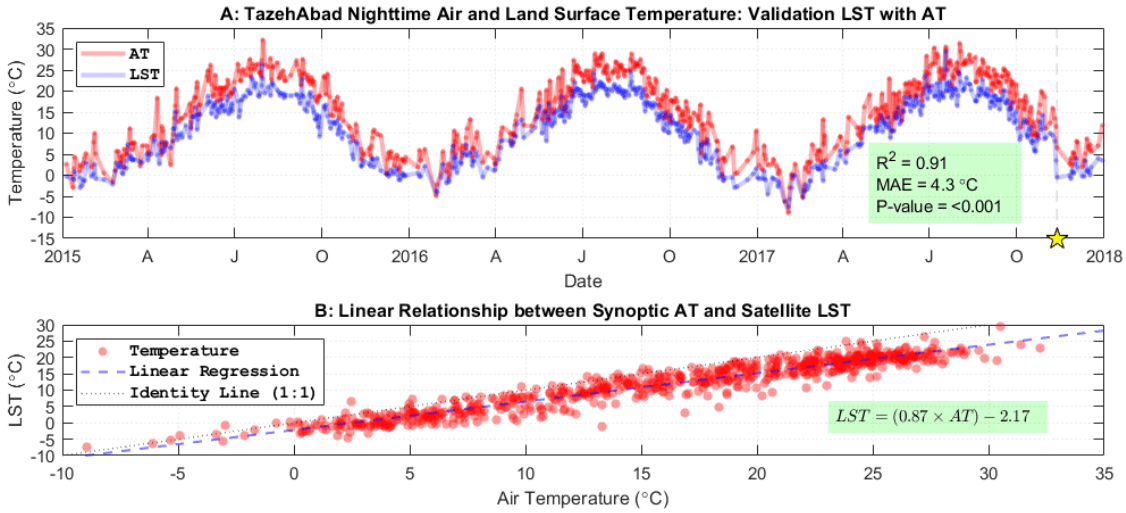
شکل ۳- مراحل پیش‌پردازش محصول LST به‌منظور کشف ناهنجاری حرارتی.

Fig.3. Preprocessing steps of LST product in order to detect thermal anomaly

برای اعتبارسنجی محصول LST شبگاه، از داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید تازه‌آباد استفاده شد. بازهٔ زمانی سه سالهٔ موردمطالعه یعنی از آغاز ۲۰۱۵ تا پایان ۲۰۱۷، شامل ۱۰۹۷ روز می‌شود. در این مدت، ایستگاه هواشناسی ۱۲۰ روز مفقودی و محصول LST نیز ۳٤۷ روز ابرناکی در آن پیکسل داشت. این دو، ٦۷۰ روز برابر با ٦۱ درصد بازهٔ زمانی سه‌ساله را دادهٔ هم‌زمان دارند.

ازآنجایی‌که محصول روزانهٔ LST از تصاویر برداشتی در گذرهای مختلف تولید می‌شود، محصولات، زمان محلی متفاوتی بین ۱:۳۷ تا ۳:۱٤ با متوسط ۲:۲۳ و انحراف معیار ۲۸ دقیقه داشت. چون ایستگاه تازه‌آباد، دمای سطح زمین را تنها در صبح‌ها برداشت کرده است، برای اعتبارسنجی محصول LST، از دمای هوای میان‌یابی‌شده در همان زمان تصویربرداری استفاده گردید و همبستگی آن‌ها با ضریب تعیین ۰/۹۱ تأیید شد. در اکثر شب‌ها، دمای هوا به‌طور متوسط ٤/۳ درجهٔ سلسیوس گرم‌تر از دمای سطح زمین است (شکل ٤).

[1] Google Earth Engine



شکل ٤- اعتبارسنجی محصول LST در سنجندهٔ MODIS با دمای هوا در ایستگاه تازه‌آباد.

Fig.4. Validation of MODIS LST product with air temperature at Tazehabad station

در شب، زمین حرارت خود را تابش کرده و خنک‌تر از هوا می‌شود. سایر پژوهش‌ها نیز همبستگی قوی و مثبت این دو پارامتر را با رابطه‌ای خطی نشان داده‌اند(Bevis, et al., 1992) که البته شیب آن متأثر از طبقهٔ پوشش اراضی و به‌ویژه نوع پوشش گیاهی منطقه است(Mildrexler, Zhao, & Running, 2011).

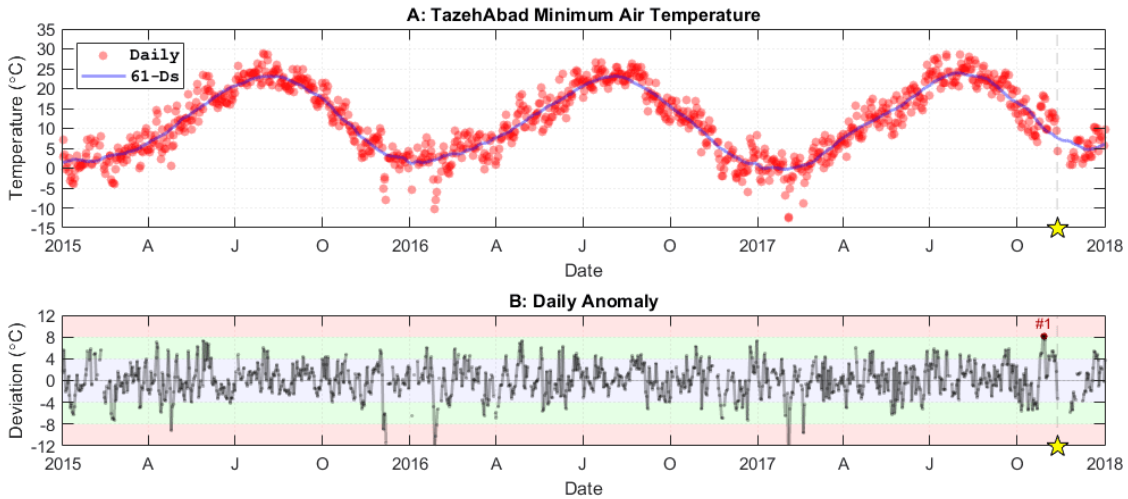
نتایج و بحث

داده‌های هواشناسی ایستگاه همدید

سری داده‌های پارامترهای هواشناسی ایستگاه تازه‌آباد به‌عنوان شاهدی از منطقه، در سه بخش بررسی شد. در مورد هر پارامتر، ناهنجاری روزانه به‌صورت میزان انحراف از میانگین متوسط ٦١ روزه محاسبه گردید.

دمای هوا

دمای هوا، روزانه در ۸ پارامتر سه‌ساعته و ۲ پارامتر دمای کمینه و دمای بیشینه ثبت می‌شود. در بیشتر این پارامترها و به‌ویژه در پارامترهای شبگاه، ناهنجاری مثبتی پیش از زلزله دیده می‌شود که چشمگیرترین آن در پارامتر دمای کمینه رخ داده است (شکل ٥).



شکل ۵- سری داده دمای کمینه در ایستگاه تازه‌آباد: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.5. Minimum temperature data series at Tazehabad station: A- Daily data; B- Daily Anomaly

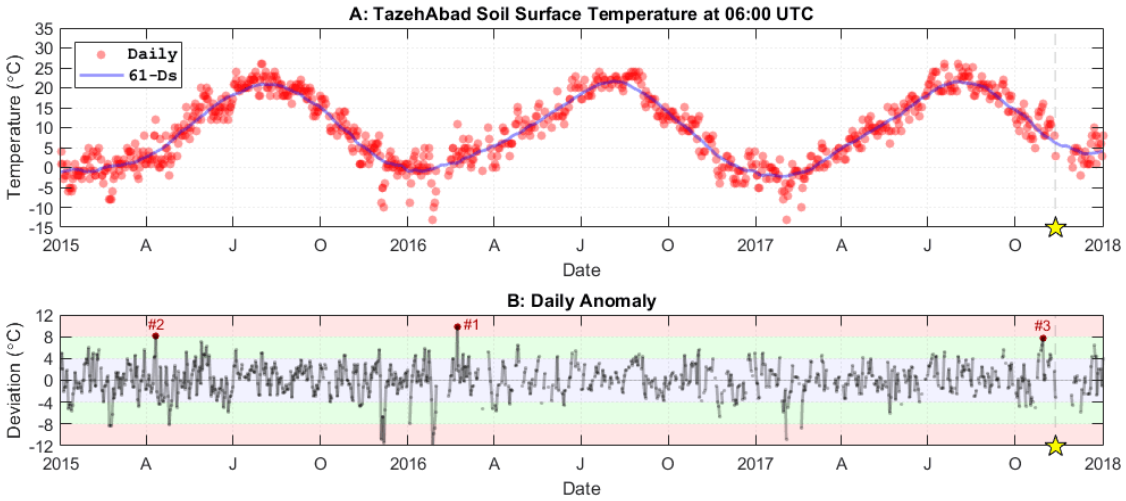
نمودار بالا نشان می‌دهد که در این دورهٔ سه‌ساله، بیشترین انحراف دمای کمینه با ۸/۲ درجهٔ سلسیوس برای ۲۹ اکتبر ۲۰۱۷ یعنی ۱۴ روز پیش از زلزله بوده است. (Jing & Singh, 2022) نیز در داده‌های سنجندهٔ AIRS[1]، دمای هوا در ۲۷ اکتبر را در رومرکز و بیشتر بخش‌های خاورمیانه دارای ناهنجاری مثبت یافته‌اند.

همچنین بررسی دادهٔ ایستگاه‌های هواشناسی در شش زلزلهٔ قوی مکزیک نشان داده که یکی دو هفته پیش از زلزله‌ها، ناهنجاری مثبت در دمای هوا و دامنهٔ دمای روزانه رخ داده است (Dunajecka & Pulinets, 2005). بررسی مدل هواشناسی در زلزله‌ای در چین نیز ناهنجاری مثبت دمای هوا در ۱۲ روز پیش از زلزله را نشان می‌دهد که این گرما از زمین سرچشمه گرفته و سپس به لایه‌های بالاتر جو منتقل شده و سرانجام ناپدید شده است(Zhang, Meng, Wang, Lu, Hu, 2021). بررسی چهارده زلزلهٔ قوی آسیای میانه نیز نشان داده که در همهٔ موارد، دمای هوا در ماه رخداد زلزله از همهٔ ماه‌های مشابه در دوره‌ای چند ده‌ساله گرم‌تر بوده است (Milkis, 1986).

دمای خاک

دمای خاک، روزانه در ۱ پارامتر برای سطح زمین در ساعت ٦ جهانی و در ٦ پارامتر برای اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در ساعت ۹ جهانی ثبت می‌شود. با اینکه هیچ‌کدام از این پارامترها برای شبگاه نیست، ولی در پارامترهای دمای اعماق کم خاک و همچنین در پارامتر دمای سطح خاک (شکل ٦) ناهنجاری مثبت کم‌سابقه‌ای پیش از زلزله دیده می‌شود.

[1] Atmospheric Infrared Sounder



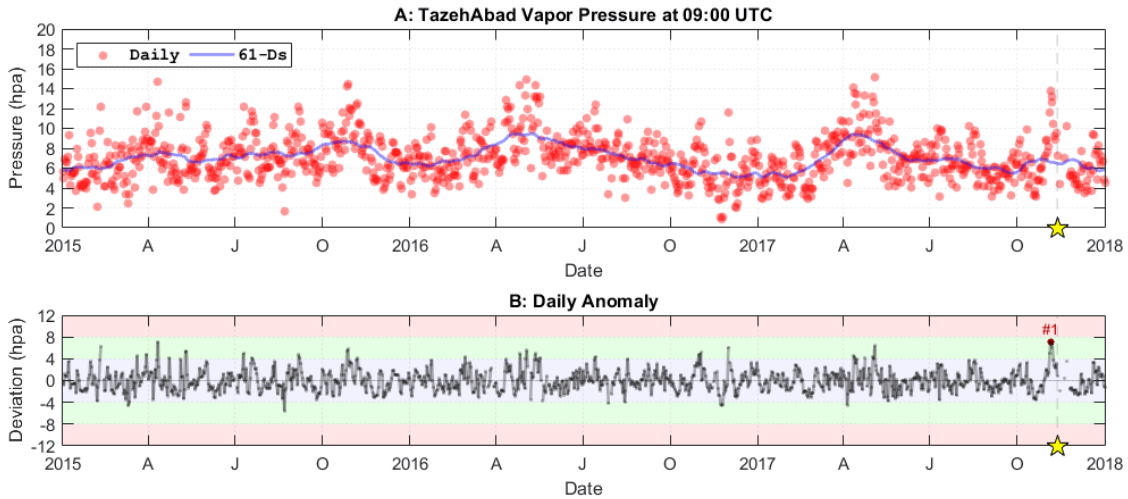
شکل ٦- سری دادهٔ دمای سطح خاک روزگاه در ایستگاه تازه‌آباد: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.6. Daytime soil surface temperature data series at Tazehabad station: A- Daily data; B- Daily anomaly.

طبق نمودار بالا، در دورهٔ سه سالهٔ پیش از زلزله، سومین انحراف بزرگ دمای سطح خاک با ۷/۷ درجهٔ سلسیوس برای ۳۰ اکتبر ۲۰۱۷ یعنی ۱۳ روز پیش از زلزله بوده است. بررسی این پارامتر در ایستگاهی در رومرکز زلزله‌ای در مکزیک نیز نشان داده که میانگین دمای سطح خاک ماهانه در آن ماه، از ماه‌های مشابه در ۵۰ سال اخیرش گرم‌تر بوده است(Pulinets, et al., 2006).

رطوبت هوا

رطوبت هوا، روزانه در پارامترهای سه ساعتهٔ رطوبت نسبی هوا و فشار بخار ثبت می‌شود. در بیشتر این پارامترها و به‌ویژه در فشار بخار روزگاه، ناهنجاری چشمگیر مثبتی پیش از زلزله دیده می‌شود؛ که اوج آن در پارامتر فشار بخار در ساعت ۹ جهانی (شکل ۷) نمود دارد.



شکل ۷- سری دادهٔ فشار بخار ساعت ۹ جهانی در ایستگاه تازه‌آباد: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.7. Vapor pressure data series at 9 UTC at Tazehabad station: A- Daily data; B- Daily anomaly.

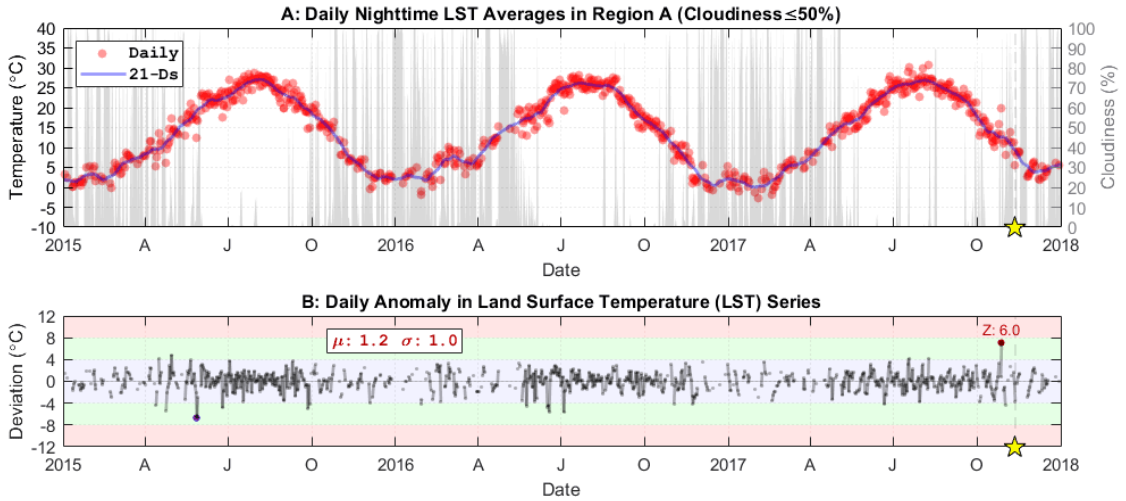
طبق نمودار بالا، بیشترین انحراف فشار بخار با ۷/۱ هکتوپاسکال برای ۵ نوامبر ۲۰۱۷ یعنی ۷ روز پیش از زلزله بوده است. (Akhoondzadeh, De Santis, Marchetti, Piscini, Jin, 2019) نیز در مدل جهانی جو ECMWF[1]، محتوای بخار آب را ٦ روز پیش از این زلزله ناهنجار یافته‌اند. افزایش ناگهانی این پارامتر، ۱۱ روز پیش از زلزله‌ای در چین و پس از بروز ناهنجاری حرارتی در آن گسل(Liu, Cui, Wu, Wang, 2009)، ٦ روز پیش از زلزله‌ای در آلاسکا و ۱ تا ١٤ روز پیش از ٤٠ زلزلهٔ ساحلی نیز رخ داده است (Singh, Cervone, Singh, & Kafatos, 2007).

کشف ناهنجاری در دمای سطح زمین شبگاه

ناهنجاری زمانی

ناهنجاری زمانی در داده‌های روزانه، پس از کنار گذاشتن تصاویر ابری با آستانهٔ ابرناکی ۵۰ درصد، به‌صورت میزان انحراف از میانگین متحرک ۲۱ روزه محاسبه گردید (شکل ۸). حذف نکردن تصاویر ابری از سری زمانی می‌تواند موجب سوگیری در LST و نمود ناهنجاری کاذب شود (Blackett, Wooster, & Malamud, 2011).

[1] European Centre for Medium-range Weather Forecasts



شکل ۸- سری زمانی LST شبگاه در منطقهٔ موردمطالعه: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.8. Nighttime LST time series in the study area: A- Daily data; B- Daily anomaly

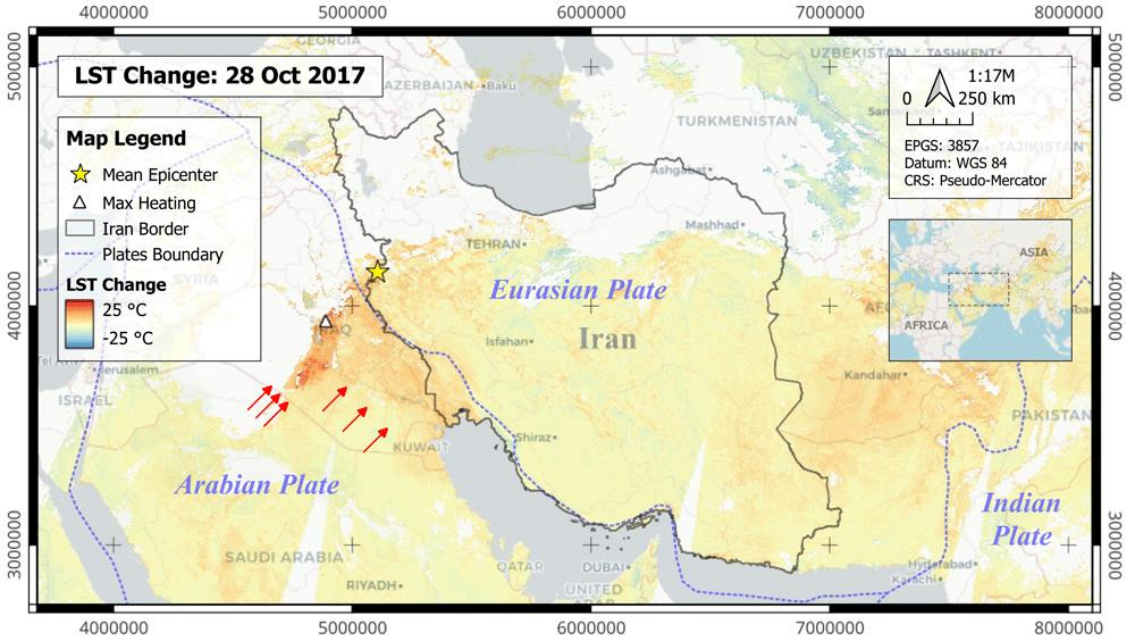
طبق نمودار بالا، در این دورهٔ سه سالهٔ پیش از زلزله، بیشترین انحراف LST شبگاه در منطقهٔ موردمطالعه، با ۷/۲ درجهٔ سلسیوس و نمرهٔ استاندارد ۶/۰ در بین روزهای دارای انحراف مثبت، برای ۲۸ اکتبر ۲۰۱۷ یعنی ۱۵ روز پیش از زلزله بوده است. این ناهنجاری در هر میانگین متحرکی از چند تا چند ده روزه آشکار است.

(Akhoondzadeh, De Santis, Marchetti, Piscini, Jin, 2019) نیز با بررسی و مقایسهٔ داده‌های روزانهٔ چهار ماه پیش از زلزلهٔ ازگله با داده‌های تاریخی بلندمدت چهل‌ساله در مدل جهانی جو ECMWF، دریافتند که ۱۵ روز پیش از زلزله، ناهنجاری شدید مثبتی با شدت بیش از ۱۰ درجهٔ سلسیوس در دمای سطح زمین در محدودهٔ ۳ درجه‌ای اطراف رومرکز این زلزله رخ داده است.(Jing & Singh, 2022) هم با کمک ۱۸ سال دادهٔ سنجندهٔ AIRS از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ و بررسی دمای سطح زمین در منطقهٔ رومرکز زلزلهٔ ازگله به طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۲ و ۱ درجه، دریافتند که این پارامتر در ۲۹ اکتبر و ۷ نوامبر ۲۰۱۷ دارای ناهنجاری مثبت بوده است.

ناهنجاری مکانی

برای درک توزیع مکانی این ناهنجاری حرارتی، اختلاف LST شبگاه در روز ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ نسبت به روز قبل از خود محاسبه و به نقشه درآمد (شکل ۹). طبق این نقشه، مرز خشکی صفحهٔ عربستان و اوراسیا در غرب ایران گرم است. وجود ناحیه‌ای داغ در مرکز عراق که راستایش به رومرکز زلزلهٔ ازگله می‌رسد نیز جالب است. گویا شدیدترین فشار صفحه‌ای از آن ناحیه وارد می‌شود. داغ‌ترین نقطهٔ نقشه با ۲۴/۲ درجهٔ سلسیوس اختلاف دما، در ۲۵۰ کیلومتری جنوب غرب رومرکز در شهر فلوجهٔ عراق واقع شده است. آنجا،

داغ‌ترین ناحیه در آن روز در نیمکرهٔ شمالی است و بروز آن با این شدت در این منطقه، از سه سال پیش از زلزله سابقه ندارد.



شکل ۹- نقشهٔ اختلاف LST شبگاه در ۲۸ اکتبر ۲۰۱۷ نسبت به روز قبل از خود.

Fig.9. Map of the nighttime LST difference on October 28, 2017 compared to the previous day

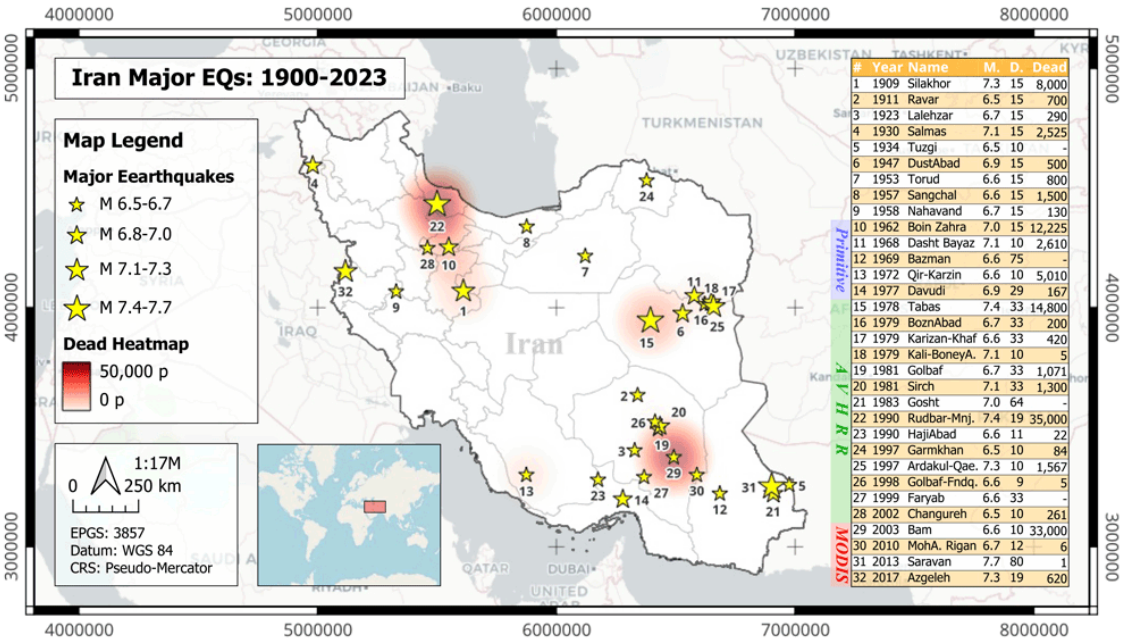
بررسی تصاویر ماهواره‌ای در زمان بروز این ناهنجاری، پدیدهٔ ویژه‌ای را نشان نمی‌دهد؛ ولی از چند ساعت بعد، طوفان گردوغبار سنگینی از شمال عربستان برخاسته و عراق را می‌پوشاند. افزایش ناگهانی AT و LST پیش از طوفان گردوغبار سابقهٔ گزارش دارد (Kayetha, Kumar, Prasad, Cervone, & Singh, 2007).

(Wu, Zhou, Miao, & Qin, 2018) نیز ناهنجاری شدیدی در شار گرمای نهان سطح (SLHF)[1] در غرب رومرکز و دو هفته پیش از زلزلهٔ ازگله یافته‌اند که روز بعد با برخاستن طوفان سهمگینی از عربستان و عراق ناپدید شده و دو روز بعد، محتوای هواویز (AOD)[2] به بیشینه رسیده است.(Jing & Singh, 2022) هم وجود ناحیه‌ای داغ با مقادیر بالای LST در ۲۷ و ۲۹ اکتبر را در شمال عربستان گزارش کرده‌اند که تا آخر ماه میلادی به سمت شمال ایران حرکت کرده است. ایشان به رخداد طوفان در منطقه و بیشینه شدن AOD هم اشاره داشته‌اند.

[1] Surface Latent Heat Flux
[2] Aerosol Optical Depth

بررسی ناهنجاری حرارتی در زلزله‌های قوی ایران

نخست، زلزله‌های دستگاهی و قوی ایران از کاتالوگ USGS استخراج شد (شکل ۱۰). طبق این فهرست، در دورهٔ دستگاهی، ۳۲ زلزلهٔ قوی با بزرگای دست‌کم ۶/۵ در ایران رخ داده است. چهار زلزلهٔ آخر این فهرست در دورهٔ عملیاتی سنجندهٔ MODIS رخ داده و می‌توان یافته‌ها را روی آن‌ها نیز آزمود.

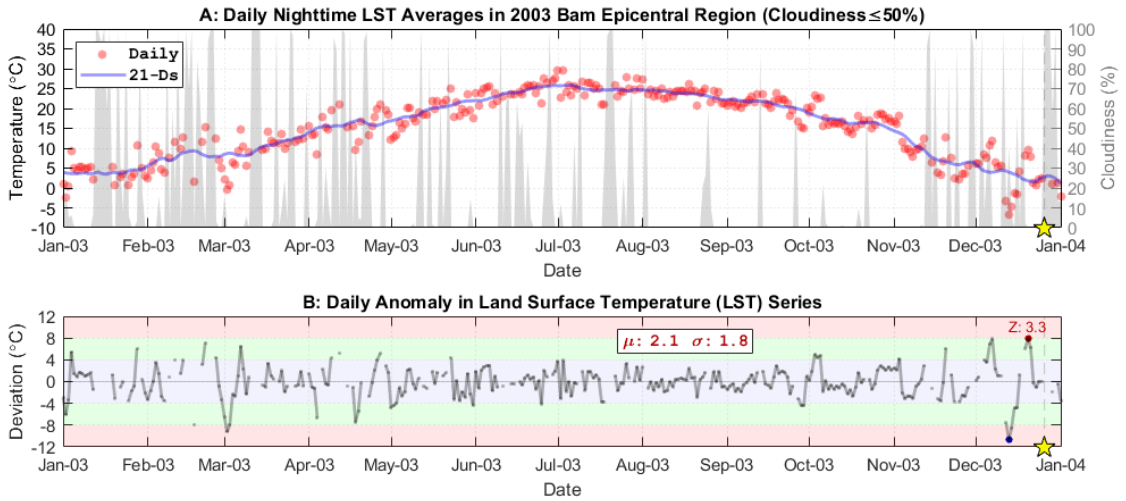


#	Year	Name	M.	D.	Dead
1	1909	Silakhor	7.3	15	8,000
2	1911	Ravar	6.5	15	700
3	1923	Lalehzar	6.7	15	290
4	1930	Salmas	7.1	15	2,525
5	1934	Tuzgi	6.5	10	-
6	1947	DustAbad	6.9	15	500
7	1953	Torud	6.6	15	800
8	1957	Sangchal	6.6	15	1,500
9	1958	Nahavand	6.7	15	130
10	1962	Boin Zahra	7.0	15	12,225
11	1968	Dasht Bayaz	7.1	10	2,610
12	1969	Bazman	6.6	75	-
13	1972	Qir-Karzin	6.6	10	5,010
14	1977	Davudi	6.9	29	167
15	1978	Tabas	7.4	33	14,800
16	1979	BoznAbad	6.7	33	200
17	1979	Karizan-Khaf	6.6	33	420
18	1979	Kali-BoneyA.	7.1	10	5
19	1981	Golbaf	6.7	33	1,071
20	1981	Sirch	7.1	33	1,300
21	1983	Gosht	7.0	64	-
22	1990	Rudbar-Mnj.	7.4	19	35,000
23	1990	HajiAbad	6.6	11	22
24	1997	Garmkhan	6.5	10	84
25	1997	Ardakul-Qae.	7.3	10	1,567
26	1998	Golbaf-Fndq.	6.6	9	5
27	1999	Faryab	6.6	33	-
28	2002	Changureh	6.5	10	261
29	2003	Bam	6.6	10	33,000
30	2010	MohA. Rigan	6.7	12	6
31	2013	Saravan	7.7	80	1
32	2017	Azgeleh	7.3	19	620

شکل ۱۰- نقشهٔ زلزله‌های دورهٔ دستگاهی ایران با بزرگای دست‌کم ۶/۵ از کاتالوگ USGS.

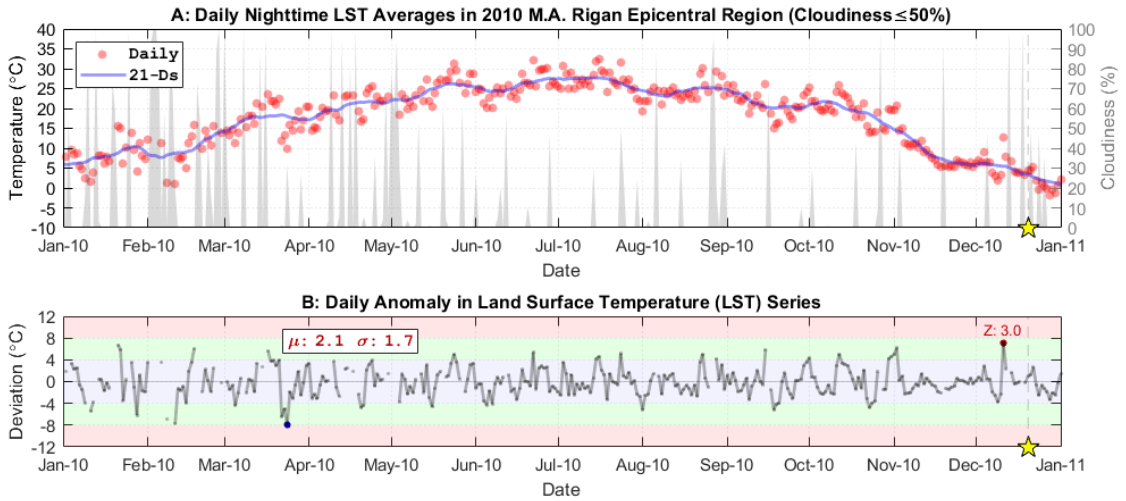
Fig.10. Earthquakes map of Iran in instrumental era with a magnitude of at least 6.5 from the USGS catalog

برای هر یک از این چهار زلزلهٔ اخیر، محدوده‌ای مربعی به طول ۲۵ کیلومتر به مرکزیت رومرکز آن‌ها طبق کاتالوگ USGS انتخاب شد و داده‌های LST شبگاه از همان محصول MODIS، برای حدود یک سال پیش از هرکدام استخراج گردید و با همان شرایط، کشف ناهنجاری حرارتی روی آن‌ها آزموده شد. نتایج نشان داد زلزلهٔ ۶/۶ بم کرمان به سال ۲۰۰۳ (شکل ۱۱)، زلزلهٔ ۶/۷ محمدآباد ریگان کرمان به سال ۲۰۱۰ (شکل ۱۲) و البته زلزلهٔ ازگله (شکل ۱۳) دارای پیش‌نشانگر حرارتی بوده‌اند.



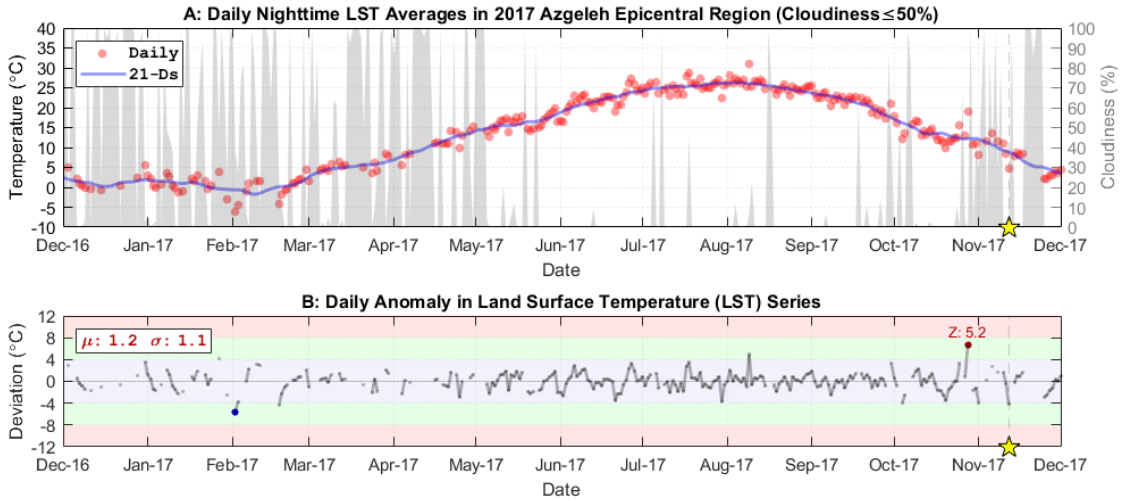
شکل ۱۱- سری زمانی LST شبگاه در زلزلهٔ بم: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.11. Nighttime LST time series in Bam earthquake: A- Daily data; B- Daily anomaly



شکل ۱۲- سری زمانی LST شبگاه در زلزلهٔ محمدآباد ریگان: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.12. Nighttime LST time series in Mohammadabad Rigan earthquake: A- Daily data; B- Daily anomaly



شکل ۱۳- سری زمانی LST شبگاه در زلزلهٔ ازگله: A- داده‌های روزانه؛ B- ناهنجاری روزانه.

Fig.13. Nighttime LST time series in Azgeleh earthquake: A- Daily data; B- Daily anomaly

طبق نمودارهای بالا، شدیدترین ناهنجاری حرارتی در رومرکز و در سال منتهی به این سه زلزله، حداکثر ۱۵ روز پیش از وقوع آن‌ها رخ داده که بی‌سابقه‌ترین برای زلزلهٔ ازگله است (جدول ۳). پیش‌نشانگر حرارتی، تنها در زلزلهٔ ۷/۷ سراوان سیستان و بلوچستان به سال ۲۰۱۳، بروز نکرده است. این زلزله، زمستانی نیست و عمق زیادی دارد. گفته شده که ناهنجاری حرارتی در زلزله‌های با عمق بیشتر از ۶۰ کیلومتر، بروز سطحی ندارد(Tronin, Hayakawa, & Molchanov, 2002). اگرچه، چندین مطالعه با روش آماری (Khalili, Alavi Panah, Abdollahi Eskandar, 2019) یا به‌کارگیری شبکهٔ عصبی(Nekoee & Shah Hosseini, 2020) بروز ناهنجاری حرارتی در این زلزله را نیز یافته‌اند.

جدول ۳- نتایج آزمون کشف ناهنجاری حرارتی روی چهار زلزلهٔ قوی و اخیر ایران.

Table3- The results of thermal anomaly detection test on four strong and recent earthquakes in Iran

زلزله	تاریخ	بزرگا (M)	عمق (km)	نمره (Z)	روز مانده	مرجع موافق
بم	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	۶/۶	۱۰	۳/۳	۶	(Choudhury, et al., 2006)
محمدآباد ریگان	۲۰۱۰/۱۲/۲۰	۶/۷	۱۲	۳/۰	۹	(Akhoondzadeh, et al., 2019)
سراوان	۲۰۱۳/۰۴/۱۶	۷/۷	۸۰	۴/۵	(۹۶)	–
ازگله	۲۰۱۷/۱۱/۱۲	۷/۳	۱۹	۵/۲	۱۵	(Saber Mahani, et al., 2017)

٤- نتیجه‌گیری

امروز، افسانهٔ باستانی گرم شدن هوا و زمین پیش از زلزله‌ها، با نام ناهنجاری حرارتی در صدها پژوهش به اثبات رسیده است؛ اما استفاده از روش‌های متعدد در کشف ناهنجاری و بررسی بازه‌های زمانی و محدوده‌های مکانی گوناگون، مانع از جمع‌بندی نهایی و ارائهٔ سامانه‌ای برای پیش‌بینی زلزله شده است. حال، توسعهٔ علوم داده‌کاوی در داده‌های حجیم و هوش مصنوعی، امیدها را برای راه‌اندازی چنین سامانه‌ای زنده کرده است.

در این پژوهش، وجود ناهنجاری حرارتی در زلزلهٔ ازگله در سری داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای از سه سال پیش از زلزله با روش سادهٔ انحراف از میانگین متحرک موردبررسی قرار گرفت و دیده شد که یکی دو هفته پیش از زلزله، هم در پارامترهای هواشناسی و هم در LST، ناهنجاری روزانه‌ای بروز می‌کند.

بررسی آمار ایستگاه همدید تازه‌آباد، نشان داد که پارامترهای دمای هوا، دمای خاک و رطوبت هوا، یکی دو هفته مانده به زلزله ناهنجار شده‌اند؛ مثلاً دمای کمینه در ١٤ روز، دمای سطح خاک ساعت ٦ جهانی در ۱۳ روز و فشار بخار ساعت ۹ جهانی در ۷ روز پیش از زلزله، انحراف مثبت بی‌سابقه یا کم‌سابقه‌ای داشته‌اند.

بررسی زمانی روند LST، فاش کرد که بیشترین انحراف، ۱۵ روز پیش از زلزله رخ داده است. بررسی مکانی این ناهنجاری، روشن ساخت که در آن روز، مرز خشکی دو صفحهٔ عربستان و اوراسیا گرم بوده و ناحیه‌ای داغ در مرکز عراق و در راستای رومرکز زلزله پدیدار شده است. از چند روز بعد، پیش‌نشانگر ابر زلزله (Heidari, Mazidi, & Rousta, 2024) و ناهنجاری یونوسفری(Senturk, Inyurt, Sertcelik, 2020) هم بروز نموده‌اند.

همچنین، آزمون این فرآیند کشف ناهنجاری حرارتی روی سه زلزلهٔ قوی و اخیر دیگر ایران نشان داد که دو زلزلهٔ بم و محمدآباد ریگان نیز دارای ناهنجاری بی‌سابقه‌ای به ترتیب در ٦ و ۹ روز پیش از زلزله بوده‌اند. در پایان، تکرار چنین پژوهش‌هایی با روش‌های ماشینی کشف ناهنجاری پیشنهاد می‌شود؛ تا درنهایت بتوان با پایش خودکار LST و یا پارامترهای هواشناسی همچون دمای هوا، به امکان صدور هشدار زلزله رسید.

سپاسگزاری

از پشتیبانی دانشگاه یزد در به انجام رسیدن پایان‌نامه مطالعه پیش‌نشانگرهای زلزله ۱۳۹٦ ازگله با کمک سنجش‌ازدور، که این پژوهش، بخشی از یافته‌های آن بود، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

References

Akhoondzadeh, M. (2014). Thermal and TEC Anomalies Detection Using an Intelligent Hybrid System Around the Time of the Saravan, Iran, (Mw=7.7) Earthquake of 16 April 2013. *Advances in Space Research*, 53(4), 647–655. https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.12.017

Akhoondzadeh, M; De Santis, A; Marchetti, D; Piscini, A; Jin, S. (2019). Anomalous seismo-LAI variations potentially associated with the 2017 MW=7.3 Sarpol-e Zahab (Iran) earthquake from Swarm satellites, GPS-TEC and climatological data. *Advances in Space Research*, 64(1), 143–158. https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.020

Askari, G., Hafezi, N., Rahimi tabar, M. R., & Ansari, A. (2010). Detection of Thermal Infrared (TIR) Anomalies Related to the Ms=5.1 Earthquake on Oct.14, 2004 Near Ravar (SE Iran). *Journal of the Earth and Space Physics*, *35*(4), 1–16. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2538371.1388.35.4.1.4

Barkat, A., Ali, A., Rehman, K., Awais, M., Riaz, M.S., Iqbal, T. (2018). Thermal IR Satellite Data Application for Earthquake Research in Pakistan. *Journal of Geodynamics*, 116, 13–22. https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.01.008

Bellaoui, M., Hassini, A., & Bouchouicha, K. (2017). Pre-seismic Anomalies in Remotely Sensed Land Surface Temperature Measurements: The Case Study of 2003 Boumerdes Earthquake. *Advances in Space Research*, 59(10), 2645–2657. https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.03.004

Bevis, M., Businger, S., Herring, T.A., Rocken, C., Anthes, R.A., & Ware, R.H. (1992). GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D14), 15787–15801. https://doi.org/10.1029/92JD01517

Bhardwaj, A., Singh, S., Sam, L., Joshi, P.K., Bhardwaj, A., Martin Torres, F.J., & Kumar, R. (2017). A Review on Remotely Sensed Land Surface Temperature Anomaly as an Earthquake Precursor. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 63, 158–166. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.002

Blackett, M., Wooster, M.J., & Malamud, B.D. (2011). Exploring Land Surface Temperature Earthquake Precursors: A focus on the Gujarat (India) Earthquake of 2001. *Geophysical Research Letters*, 38(15), 1–7. https://doi.org/10.1029/2011GL048282

Choudhury, S., Dasgupta, S., Saraf, A.K., Panda, S. (2006). Remote Sensing Observations of Pre-Earthquake Thermal Anomalies in Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 27(20), 4381–4396. https://doi.org/10.1080/01431160600851827

Choubsaz, S., Akhoondzadeh, M., & Saradjian, M.R. (2015). Thermal Anomaly Detection Prior to Earthquakes with Training Artificial Neural Networks with Ant Colony Optimization. *Environmental Management Hazards*, *2*(2), 207–224. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.55062

Conti, L., Picozza, P., & Sotgiu, A. (2021). A Critical Review of Ground Based Observations of Earthquake Precursors. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1–30. https://doi.org/10.3389/feart.2021.676766

Duan, S.B., Li, Z.L., Li, H., Gottsche, F.M., Wu, H., Zhao, W., Leng, P., Zhang, X., & Coll, C. (2019). Validation of Collection 6 MODIS Land Surface Temperature Product Using in Situ Measurements. *Remote Sensing of Environment*, 225, 16–29. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.020

Dunajecka, M.A. & Pulinets, S.A. (2005). Atmospheric and Thermal Anomalies Observed Around the Time of Strong Earthquakes in Mexico. *Atmosfera*, 18(4), 235–247.https://scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-2362005000400003&script=sci_arttext

Feng, R., & Wu, Y. (2010). Research on History of Chinese Seismology. *Earthquake Science*, 23(3), 243–257. https://doi.org/10.1007/s11589-010-0720-z

Filizzola, C; Corrado, A; Genzano, N; Lisi, M; Pergola, N; Colonna, R; Tramutoli, V. (2022). RST analysis of anomalous TIR sequences in relation with earthquakes occurred in Turkey in the period 2004–2015. *Remote Sensing*, 14(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/rs14020381

Freund, F.T. (2002). Charge Generation and Propagation in Igneous Rocks. *Journal of Geodynamics*, 33(4–5), 543–570. https://doi.org/10.1016/S0264-3707(02)00015-7

Freund, F.T., Keefner, J., Mellon, J.J., Post, R., Takeuchi, A., Lau, B.W.S., La, A., Ouzounov, D. (2005). Enhanced Mid-Infrared Emission from Igneous Rocks Under Stress. *Geophysical Research Abstract*, 7.

Genzano, N., Filizzola, C., Hattori, K., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2021). Statistical Correlation Analysis Between Thermal Infrared Anomalies Observed from MTSATs and Large Earthquakes Occurred in Japan (2005–2015). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(2), 1–19. https://doi.org/10.1029/2020JB020108

Gornyi, V.I., Salman, A.G., Tronin, A.A., & Shilin, B.V. (1988). Terrestrial Outgoing Infrared Radiation as an Indicator of Seismic Activity. *In Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR*, 301(1), 67–69. https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.11762

Heidari, M., Mazidi, A., & Rousta, I. (2024). Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 151–172. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75548.1186

Jing, F., & Singh, R.P. (2022). Response of Surface and Atmospheric Parameters Associated with the Iran M 7.3 Earthquake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5841–5852. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3188003

Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E, Saleous, N., Roy, D.P., & Morisette, J.T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 3–15. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6

Kayetha, V.K., Kumar J.S., Prasad, A.K., Cervone, G., & Singh, R.P. (2007). Effect of Dust Storm on Ocean Color and Snow Parameters. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 35(1), 1–9. https://doi.org/10.1007/BF02991828

Khalili, M., Alavi Panah, S.K., Abdollahi Eskandar, S.S. (2019). Using Robust Satellite Technique (RST) to Determine Thermal Anomalies Before a Strong Earthquake: A Case Study of the Saravan Earthquake (April 16th, 2013, MW= 7.8, Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 173, 70–78. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.01.009

Khoshgoftar, M.M, Saradjian, M.R. (2021). Estimation of parameters (Date and Magnitude) of Two Strong Earthquakes in Iran by Integrating Different Earthquake Precursors. Journal of Geospatial Information Technology, 9 (2), 67–81. [In Persian] https://doi.org/10.52547/jgit.9.2.67

Liu, S., Cui, L., Wu, L., Wang, Z. (2009, July). Analysis on the Water Vapor Anomaly Before Wenchuan Earthquake Based on MODIS Data. *In IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 412–415. Cape Town, South Africa

https://doi.org/10.1109/IGARSS.2009.5418102

Maghsoudi, A., Moshtari, M. (2021). Challenges in Disaster Relief Operations: Evidence from the 2017 Kermanshah Earthquake. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11(1), 107–134. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2019-0054

Mildrexler, D.J., Zhao, M., & Running, S.W. (2011). A Global Comparison Between Station Air Temperatures and MODIS Land Surface Temperatures Reveals the Cooling Role of Forests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3), 1–15. https://doi.org/10.1029/2010JG001486

Milkis M.R. (1986). Meteorological precursors of strong earthquakes. *Izvestiya, Earth Physics*, 22, 195–204.

Mohamed, E.K., Gahalaut, V.K., Sekertekin, A., & Inyurt, S. (2021). Atmospheric, Ionospheric and Earth-related Variations Associated with the 11th August 2012 Earthquakes, Ahar, Iran. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 216. https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105595

Nekoee, M., & Shah Hosseini, R. (2020). Thermal Anomaly Detection Using NARX Neural Network Method to Estimate the Earthquake Occurrence Time. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 4(2), 98–108. https://doi.org/10.22059/eoge.2021.292253.1067

Ouzounov, D., & Freund, F.T. (2004). Mid-Infrared Emission Prior to Strong Earthquakes Analyzed by Remote Sensing Data. *Advances in Space Research*, 33(3), 268–273. https://doi.org/10.1016/S0273-1177(03)00486-1

Picozza, P., Conti, L., & Sotgiu, A. (2021). Looking for Earthquake Precursors from Space: A Critical Review. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1–21. https://doi.org/10.3389/feart.2021.676775

Pulinets, S.A. (2004). Ionospheric Precursors of Earthquakes; Recent Advances in Theory and Practical Applications. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(3), 413–435. https://doi.org/10.3319/TAO.2004.15.3.413(EP)

Pulinets, S.A., Ouzounov, D., Ciraolo, L., Singh, R., Cervone, G., Leyva, A., Dunajecka, M., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A., & Kotsarenko, A. (2006). Thermal, Atmospheric and Ionospheric Anomalies Around the Time of the Colima M7.8 Earthquake of 21 January 2003. *Annales Geophysicae*, 24(3), 835–849. https://doi.org/10.5194/angeo-24-835-2006

Qiang, Zj., Xu, Xd. & Dian, Cg. (1991). Thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes. *Chinese science bulletin*, 4, 319–323. [In Chinese]

Qiang, Zj., Xu, Xd. & Dian, Cg. (1997). Case 27 thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes. *PAGEOPH*, 149, 159–171. https://doi.org/10.1007/BF00945166

Saber Mahani, S., & Sepahvand, M. (2017). Investigating the Precursors of Earthquake Cloud and Temperature Changes in Identifying Earthquake-Causing Faults Case Study: The Earthquake in Mohammad-Abad-e-Rigan (January 27, 2011). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(101), 25–32. [In Persian] https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.25723

Saradjian, M.R., & Akhoondzadeh, M. (2011). Thermal Anomalies Detection Before Strong Earthquakes (M>6.0) Using Interquartile, Wavelet and Kalman Filter Methods. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(4), 1099–1108. https://doi.org/10.5194/nhess-11-1099-2011

Saraf, A.K., & Choudhury, S. (2005). Thermal Remote Sensing Technique in the Study of Pre-Earthquake Thermal Anomalies. *Journal of Indian Geophysical Union*, 9(3), 197–207. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1841723

Saraf, A.K., Rawat, V., Banerjee, P., Choudhury, S., Panda, S.K., Dasgupta, S., & Das, J.D. (2008). Satellite Detection of Earthquake Thermal Infrared Precursors in Iran. *Natural Hazards*, 47(1): 119–135. https://doi.org/10.1007/s11069-007-9201-7

Saraf, A.K., Rawat, V., Choudhury, S., Dasgupta, S., Das, J.D. (2009). Advances in Understanding of the Mechanism for Generation of Earthquake Thermal Precursors Detected by Satellites. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(6), 373–379. https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.07.003

Senturk, E., Inyurt, S., Sertcelik, I. (2020). Ionospheric Anomalies Associated with the Mw 7.3 Iran-Iraq Border Earthquake and a Moderate Magnetic Storm. *Annales Geophysicae*, 38(5), 1031–1043. https://doi.org/10.5194/angeo-38-1031-2020

Shahbazi, S., Papzan, A., & Gholami, M. (2021). Investigating the causes of lack of resilience of local communities against natural disasters (case study: Kermanshah province earthquake). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *10*(3), 163–179. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68474.1014

Shen, X., Zhang, X., Hong, S., Jing, F., & Zhao, S. (2013). Progress and Development on Multi-Parameters Remote Sensing Application in Earthquake Monitoring in China. *Earthquake Science*, 26(6): 427–437. https://doi.org/10.1007/s11589-013-0053-9

Singh , R.P., Cervone, G., Singh, V.P., & Kafatos, M. (2007). Generic Precursors to Coastal Earthquakes: Inferences from Denali Fault Earthquake. *Tectonophysics*, 431(1–4), 231–240. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.05.040

Tramutoli, V., Corrado, R., Filizzola, C., Genzano, N., Lisi, M., & Pergola, N. (2015). From Visual Comparison to Robust Satellite Techniques: 30 Years of Thermal Infrared Satellite Data Analyses for the Study of Earthquake Preparation Phases. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 56(2), 167–202. https://doi.org/10.4430/bgta0149

Tronin, A.A. (2010). Satellite Remote Sensing in Seismology; A Review. *Remote Sensing*, 2(1), 124–150. https://doi.org/10.3390/rs2010124

Tronin, A.A, Hayakawa, M., & Molchanov, O.A. (2002). Thermal IR Satellite Data Application for Earthquake Research in Japan and China. *Journal of Geodynamics*, 33(4–5), 519–534. https://doi.org/10.1016/S0264-3707(02)00013-3

Wu, L., Zhou, Y., Miao, Z., & Qin, K. (2018). Anomaly Identification and Validation for Winter 2017 Iraq and Iran earthquakes. *In 20th EGU General Assembly*, EGU2018.

Zhang, Y., Meng, Q., Wang, Z., Lu, X; Hu, D. (2021). Temperature Variations in Multiple Air Layers Before the Mw 6.2 2014 Ludian Earthquake, Yunnan, China. *Remote Sensing*, 13(5), 1–17. https://doi.org/10.3390/rs13050884

Zhao, X., Pan, S., Sun, Z., Guo, H., Zhang, L., & Feng, K. (2021). Advances of Satellite Remote Sensing Technology in Earthquake Prediction. *Natural Hazards Review*, 22(1), 1–13. https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000419

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp. 115-139 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77045.1241 Open access

Estimation of mechanism of earthquakes in active seismic areas around Tehran, Mashhad and Tabriz cities

Fatemeh Naghdi Dodaran[a], Majid Nemati[*b]

[a] *MsC Student in Environment, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
[b] *Professor in Geophysics, Shahid Bahonar University of Kerman Kerman, Iran*

Received: 4 June 2022 ***Revised: 7 July 2022*** ***Accepted: 12 July 2022***

Abstract

In this study the data required to solve the mechanism of earthquakes were collected from a combination of waveform data from the Institute of Geophysics, the University of Tehran and the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. The first P-wave polarization method for the broadband, seismic stations were used to solve the earthquake mechanism. The location error of these earthquakes was about 5 km and the maximum rotation of the nodal plains in the mechanisms was considered 5 degrees. These mechanisms have been processed with the least error in the number of wrong polarizations for seismic mechanisms around the most populous cities of Tehran, Mashhad, and Tabriz. Based on the solution of seismic mechanism in this study, Mosha, north Tehran, Ipack, Garmsar and Ivanki faults, are considered to have the dominant mechanism of strike-slip right lateral with the small normal component, reverse, strike-slip left lateral, strike-slip with small reverse component and inverted mechanism, respectively. This research showed that the faults around Mashhad city like Bahler and Ashkabad left lateral strike slip with a small reverse component and reverse, respectively. The dominant mechanism of the 2017 Fariman aftershocks, is also inverse with the strike-slip right lateral component. Also, the resolved mechanisms of earthquakes around the historical city of Tabriz show that earthquakes with a dominant mechanism of strike-slip right lateral with a small reverse component are related to the North Tabriz fault. Other earthquakes, which are the aftershocks of the 2012 Ahar-Varzeqan doublete earthquakes, also have a strike-slip right lateral with a small reverse component. The 2012 Ahar-Varzeqan earthquakes also have a pure right lateral mechanism. The mechanism of some of these faults, which were studied in previous works (geologically or seismologically), are consistent with the mechanism solved in this study.

Keywords: Earthquake mechanisms, Faults of Iran, Initial polarizations of P waves, Metropolises of Iran, Ahar-Varzeqan earthquake, Tehran earthquake

[*] . Corresponding author: Majid Nemati Email:nematimajid_1974@uk.ac.ir Tel:+989125243641

How to cite this Article: Naghdi Dodaran, F., & Nemati, M. (2024). Estimation of mechanism of earthquakes in active seismic areas around Tehran, Mashhad and Tabriz cities. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 13*(2), 115-139.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۳۹-۱۱۵
ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076
نشریه علمی
جفرافیا و مخاطرات محیطی
دسترسی آزاد
DOI: 10.22067/geoeh.2022.77045.1241
مقاله پژوهشی

برآورد سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره لرزه‌ای پیرامون کلان‌شهرهای تهران، مشهد و تبریز

فاطمه نقدی دودران- دانشجوی زیست‌محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

مجید نعمتی[1]- استاد ژئوفیزیک دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۴ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۵/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۵/۲۷

چکیده

در این پژوهش داده‌های موردنیاز برای حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها از هم‌آمیخت داده‌های شکل موج موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله گردآوری شده‌اند. پس از ویرایش داده‌ها و پیش از داده‌پردازی از روش قطبش‌های نخستین موج P رسیده به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باند پهن، بلنددوره و هم‌چنین کوتاه‌دوره برای حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها بهره گرفته شد. خطای کانون‌یابی این زمین‌لرزه‌ها نزدیک به ۵ کیلومتر بوده و بیشینه چرخش صفحه‌های گرهی در سازوکارها ۵ درجه در نظر گرفته شد. این سازوکارها با کم‌ترین خطا در شمار قطبش‌ها برای سازوکارهای زمین‌لرزه‌های پیرامون شهرهای پرجمعیت و مهم تهران، مشهد و تبریز پردازش شده‌اند. بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها در این پژوهش، گسل‌های مشاء، شمال تهران، ایپک، پیشوا و ایوانکی، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک نرمال، معکوس، راستالغز چپ‌بر، راستالغز راست‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و سازوکار چیره معکوس می‌باشند. این پژوهش نشان داد که گسل‌های پیرامون مشهد مانند باهلر و اشک‌آباد، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و معکوس می‌باشند. سازوکار چیره پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۲۰۱۷ فریمان که به گمان در راستا و دنباله گسل فریمان روی داده‌اند، نیز معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر می‌باشند. هم‌چنین، سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تاریخی تبریز نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌هایی با سازوکار چیره راستالغز راست‌بر و معکوس به گسل شمال تبریز وابسته هستند. دیگر زمین‌لرزه‌ها که پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های دوگانه ۲۰۱۲ اهر- ورزقان می‌باشند، نیز دارای راستالغز راست‌بر و مؤلفه معکوس هستند. زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۲ اهر- ورزقان نیز دارای سازوکار راستالغز راست‌بر خالص هستند. سازوکار برخی از این گسل‌ها که در کارهای (زمین‌شناسی یا لرزه‌شناسی) پیشین بررسی شده بودند، با سازوکار حل شده این پژوهش هم‌خوانی دارند.

کلیدواژه‌ها: سازوکار زمین‌لرزه‌ها، گسل‌های ایران، قطبش‌های نخستین امواج P ، کلان‌شهرهای ایران، زمین‌لرزه اهر-ورزقان، زمین لرزه تهران

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۲۴۳۶۴۱
Email:nematimajid_1974@uk.ac.ir

مقدمه

کشور ایران یکی از لرزه‌خیزترین کشورهای جهان و بخشی از بزرگ‌ترین گستره دگریختی هم‌گرا در زمین (کمربند کوه‌زایی آلپ–هیمالیا) است (شکل ۱). پوسته ایران‌زمین درنتیجه واگرایی دریای سرخ و حرکت رو به شمال‌خاور ورقه عربستان و برخورد صفحات عربی و اوراسیا تحت‌فشارش قرار گرفته است. کوتاه‌شدگی و ستبرشدگی پوسته‌ای در این گستره برخوردی سبب تشکیل کمربند کوه‌های قفقاز، زاگرس، البرز، کپه‌داغ، زون راستالغز همراه با خم‌های فشاری در خاور و فرورانش مکران در فلات ایران شده است. وجود این پهنه‌های فشارشی جنبا موجب می‌شود که زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگی همواره در این گستره‌ها روی دهند. هرچند که بیش‌تر انرژی جنبشی، به‌ویژه در زاگرس به‌گونه دگرشکلی‌های بی‌لرزه رخ می‌دهد و تنها نزدیک به ۱۰٪ از آزاد شدن تنش به‌صورت لرزه‌ای و همراه با زمین‌لرزه است (Jackson & Mckenzie, 1984) ازآنجایی‌که کانون بیش‌تر تمدن‌های ایرانی (و هم‌چنین جهانی) روی گسل‌ها واقع شده‌اند، زمین‌لرزه‌های ایران در گذشته و حال یکی از منابع خطر برای زیستگاه‌های انسان در بیش‌تر نقاط این سرزمین بوده‌اند. تمرکز روکانون زمین‌لرزه‌ها بیش‌تر در راستای زون زاگرس در جنوب و جنوب‌باختر، راستای کپه‌داغ– قفقاز در شمال– شمال‌خاور، راستای رشته‌کوه‌های البرز، شمال لوت و هم‌چنین در خاور ایران قابل‌بررسی است. هم‌خوانی روکانون زمین‌لرزه‌های ایران با روندهای مهم موجود میان پستی‌ها و بلندی‌ها بسیار جالب‌توجه است. توجه به داده‌های نگاشته شده در سال‌های پس از ۱۹٦۰ میلادی نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های زاگرس با بزرگای کم‌تر و فراوانی بیش‌تر نسبت به زمین‌لرزه‌های البرز و ایران مرکزی رخ داده‌اند (شکل ۱؛ Nemati, 2015).

شهرهای مشهد، تهران و تبریز در شمال ایران از پرجمعیت‌ترین شهرهای شمال ایران هستند. در گستره شمالی ایران در پیرامون شهرهای بررسی شده در این پژوهش (مشهد، تهران و تبریز)، چند کار لرزه‌شناسی انجام شده که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. کار (Moradi, Hatzfeld, & Tatar, 2011) که یک بررسی خردلرزه‌خیزی با شبکه لرزه‌نگاری محلی بود، نشان داد که تقریباً سازوکار چیره همه خردلرزه‌های وابسته به گسل شمال تبریز پیش از سال ۲۰۱۰ راستالغز راست‌بر است. این پژوهش شیب گسل را نیز نزدیک به قائم برآورد نموده و همچنین این گسل را یک گسل با عملکرد ساده معرفی نمود. (Ashtari, Hatzfeld, & Kamalian, 2005) به کمک یک شبکه لرزه‌نگاری محلی روی سازوکار زمین‌لرزه‌های جنوب البرز و گستره تهران کار کرده‌اند. در این بررسی‌ها سازوکار گسل مشاء راستالغز چپ‌بر به‌دست آمده است. در کپه‌داغ کارهای لرزه‌ای چندانی انجام نشده است. در یک مدل‌سازی، (Hollingsworth, Jackson, Alarcon, Boomer, & Bolourchi, 2007) سازوکار زمین‌لرزه سال ۱۹۹۷ گرم‌خان بجنورد (M_W٦/٤) را راستالغز راست‌بر (در راستای سامانه گسلی قوچان) به دست آورده‌اند.

(Zamani, Angelier, & Zamani, 2008) سازوکار گسل اشک‌آباد را معکوس و راست‌بر و سازوکار گسل نیشابور را راستالغز راست‌بر معرفی نموده‌اند. این کار که از تنها کارهای نزدیک به موضوع این پژوهش در کپه‌داغ است، در پیرامون مشهد سازوکار زمین‌لرزه‌ای را حل نکرده است. یکی از مسائلی که موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته نقش گسترش کلان‌شهرهای ایران در تشدید لرزه‌خیزی آن‌ها و بروز بحران‌های محیطی حاصل از آن در این کلان‌شهرهاست (Hosseinzadeh, SR,2004).

روکانون و سازوکار زمین‌لرزه‌های پیرامون شهرهای بزرگ در بررسی خطر لرزه‌ای در این شهرها بسیار مهم هستند. دانشگاه هاروارد امریکا (GCMT; Global Moment Tensor Solution) و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از ارگان‌هایی هستند که به حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها در ایران می‌پردازند. همه زمین‌لرزه‌های با بزرگای ٤ تا ٥ از دسته زمین‌لرزه‌هایی هستند که سازوکار آن‌ها توسط ارگان‌های وابسته حل نمی‌شود، هم‌چنین موسسه ژئوفیزیک نیز از سال ۲۰۱۲ کاتالوگ خود را آغاز نموده است. در این پژوهش سازوکار زمین‌لرزه‌های پیرامون شهرهای بزرگ با بزرگای ٤ تا ٦ حل شده و همراه با دیگر سازوکار زمین‌لرزه‌های پیشین روی نقشه‌ها آورده و تفسیر می‌شوند. این پژوهش با توجه به تأثیر کلیدی و مهمی که سازوکار زمین‌لرزه در بررسی‌های خطر زمین‌لرزه با روش‌های مختلف دارد، انجام شده است. کوشش بر این بوده که شهرهای گزینش شده برای بررسی سازوکارها، در ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران پراکندگی یکسانی داشته باشند.

مواد و روش‌ها

گستره در دست بررسی در نوار شمالی کشور جای دارد. این گستره در استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی کپه‌داغ، البرز و آذربایجان جای دارد. در این پژوهش، سازوکار زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای میانه (moderate) پیرامون شهرهای تهران، مشهد و تبریز حل شده و بررسی خواهند شد.

روش‌های مطالعه

در این پژوهش در نقشه‌ها، گسل‌های اصلی از کار (Hessami, Jamali, & Tabassi, 2003) و گسل‌های فرعی از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی برگرفته شده‌اند. برای حل سازوکار قابل‌قبول یک زمین‌لرزه با خطای کم، پراکندگی مناسب ایستگاه‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری در پیرامون روکانون زمین‌لرزه لازم است. به کمک داده‌های قطبش این ایستگاه‌ها، سازوکار زمین‌لرزه‌های گزینش شده در فصل داده‌ها پردازش خواهند شد. پراکندگی ایستگاه‌ها در پیرامون شهرهای تبریز، تهران و مشهد قابل‌قبول است. زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش دستگاهی در پیرامون همه شهرهای بررسی شده، به‌ویژه شهرهای تبریز و تهران وجود دارند. زمین‌لرزه‌های برداشت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

همان‌گونه که از لرزه‌زمین‌ساخت گستره البرز میانی انتظار می‌رود، در پیرامون شهر تهران فشردگی بیش‌تری دارند.

هم‌خوانی پراکندگی زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش دستگاهی و شهرها یک امر طبیعی است، چون داده‌های تاریخی برای بررسی این زمین‌لرزه‌ها به‌کاربرده می‌شوند. این داده‌ها نیز در مستندات تاریخی آمده که از شهرهای قدیمی و باستانی گردآوری شده است. شکل ۱ آ و ب به ترتیب، زمین‌لرزه‌های بزرگ (>۵/۵) تاریخی(Ambraseys & Melville, 1982) و شهرهای ایران و سازوکار زمین‌لرزه‌های بزرگ (>۵/۵) ایران را از(Jackson, Haines, & Holt, 1995) و (GCMT) نمایش می‌دهند. به پراکندگی کم زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی در مرکز و جنوب خاوری ایران توجه کنید.

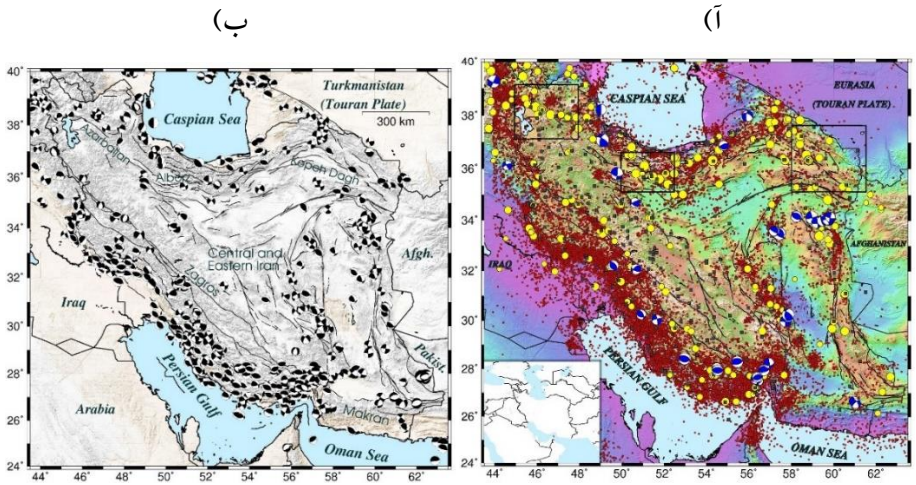
داده‌های شکل موج موردنیاز برای حل سازوکار زمین‌لرزه‌های بزرگ از تارنمای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله گردآوری شده‌اند. از میان این داده‌ها، تنها داده برخی زمین‌لرزه‌ها از دیدگاه کمی و کیفی برای حل سازوکار مناسب خواهند بود. ستون‌های ۸ تا ۱۱ در جدول‌های ۱ تا ۳ به ترتیب، خطای زمانی، شمار ایستگاه‌های برداشت کننده، شمار فازهای خوانده شده و نبود آزیموتی زمین‌لرزه هستند. نبود آزیموتی، پوشش‌دهی ایستگاه‌ها را از زمین‌لرزه بیان می‌کند. هرچه نبود آزیموتی کم‌تر باشد ایستگاه‌ها زمین‌لرزه را بهتر پوشش داده‌اند.

داده‌ها بایستی پیش از داده‌پردازی ویرایش شوند. نخستین کار پس از برداشت و ذخیره‌سازی این داده‌ها، دسته‌بندی آن‌ها است. در این کار، این داده‌ها هرکدام برای یک زمین‌لرزه خاص هستند. ازآنجایی‌که بیش‌تر داده‌پردازی به کمک نرم‌افزار سایزن (Seisan) انجام می‌شود، این داده‌ها بایستی برای این نرم‌افزار ویرایش و آماده شوند. برای انجام پردازش‌های معمول زمین‌لرزه‌شناسی مانند کانون‌یابی زمین‌لرزه‌ها، برآورد بزرگا و سازوکار زمین‌لرزه‌ها نیاز به داده‌های زیر است: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و مدل سرعتی موج در زمین، شکل موج زمین‌لرزه‌ها و منحنی پاسخ لرزه‌نگارها.

روش به دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها با به‌کارگیری قطبش‌های نخستین موج P رسیده به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باند پهن، بلنددوره (پژوهشگاه زلزله‌شناسی) و هم‌چنین کوتاه دوره (موسسه ژئوفیزیک) روش بسیار مطمئن و جا افتاده‌ای است. این روش براین پایه استوار است که یک زمین‌لرزه زمین‌ساختی کره زمین را به ٤ بخش دوبه‌دو متقابل تقسیم می‌کند که قطبش موج P در ایستگاه‌های آن گستره‌ها متفاوت هستند. صفحه گسلی و صفحه عمود بر آن، این قطبش‌ها را از یکدیگر جدا می‌کنند. اگر خطای روکانونی زمین‌لرزه از فاصله میان ایستگاه‌های به‌کار برده شده برای به‌دست آورده سازوکار آن کم‌تر باشد، خطای کانون‌یابی تأثیر زیادی روی سازوکار نمی‌گذارد. تأثیر خطای کانون‌یابی به‌ویژه خطای ژرفی زمین‌لرزه روی سازوکار آن برای زمین‌لرزه‌های محلی با فاصله روکانونی کم‌تر از ۱۵۰

کیلومتر بسیار بیش‌تر از زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و دورلرز است (Stien & Wysession, 2003)؛ زیرا زمین‌لرزه‌های محلی (هم‌چنین خردلرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها) بیش‌تر با شبکه‌های محلی با فاصله میان‌ایستگاهی کم برداشت می‌شوند. جای ایستگاه روی دایره سازوکار کانونی بستگی به زاویه گسیل موج داشته که آن‌هم به ژرفای زمین‌لرزه بستگی دارد. ازآنجایی‌که زاویه گسیل موج زمین‌لرزه‌های محلی بزرگ‌تر از زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و دورلرز می‌باشد(Lay & Wallace, 1995)، بنابراین خطای ژرفی در زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و دورلرز تأثیر کم‌تری روی زاویه گسیل موج و در پی آن سازوکار زمین‌لرزه می‌گذارد تا زمین‌لرزه‌های محلی. پژوهش‌گران زیادی با این روش سازوکار زمین‌لرزه‌ها را در یک گستره وسیعی از بزرگا به‌دست آورده‌اند (Mckenzie, 1972; Jackson & Mckenzie, 1984; Akashe & Berckhmer, 1984; Priestley, Baker, & Jackson, 1994; Ni & Barazangi, 1986).

برونداد این پژوهش برای این زمین‌لرزه‌ها هم‌آمیخت و در پی آن پردازش موج‌های پیکری برداشت شده با ایستگاه‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی بوده است. بیشینه خطای کانون‌یابی این زمین‌لرزه‌ها ۵ کیلومتر بوده و بیشینه چرخش صفحه‌های گرهی در سازوکارها ۵ درجه می‌باشد. این سازوکارها با کم‌ترین خطا در پلاریته‌ها پردازش شده‌اند (پیوست ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برای سازوکارهای شهرهای تهران، مشهد و تبریز). روش به‌دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها به‌کارگیری قطبش‌های نخستین موج P رسیده به ایستگاه‌ها است. برای ایستگاه‌های نزدیک‌تر از ۱۵۰ کیلومتر فاز P_g و برای ایستگاه‌های دورتر فاز P_n خوانده شده‌اند.



شکل ۱ آ) زمین‌لرزه‌های بزرگ (۵/۵<) تاریخی (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲) (نشان‌گرهای زرد)، شهرهای ایران (چهارگوش‌های خاکستری)، زمین‌لرزه‌های نهاد ISC (نشان‌گرهای قرمز) و سازوکار زمین‌لرزه‌ها از جکسون و همکاران (۱۹۹۵) (نشان‌گرهای آبی). ب) سازوکار زمین‌لرزه‌های بزرگ (۵/۵<) ایران (GCMT, ۲۰۲۲).

Fig.1. a) Historical large earthquakes (M>5.5) (Ambraseys and Melville, 1982) (yellow markers), cities of Iran (gray squares), earthquakes recorded by ISC (red markers), and earthquake mechanisms from Jackson et al. (1995) (blue markers). b) Mechanisms of large earthquakes (M>5.5) in Iran (2022 GCMT)

گسل‌های پیرامون شهر تهران

در این بخش سازوکار گسل‌های مشاء، شمال تهران، گرمسار، کهریزک و ایپک بررسی خواهند شد. (Solaymani, Ritz, & Abbassi, 2011) گسل مشاء را در کواترنری آغازین به گونه گسلی راستالغز و چپ‌بر با سامانه نرمال پنداشته‌اند. به گفته برخی دیگر از پژوهش‌گران نیز گسل مشاء یک گسل راستالغز چپ‌بر جنبا است. زمین‌لرزه‌هایی چون زمین‌لرزه سال ١٦٦٥ با بزرگای ٦/٥، زمین‌لرزه سال ١٨٣٠ با بزرگای ٧/١، زمین‌لرزه سال ١٩٣٠ با بزرگای ٥/٢، زمین‌لرزه سال ١٩٥٥ با بزرگای ٤/٠ و زمین‌لرزه سال ١٩٧٤ با بزرگای ٤/٣ وابسته به شاخه خاوری گسل مشاء (نزدیک به گستره در دست بررسی) بوده و همگی جنبش‌های دوباره گسل مشاء هستند(Berberian & Yeats, 1999). گسل گرمسار که در کار(Tchalenko, 1974) با سازوکار معکوس برداشت شده بود، دارای راستای خاور، شمال خاوری- باختر، جنوب باختری بوده و دارای شیب رو به شمال است که اگرچه پیشینه لرزه‌خیزی بارزی در گستره گسلی گرمسار وجود ندارد، این گسل دارای بیش‌ترین توان جنبش در گسل‌های مرز جنوبی البرز خاوری است. (Nemati, 2011). گسل شمال تهران نیز معکوس بوده و شیب رو به شمال دارد (Berberian &

(Yeats, 1999). گسل ایپک با راستای تقریباً خاوری- باختری (شکل۳) و درازای بیش از ۱۰۰کیلومتر، از فاصلهٔ تقریبی ۱۰ کیلومتری جنوب بوئین‌زهرا می‌گذرد. گسل جنبای ایپک زمین‌لرزه اول سپتامبر ۱۹۶۲ میلادی زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷/۱ را موجب شد، که زمین‌لرزه بوئین‌زهرا به همراه ۱ متر جابه‌جایی افقی نام‌گذاری شد (Ambraseys & Melville, 1982). گسل کهریزک به شکل دیواره بلندی (۱ تا ۱۰ متر) با راستای خاوری – باختری و درازای بیش از ٤۰ کیلومتری در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر ری دیده می‌شود. راستای آن خاوری – باختری (۸۰-۷۰ N) و شیب آن به سمت شمال ارزیابی شده است (De Martini, et al., 1998). آرایش هندسی گسله در روی زمین، سازوکار راندگی با شیب به سوی شمال را برای این گسله پیشنهاد می‌کند (شکل۲).

گسل‌های پیرامون شهر مشهد

مجموعه چین‌خورده کپه‌داغ با گسل‌های بی‌شماری بریده شده که می‌توان آن‌ها را در دو گروه دسته‌بندی کرد. گروه نخست گسل‌های پی‌سنگی هستند. این گروه در بخش باختری کپه‌داغ گسترش دارند و شامل شش گسل با روند کلی خاوری- باختری می‌باشند. این گسل‌ها با تغییر سازوکار به‌گونه معکوس، سبب چین‌خوردگی و گسلش راندگی با شیب به سوی شمال شده‌اند. گروه دوم، گسل‌های راستالغز و جنبا بوده که نقش مهمی در جنبش زمین‌ساختی جوان گستره دارا هستند. گسل اشک‌آباد یک گسل معکوس پرشیب یا راندگی با شیب به سمت جنوب است که ۷ تا ۱۰ کیلومتر جابه‌جایی معکوس دارد. سازوکارهای کانونی موجود از کپه‌داغ نیز نشان‌دهنده یک گسل معکوس پرشیب با بردار لغزش شمال- شمال خاور هستند (Tchalenko, 1975). گسل‌های راستالغز نیز با عنوان «سامانه گسله مورب شناخته می‌شوند که شامل گسل‌های راست‌بر با راستای NNW-SSE و چپ‌بر با راستای NE-SW می‌باشند (شکل۳).

گسل باغان در ایران درازایی نزدیک به ۷۵ کیلومتر داشته و باعث جابه‌جایی۸ کیلومتری چین‌ها شده است. این گسل از دیدگاه لرزه‌ای نیز جنبا است به‌گونه‌ای‌که در زمین‌لرزه ۱ می ۱۹۲۹ قوچان، همه درازای آن دچار گسیختگی گردید (Ambraseys & Melville, 1982). سامانه گسلی قوچان در گستره‌ای به پهنای ۵۰ کیلومتر با روند NNW-SSE در شمال باختر قوچان تا شمال شیروان جای گرفته است. درازای این پهنه در ایران حدود ۱۰۰ کیلومتر است. این پهنه، متشکل از حدود ۱۰ گسل راستالغز راست‌بر است که در راستای شمال- شمال باختر و به‌موازات یکدیگر قرار گرفته و باعث جابه‌جایی محور چین‌ها گردیده‌اند (Tchalenko, 1975). گسل وارون کشف‌رود بخشی از ساختار مهم کپه‌داغ است. شیب گسل کشف‌رود به‌سوی شمال خاور و راستای آن شمال باختر- جنوب خاور بوده و به‌موازات رشته‌کوه کپه‌داغ خاوری است (شکل۳).

گسل‌های پیرامون شهر تبریز

گسل شمال تبریز و گسل زمین‌لرزه‌ای اهر– ورزقان گسل‌های مهم این گستره هستند که زمین‌لرزه‌های بررسی شده به آن‌ها وابسته هستند. بررسی دقیق محل کانونی زمین‌لرزه‌ها در برش‌های گوناگون لرزه‌ای گسل شمال تبریز نشان‌دهنده شیب تند به سوی شمال خاوری در بخش‌های باختری و میانی و شیب تند به سوی جنوب باختری در بخش‌های خاوری این گسل می‌باشد. تمامی سازوکارهای محاسبه شده زمین‌لرزه‌ها در راستای این گسل، بیان‌گر جنبش چیره راستالغز راست‌بر در این گسل هستند (Moradi et al., 2011) گسل شمال تبریز اگرچه میزبان زمین‌لرزه بزرگ دستگاهی نیست، شاهد رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی در راستای خود بوده است (شکل ٤). هم‌چنین این گسل میزبان مهاجرت خاور به باختر سه زمین‌لرزه تاریخی در راستای خود بوده است (Berberian & Yeats, 1999). گسله بزقوش که در پاره‌ای از نوشتارها از آن با نام گسله میانه یاد می‌شود، از جنوب خاوری میانه در جنوب، تا خاور لاهرود در شمال، نزدیک به ١٤٥ کیلومتر درازا دارد. راستای جنوبی این گسل شمالی–جنوبی بوده و شیب کلی آن به سوی خاور است. گسل خاوری– باختری در بخش شمالی کوه‌های بزقوش دارای شیب به‌سوی شمال و گسل جنوبی دارای شیب به‌سوی شمال بوده است.

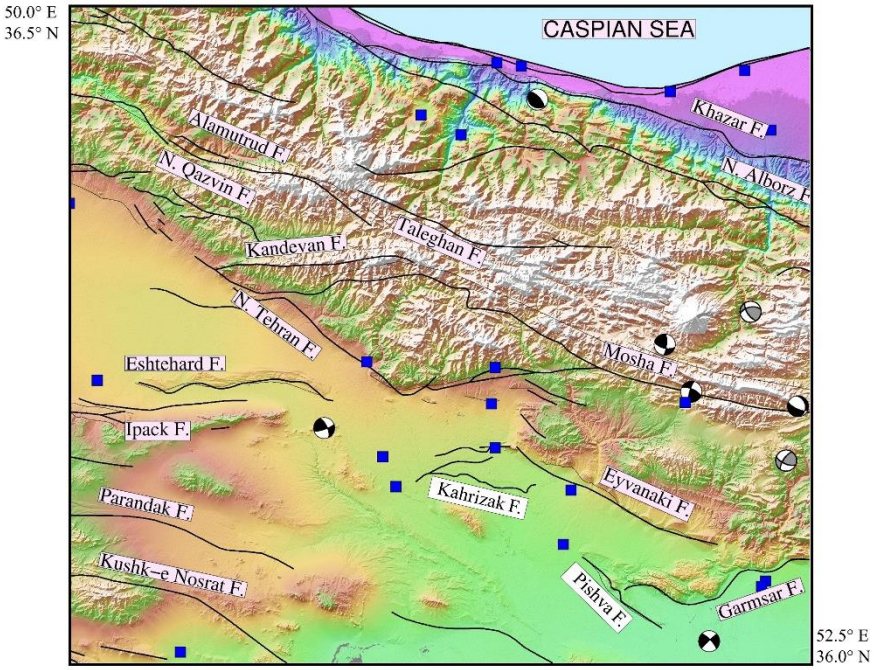
گسیختگی وابسته به زمین‌لرزه سال ۲۰۱۲ (Mw 6.0-6.1) در کار میدانی در یک زون خاوری–باختری برداشت شده است. در این بررسی درازای گسیختگی و گسلش این زمین‌لرزه نزدیک به ۱۳ کیلومتر اعلام شد. گسلش سطحی زمین‌لرزه اهر – ورزقان با کمینه ٦٥ سانتی‌متر جابه‌جایی راستالغز راست‌بر و ۲۵ سانتی‌متر جابه‌جایی شاقولی، در جاده ورزقان گزارش شده است. بیش‌تر پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه دارای سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه معکوس بودند (Copley, et al., 2013; Nemati, 2013) (شکل ٤).

نتایج و بحث

سه کلان‌شهر تهران، مشهد و تبریز در این مقاله بررسی شده است. یکی از مهم‌ترین دلایل گزینش این سه شهر برای بررسی لرزه‌ای، جمعیت آن است که اهمیت آن‌ها را می‌رساند. علت بررسی این شهرها به‌گونه جدا، استان‌های لرزه‌زمین‌ساختی است که این شهرها در آن جای دارند. این سه شهر، به ترتیب در سه استان لرزه‌زمین‌ساختی البرز، کپه‌داغ و آذربایجان (بنابر مشاوره‌ای که نویسنده با دکتر بربریان داشته است، می‌توان استان لرزه‌زمین‌ساختی آذربایجان را یک استان جدا در نظر گرفت) جای دارند. این سه استان، دارای ویژگی‌های لرزه‌ای و زمین‌شناسی متفاوت هستند (Berberian, 1976)، بنابراین، بایستی جدا بررسی شوند.

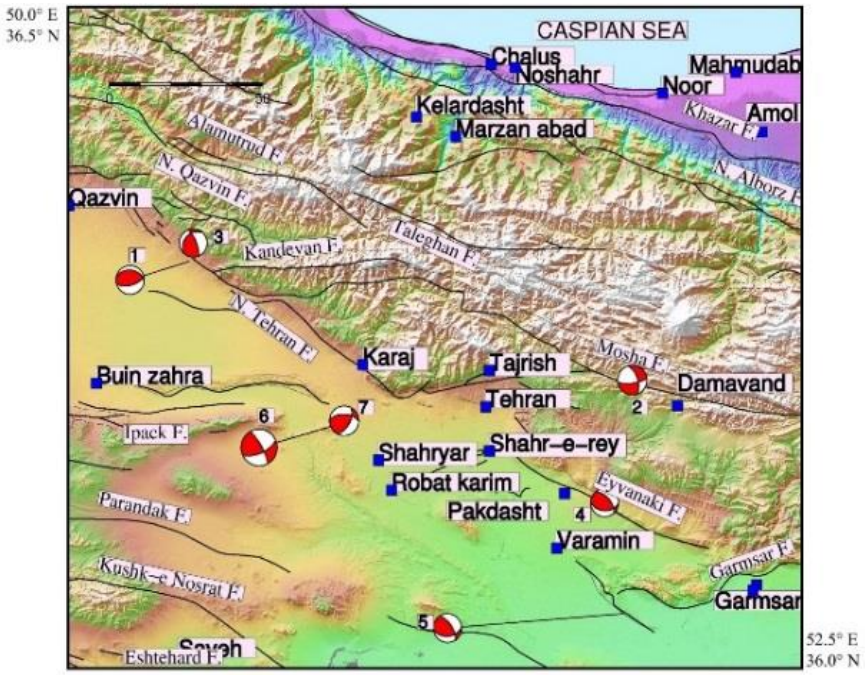
زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تهران

بررسی زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تهران به‌عنوان پایتخت کشور از اهمیت زیادی برخوردار است. شکل۳ نقشه گسل‌ها و سازوکار زمین‌لرزه‌های موسسه ژئوفیزیک و GCMT (به ترتیب، نشان‌گرهای خاکستری و تیره) را در پیرامون این شهر نمایش می‌دهد. شهرهای کرج، قزوین، سمنان، گرمسار، ساوه، بوئین‌زهرا و شهرهای شمالی آمل، چالوس و نوشهر از شهرهای بزرگ و کوچک و دور و نزدیک به پایتخت ۱۵ میلیونی ایران هستند. اگرچه لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی پیرامون شهر تهران بسیار روی داده است، در تهران و پیرامون تقریباً نبود لرزه‌خیزی بزرگ دستگاهی احساس می‌شود. لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی پیرامون شهر تهران به سامانه‌های گسلی مشاء، شمال تهران، ایوانکی، فیروزکوه و گرمسار وابسته است (شکل۲ و ۳). زمین‌لرزه‌ها در شکل۲ و ۳ بیش‌تر به گسل‌های مشاء، گرمسار و خزر وابسته هستند.



شکل ۲ نقشه گسل‌های اصلی و فرعی همراه با نام آن‌ها، سازوکار زمین‌لرزه‌های (>۵/۵) موسسه ژئوفیزیک (نشان‌گرهای خاکستری) و سازوکار زمین‌لرزه‌های (>۵/۵) از GCMT (نشان‌گرهای مشکی)در پیرامون کلان‌شهر تهران.

Fig.2. Map of the main and secondary faults along with their names, earthquake mechanisms (M>5.5) from the Institute of Geophysics (gray markers) and earthquake mechanisms (M>5.5) from GCMT (black markers) in the metropolise of Tehran.



شکل ۳ سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های ۴/۰>) در این پژوهش (نشان‌گرهای قرمز) در پیرامون شهر تهران.

Fig.3. Resolved earthquake mechanisms (M<4.0) in this study (red markers) in the metropolise of Tehran.

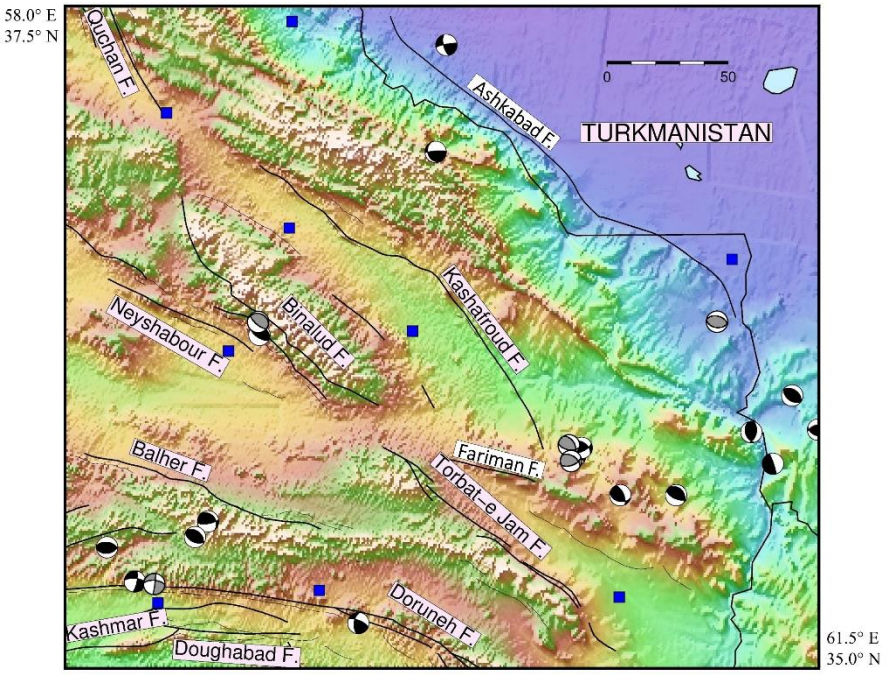
جدول ۱ ویژگی‌های سازوکار کانونی حل شده از زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تهران را نشان می‌دهد. در تشخیص وابستگی یک زمین‌لرزه به یک گسل، نزدیکی آن زمین‌لرزه به گسل و شیب عمومی گسل در آن گستره در نظر گرفته می‌شود. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (٤/٠>) در این پژوهش نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های 1, 3 به گسل شمال تهران وابسته هستند. زمین‌لرزه 2 به گسل مشاء، زمین‌لرزه 4 به گسل ایوانکی، زمین‌لرزه 5 به گسل پیشوا و زمین‌لرزه‌های 6, 7 به گسل ایپک وابسته هستند. بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها در این پژوهش، گسل‌های مشاء، شمال تهران، ایپک، پیشوا و ایوانکی، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک نرمال، معکوس، راستالغز چپ‌گرد، راستالغز راست‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و سازوکار چیره معکوس می‌باشند.

جدول ۱. ویژگی‌های سازوکارهای حل شده از زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر تهران.

NO.	Date	Time	Long.	Lat.	Mn	Lat.	Lon.	Rake	RMS.	N.S.	Q
1	2/22/2006	19:25.4	50.409	36.114	4.1	75.39	60.5	78.49	0.5	18	B
2	12/20/2006	39:21.1	51.926	35.79	4.2	341.89	59.4	-19.96	0.3	12	A
3	7/29/2009	27:44.0	50.425	36.165	4	338.07	72.77	58.43	0.4	29	A
4	2/20/2011	22:16.5	51.831	35.454	4	93.34	42.35	52.86	0.5	30	A
5	8/13/2015	42:13.0	51.894	35.148	4.1	85.55	43.42	37.59	0.6	33	A
6	12/20/2017	57:37.3	50.95	35.675	5.2	66.42	65.04	13.12	0.3	95	A
7	12/26/2017	24:34.0	50.941	35.679	4.2	28.2	58.67	42.54	0.3	62	A

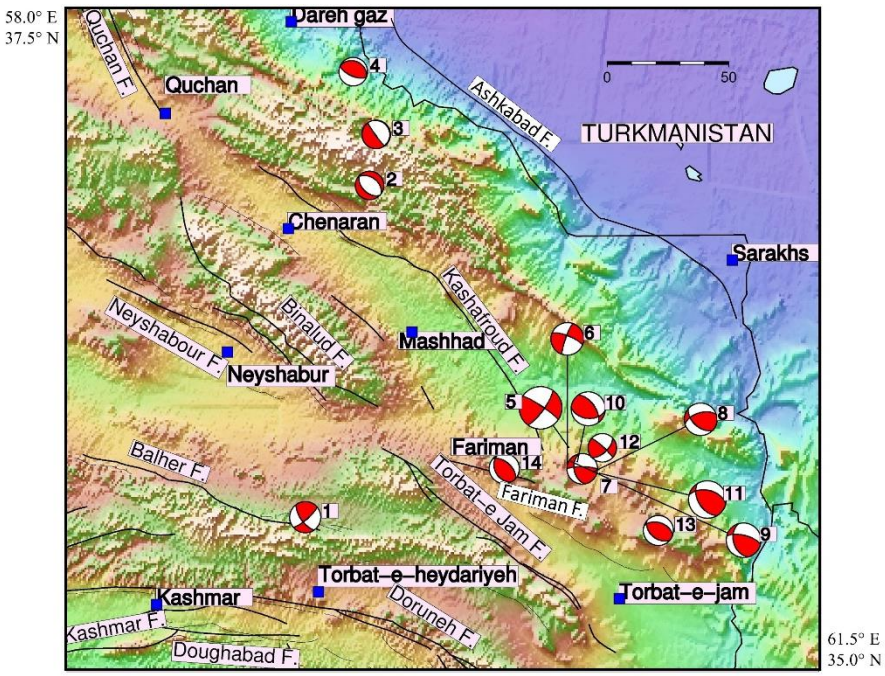
Table1- Characteristics of the resolved mechanisms from earthquakes in the metroploise of Tehran

شهرهای چناران، قوچان، دره‌گز، نیشابور، تربت‌جام، تربت حیدریه، فریمان و کاشمر از شهرهای بزرگ و کوچک و دور و نزدیک به این شهر پرجمعیت ایران هستند. لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی در نزدیکی مشهد (۱۶۷۳) و پیرامون در سامانه گسلی قوچان و گسل درونه دیده می‌شود. لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی پیرامون شهر مشهد از سال ۸۴۰ تا۱۹۱۸ میلادی روی داده است (شکل ٤ و ٥).



شکل ٤ نقشه گسل‌های اصلی و فرعی همراه با نام آن‌ها، سازوکار زمین‌لرزه‌های (۵/۵<) موسسه ژئوفیزیک (نشان‌گرهای خاکستری) و سازوکار زمین‌لرزه‌های(۵/۵<) از GCMT (نشان‌گرهای مشکی) در پیرامون کلان‌شهر مشهد.

Fig.4. The map of the main and secondary faults along with their names, the mechanisms of earthquakes (magnitude > 5.5) from the Geophysical Institute (indicated by gray markers), and the mechanisms of earthquakes (magnitude > 5.5) from GCMT (indicated by black markers) around the metropolise of Mashhad.



شکل ۵ نقشه سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (۴/۰<) در این پژوهش (نشان‌گرهای قرمز) در پیرامون کلان‌شهر مشهد.

Fig.5. The map of the resolved mechanisms of earthquakes (magnitude > 4.0) in this study (indicated by red markers) around the metroplolise of Mashhad.

جدول ۲ ویژگی‌های رقومی سازوکارهای حل شده از زمین‌لرزه‌های پیرامون مشهد را نشان می‌دهد. شکل۳ آ و ب نیز به ترتیب، نقشه گسل‌های اصلی و فرعی همراه با نام آن‌ها، نام شهرهای بزرگ و کوچک و سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های بزرگ از GCMT و ٤/٠< را در این پژوهش (نشان‌گرهای قرمز) در پیرامون شهر مشهد نمایش می‌دهد. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (M_L>٤/٠) در این پژوهش نشان می‌دهد زمین‌لرزه 1 به گسل باهلر وابسته است. زمین‌لرزه‌های 2 به گسل کشف‌رود و 3, 4 به گسل اشک‌آباد، 5 همان زمین‌لرزه ۲۰۱۷/۰٤/۰۵ فریمان با بزرگای ٦/٠ بوده و زمین‌لرزه‌های 6 - 12 پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه هستند. زمین‌لرزه‌های ۱۳ و ١٤ نیز به گسل فریمان و امتداد آن وابسته است. سازوکار نرمال زمین‌لرزه 2 نشان می‌دهد که به گسل اشک‌آباد وابسته نبوده و به گمان، به گسل کشف‌رود وابسته است.

بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها در این پژوهش، گسل‌های باهلر و اشک‌آباد، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و معکوس می‌باشند. سازوکار چیره پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه فریمان که به گمان در راستا و دنباله گسل فریمان روی داده‌اند، معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر می‌باشند. سازوکار پس‌لرزه‌های 6, 12 از زمین‌لرزه فریمان با خود زمین‌لرزه هم‌خوانی دارند. سازوکار زمین‌لرزه‌های 8, 9, 10, 11 معکوس بوده و با سازوکار گسل فریمان هم‌خوانی دارند.

جدول ۲. ویژگی‌های سازوکارهای حل شده از زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر مشهد.

NO.	Date	Time	Lat.	Long.	Mn	Str.	Dip	Rake	RMS.	N.S.	Q
1	12/19/2006	8:57	35.581	59.117	4.4	145.06	65.51	14.02	0.5	23	A
2	1/2/2010	22:13	36.836	59.415	4	134.46	48.13	-84.62	0.2	7	B
3	11/5/2010	23:00	37.027	59.446	4	346.15	5.38	-68.17	0.5	35	A
4	4/6/2014	12:38	37.262	59.339	4	113.68	64	90	0.2	30	A
5	4/5/2017	6:09	35.847	60.339	6	35.6	77.05	7.63	0.5	107	B
6	4/5/2017	6:19	35.758	60.333	4.6	199.28	81.11	-15.72	0.7	25	B
7	4/5/2017	6:24	35.765	60.402	4.3	270.43	78.56	44.87	0.6	26	A
8	4/5/2017	6:38	35.753	60.452	4.6	253.09	56.31	47.77	0.6	51	A
9	4/5/2017	7:47	35.793	60.351	4.9	283.68	66.54	54.71	0.4	67	A
10	4/5/2017	17:08	35.793	60.38	4.8	95.72	43.35	50.31	0.5	70	A
11	5/2/2017	21:12	35.748	60.483	5.3	283.62	48.92	57.34	0.6	94	A
12	5/21/2017	19:51	35.845	60.495	4	46.53	61.12	8.5	0.5	29	B
13	12/20/2020	18:45	35.53	60.756	4.2	289.3	45.86	76	0.4	40	A
14	1/11/2021	19:27	35.766	60.041	4.2	312.02	54.51	78.92	0.4	50	B

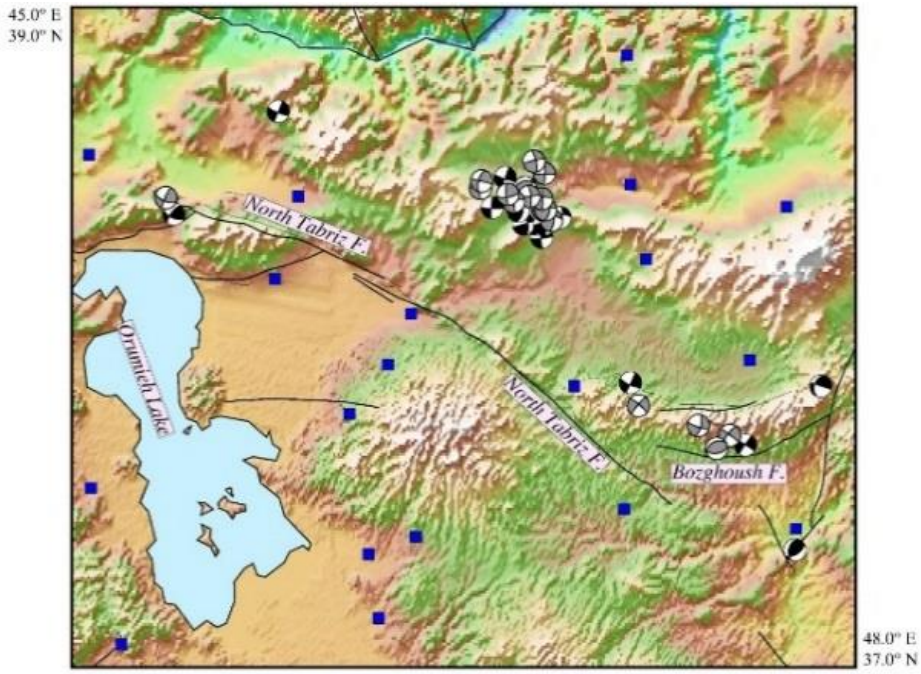
Table2- Characteristics of the resolved mechanisms from earthquakes in the metropolise of Mashhad

۳-۳ زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تبریز

شکل ٦ و ۷ نقشه گسل‌های گستره، سازوکار زمین‌لرزه‌های GCMT (نشان‌گرهای سیاه)، موسسه ژئوفیزیک (نشان‌گرهای خاکستری) و این پژوهش (نشان‌گرهای قرمز) را در پیرامون شهر تبریز نمایش می‌دهد. شهرهای شبستر، اسکو، آذرشهر، بستان‌آباد، مرند و هریس از شهرهای بزرگ و کوچک و دور و نزدیک این شهر تاریخی، مهم و پرجمعیت ایران هستند. لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی پیرامون این شهر در پیرامون سامانه گسلی شمال تبریز و گسل بزقوش پراکنده شده است. لرزه‌خیزی تاریخی و پیش‌دستگاهی پیرامون شهر تبریز از سال ۱۰٤۲ ۱۸۸۳ روی داده است (شکل ۱ آ).

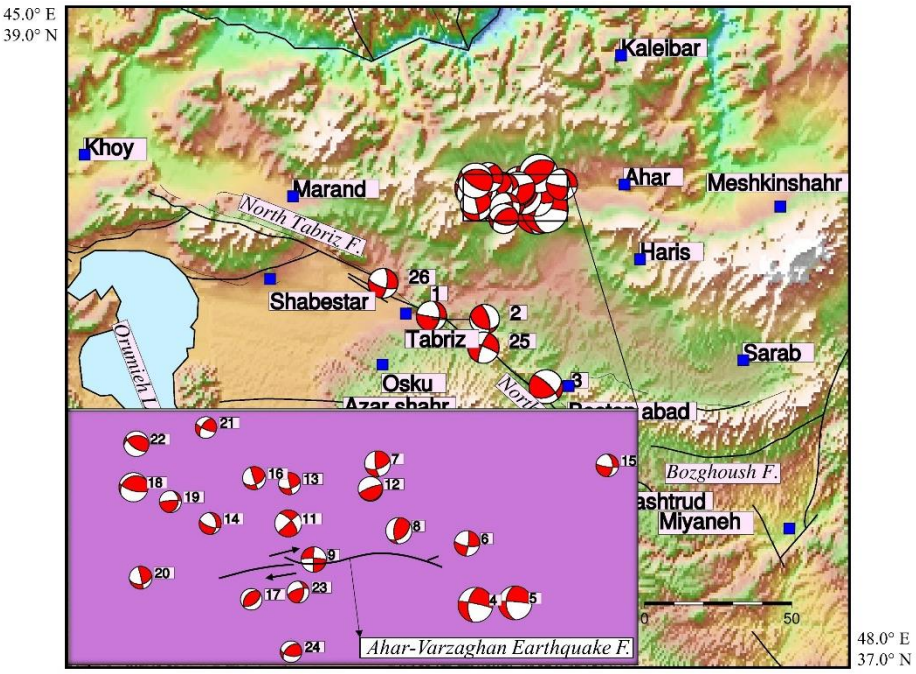
همان‌گونه که در شکل ۱ آ دیده می‌شود، اگرچه گسل شمال تبریز خاستگاه زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی زیادی بوده است، این گسل میزبان زمین‌لرزه بزرگ دستگاهی نیست. جدول ۳ مشخصات مکانیسم‌های حل شده زمین‌لرزه‌های پیرامون شهر تبریز را نشان می‌دهد. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های در این پژوهش (شکل ۷) نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های 1, 2, 3, 25, 26 با سازوکار چیره راستالغز راست‌بر و معکوس به گسل شمال تبریز وابسته هستند. دیگر زمین‌لرزه‌ها که پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های دوگانه ۲۰۱۲ اهر- ورزقان می‌باشند، نیز دارای راستالغز راست‌بر و معکوس هستند. زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۲ اهر- ورزقان 4, 5 دارای سازوکار راستالغز راست‌بر خالص هستند. سازوکار راستالغز

راست‌بر زمین‌لرزه‌های 6, 7, 13, 15, 16, 19, 21, با گسل هم‌لرز خاوری- باختری بررسی شده (Copley, et al., 2013) هم‌خوانی دارد. سازوکار زمین‌لرزه‌های11, 14, 20, 22, 23 نیز با شیب‌های گسلی اندکی متفاوت می‌توانند به گسل خاوری باختری زمین‌لرزه وابسته باشند.



شکل ٦ نقشه گسل‌های اصلی و فرعی همراه با نام آن‌ها، سازوکار زمین‌لرزه‌های (۴/۵<) موسسه ژئوفیزیک (نشان‌گرهای خاکستری) (از سال 2012 تاکنون) و سازوکار زمین‌لرزه‌های (۵/۵<) از GCMT (نشان‌گرهای مشکی) (از سال 1976 تاکنون) در پیرامون کلان‌شهر تبریز.

Fig.6. The map of the main and secondary faults along with their names, the mechanisms of earthquakes (magnitude > 4.5) from the Geophysical Institute (indicated by gray markers) (from 2012 to present), and the mechanisms of earthquakes (magnitude > 5.5) from GCMT (indicated by black markers) (from 1976 to present) around the metropolise of Tabriz.



شکل ۷ نقشه سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (>۴/۰) در این پژوهش (نشان‌گرهای قرمز) در پیرامون کلان‌شهر تبریز.

Fig.7. The map of the resolved mechanisms of earthquakes (magnitude > 4.0) in this study (indicated by red markers) around the metropolise of Tabriz.

جدول ۳. ویژگی‌های سازوکارهای حل شده از زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر تبریز.

NO.	*Date*	*Time*	*Lat.*	*Long.*	*Mag.*	*St.*	*Dip*	*Rake*	*RMS.*	*N.S.*	*Q*
1	12/1/2007	18:22	38.072	46.398	4.1	5.23	45.22	-4.98	0.1	5	A
2	12/2/2007	10:00	38.062	46.402	4	109.97	37.45	41.7	0.1	6	B
3	2/2/2010	10:16	37.857	46.838	4.6	64.43	39.67	26.03	0.3	18	B
4	8/11/2012	12:23	38.393	46.806	6.5	187.61	55.61	-6.93	0.5	78	A
5	8/11/2012	12:34	38.394	46.814	6.3	178.66	45.7	-8.89	0.8	69	A
6	8/11/2012	15:21	38.427	46.8	4.7	6.88	80.15	-17.5	0.7	77	B
7	8/11/2012	15:43	38.461	46.737	4.8	172.27	75.97	32.4	0.7	44	A
8	8/11/2012	22:24	38.434	46.752	4.9	182.9	58.68	60.35	0.7	61	A
9	8/13/2012	1:56	38.418	46.692	4.7	180.74	88.41	170.99	0.7	54	A
10	8/14/2012	14:02	38.503	46.81	5.2	54.98	54.06	86.29	0.6	74	A
11	8/15/2012	17:49	38.438	46.674	5	318	65	0	0.5	59	A
12	8/16/2012	17:14	38.457	46.732	4.6	69.05	10	90	0.7	65	B
13	9/17/2012	7:05	38.46	46.675	4.1	166.83	90	35	0.5	29	A
14	10/8/2012	8:25	38.438	46.619	4.1	352.95	44.81	-35.53	0.5	58	A
15	10/16/2012	4:15	38.47	46.899	4.2	0.29	51.62	-12.25	0.6	70	A
16	10/26/2012	22:31	38.463	46.65	4.3	162.21	86.41	45.89	0.8	64	B
17	10/27/2012	3:56	38.396	46.648	4	220.95	41.49	79.4	0.7	40	A
18	11/7/2012	6:26	38.458	46.565	5.4	239.96	27.39	47.8	0.8	78	A
19	11/7/2012	7:02	38.45	46.591	4.1	10.72	31.47	16.74	1	33	A
20	11/8/2012	9:45	38.408	46.57	4.2	346.93	87.77	-47.96	0.8	58	A
21	11/10/2012	13:48	38.491	46.616	4	211.85	58.68	16.48	0.7	17	B

22	11/16/2012	3:58	38.482	46.567	4.7	261.67	36.05	52.49	0.7	84	A
23	3/3/2013	20:59	38.4	46.681	4.1	4.29	48.44	30.79	0.5	72	A
24	3/8/2013	13:45	38.367	46.676	4	225.65	49.49	45.81	0.5	54	B
25	8/16/2019	10:55	37.976	46.598	4.2	201.01	78.16	-7.53	0.4	45	A
26	6/7/2021	22:44	38.171	46.212	4	7.85	67.59	-23.46	0.4	31	A

Table3- Characteristics of the resolved mechanisms from earthquakes in the metropolise of Tabriz

نتیجه گیری

حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها بر پایه بیش‌ترین شمار قطبش ایستگاه‌ها، پراکندگی یکنواخت و مناسب آن‌ها و محدودیت چرخش صفحه‌های گرهی با ایستگاه‌ها انجام شده است. درجه آزادی حرکت صفحه‌های گرهی ۵ درجه در نظر گرفته شده و سازوکارها با بیشینه یک یا دو خطای قطبش در گستره‌های کششی و فشاری حل شدند. این سازوکارهای حل شده، بر پایه شرایط بالا، به دو دسته با کیفیت خوب (A) و منصفانه (B) دسته‌بندی شدند. در حل سازوکارها در این پژوهش، برخلاف برخی از کارهای پژوهشی دیگر مانند (Jackson & Mckenzie, 1984)، تنها از پراکندگی قطبش‌ها کمک گرفته شد. علت به کار بردن این روش، مقایسه نتیجه دو روش و نشان دادن استقلال و کارآمدی این روش است.

بر پایه توضیحات بالا نتایج زیر به‌دست آمد:

۱- تهران و مجموعه شهرهای پیرامون آن در گستره اثر گسل‌های جنبا و لرزه‌زایی چون گسل‌های شمال تهران و مشاء در سوی شمال- شمال خاوری و گسل‌های پیشوا در بخش جنوبی خود جای دارند. گستره تهران در میانه خود نیز دربردارنده مجموعه‌ای از پاره گسل‌ها و پدیده‌های کم‌وبیش خطی است که از برخی از آن‌ها با نام‌های نیاوران، محمودیه، داوودیه، در بخش‌های شمالی شهرری و کهریزک در بخش جنوبی شهر یاد می‌شود. تاکنون زمین‌لرزه‌ای در درون شهر روی گسل‌های یادشده روی نداده است. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (>٤/٠) در این پژوهش نشان می‌دهد زمین‌لرزه‌ها به گسل‌های شمال تهران، مشاء، ایوانکی، گرمسار و ایپک وابسته هستند. بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها با روش قطبش نخستین موج P، گسل‌های مشاء، شمال تهران، ایپک، گرمسار و ایوانکی، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک نرمال، معکوس، راستالغز چپ‌گرد، راستالغز راست‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و سازوکار چیره معکوس می‌باشند. با سنجش این نقشه با نتایج کارهای پیشین از نهاد GCMT و کارهای لرزه‌شناسی (Ashtari et al., 2005) در این گستره، پی می‌بریم که هم‌خوانی نسبی میان این پژوهش و پژوهش‌های گذشته وجود دارد.

۲- ایالت لرزه‌زمین‌ساختی و کمربند چین‌خورده و راندگی درون‌قاره‌ای کپه‌داغ یک ساختار جنبا با راستای N۱۲۰° و درازای ۷۰۰ کیلومتر است که مرز امروزی میان پهنه اوراسیا (پلت‌فرم توران) و خرده‌قاره ایران مرکزی را مشخص می‌سازد. کران شمالی آن گسل اشک‌آباد (قلمرو حکمرانی اشکانیان) یا گسل

اصلی کپه‌داغ، مرز بلوک ایران و توران، است. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌های (>٤/٠) این پژوهش در این گستره، نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌ها به گسل‌های باهلر، کشف‌رود، اشک‌آباد و فریمان وابسته هستند. بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها، گسل‌های باهلر و اشک‌آباد، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و معکوس می‌باشند. سازوکار چیره پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه فریمان که به گمان در راستا و روی دنباله گسل فریمان روی داده‌اند، معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر می‌باشند. سازوکار برخی از پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه فریمان با خود زمین‌لرزه هم‌خوانی دارند، اگرچه سازوکار برخی از زمین‌لرزه‌ها نیز معکوس بوده و با سازوکار گسل فریمان هم‌خوانی دارند. حل زمین‌لرزه‌های گسل باهلر و گستره فریمان در این پژوهش با حل دانشگاه هاروارد هم‌خوانی نسبی دارند.

۳- گستره آذربایجان و تبریز از دیدگاه لرزه‌خیزی تاریخی در ایران یگانه به شمار می‌رود. گسل شمال تبریز خاستگاه زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی زیادی در این گستره است، اگرچه، بایستی در تفسیر روکانون زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی در همه‌جا، پراکندگی جمعیت را نیز در گذشته در نظر داشته باشیم. در شمال باختری ایران، وجود جابه‌جایی‌های برشی، سبب ایجاد گسل‌های راستالغز شده است که به گسل شمال تبریز به‌عنوان یکی از نمونه‌های بارز و بسیار مهم آن می‌توان اشاره کرد. سازوکارهای حل‌شده زمین‌لرزه‌ها در این پژوهش نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌ها با سازوکار چیره راستالغز راست‌بر و معکوس به گسل شمال تبریز وابسته هستند(Moradi et al., 2011) نشان دادند که تقریباً سازوکار چیره همه خردلرزه‌های وابسته به گسل شمال تبریز پیش از سال ۲۰۱۰ راستالغز راست‌بر می‌باشد. این پژوهش شیب گسل را نیز نزدیک به قائم برآورد نموده و همچنین این گسل را یک گسل با عملکرد ساده معرفی نموده‌اند؛ بنابراین، سازوکار زمین‌لرزه‌ها و شیب به‌دست آمده از حل سازوکارهای آن‌ها در این پژوهش با پژوهش (Moradi et al., 2011) هم‌خوانی دارد. دیگر زمین‌لرزه‌ها که پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های دوگانه ۲۰۱۲ اهر- ورزقان می‌باشند، نیز دارای راستالغز راست‌بر و معکوس هستند. سازوکار خود زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۲ اهر- ورزقان، راستالغز راست‌بر خالص به‌دست آمده است. سازوکار راستالغز راست‌بر برخی از پس‌لرزه‌ها با گسل هم‌لرز خاوری- باختری بررسی شده (Copley, et al., 2013) هم‌خوانی دارد. سازوکار برخی از پس‌لرزه‌ها نیز با شیب‌های گسلی اندکی متفاوت می‌تواند به گسل خاوری باختری زمین‌لرزه وابسته باشند.

این پژوهش نشان داد گسل‌های مشاء، شمال تهران، ایپک، گرمسار و ایوانکی، به ترتیب دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک نرمال، معکوس، راستالغز چپ‌گرد، راستالغز راست‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و سازوکار چیره معکوس می‌باشند. با توجه به اینکه بیشتر ویرانی‌ها در فرادیواره گسل‌های معکوس روی می‌دهد، با یک تفسیر البته ساده می‌توان گفت که خوشبختانه، شهر تهران در

فرادیواره گسل معکوس شمال تهران جای ندارد. اگرچه، تنها این عامل در خطر لرزه‌ای دخیل نیست، درباره شهر تهران درازا (در نتیجه بزرگای زمین‌لرزه ایجاد شده) گسل راستالغزی مانند مشاء بسیار قابل‌توجه است.

گسل‌های باهلر و اشک‌آباد نیز به ترتیب، دارای سازوکار چیره راستالغز چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس و معکوس می‌باشند. سازوکار چیره پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۲۰۱۷ فریمان، معکوس با مؤلفه راستالغز راست‌بر می‌باشند. سازوکار برخی از پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه فریمان با خود زمین‌لرزه هم‌خوانی داشته و برخی از آن‌ها نیز معکوس بوده و با سازوکار گسل فریمان هم‌خوانی دارند. شهر مشهد در معرض خطر جنبش گسل‌هایی مانند بینالود، کشف‌رود و فریمان جای دارد. می‌توان گفت از میان این گسل‌ها تنها گسل فریمان در سال‌های اخیر جنبا بوده و گسل کشف‌رود و بینالود لرزه‌خیزی چندانی نداشته‌اند.

در گستره آذربایجان نیز زمین‌لرزه‌ها با سازوکار چیره راستالغز راست‌بر و معکوس به گسل شمال تبریز وابسته هستند. دیگر زمین‌لرزه‌ها که پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۲ اهر- ورزقان می‌باشند، نیز عمدتاً دارای راستالغز راست‌بر و معکوس هستند. سازوکار خود زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۲ اهر- ورزقان، راستالغز راست‌بر خالص به‌دست آمده است. سازوکار راستالغز راست‌بر برخی از پس‌لرزه‌ها با گسل هم‌لرز خاوری-باختری زمین‌لرزه هم‌خوانی دارد. نزدیکی زیاد شهر تبریز به گسل شمال تبریز در ایجاد خطر لرزه‌ای بسیار قابل‌توجه است. ویرانی‌های تاریخی تبریز گویای اهمیت این موضوع است. بزرگ نبودن زمین‌لرزه‌های دستگاهی این گسل می‌تواند گویای این واقعیت باشد که هم‌اکنون بخش‌هایی از این گسل در تکه‌های گسلی کوچک شکسته شده و ایجاد زمین‌لرزه می‌نماید. اگرچه این تفسیر نمی‌تواند یکپارچه شدن تکه‌های گسلی و ایجاد یک زمین‌لرزه بزرگ‌تر را نفی کند.

References

Akasheh, B., & Berckhemer, H. (1984). Focal Mechanisms of Earthquakes in Iran with Special Emphasis on Small Shocks in Tehran Region. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*. 168(2-3), 244-255. https://doi.org/10.1127/njgpa/168/1984/244.

Ambraseys, M.M., & Melville, C.P. (1982). *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ashtari M., Hatzfeld D., & Kamalian, N. (2005). Microseismicity in the Region of Tehran. *Tectonophysics*, 395(3-4), 193–208. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.09.011.

Berberian, M., (1976). Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II). *Geological Survey of Iran*, 39, 518.

Berberian M., Yeats, R.S. (1999). Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(1), 120-139. https://doi.org/10.1785/BSSA0890010120.

Copley, A., Faridi, M., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nazari, H., Oveisi, B., & Talebian, M. (2013). The 2012 August 11 Ahar earthquakes: consequences for tectonics and earthquake hazard in the Turkish-Iranian Plateau. *Geophysical Journal Journal*, 196(1), 15-21. https://doi.org/10.1093/gji/ggt379.

De Martini, P.M., Hessami, K., Pantosti, D., D'ddezio, G., Alinaghi, H, Ghafori-Ashtiany, M. (1998). A Geologic Contribution of the Evaluation of the Seismic Potential of the Kahrizak Fault (Tehran, Iran). *Tectonophysics*, 287(1-4): 187–199. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)80068-1.

Hessami, K., Jamali, F. and Tabassi, H. (2003). Major active faults of Iran. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Alarcon, J., Boomer, J., Bolourchi, M.J. (2007). The 4th February 1997 Bojnourd (Garmkhan) Earthquake in NE Iran: Teleseismic, and Strong-Motion Evidence for Rupture Directivity Effects on a Strike-Slip Fault. *Journal of Earthquake Engineering*, 11(2), 193-214. https://doi.org/10.1080/13632460601031078.

Hosseinzadeh, S.R.(2004). Environmental Crises In The Metropolises Of Iran. *WIT Press*, 179-187. https://doi.org/10.2495/SC040191.

Jackson, J.A., McKenzie, D.P. (1984). Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77 (1), 185–264. 10.2495/SC040191 10.1111/j.1365-246X.1984.tb01931.x.

Jackson, J., Haines, J., Holt, W. (1995). The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran. *Journal Of Geophysical Reseach*, 100, 15205-15219. https://doi.org/10.1029/95JB01294.

Lay, T. & Wallace, T.C. (1995). *Modern Global Seismology*. California: Academic Press Institute.

McKenzie, D. (1972). Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109–185. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x.

Moradi, S. A., Hatzfeld, D., & Tatar, M. (2011). Microseismicity and Seismotectonics of the North Tabriz Fault (Iran). *Tectonophysics*, 506(1-4), 22-30. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.04.008.

Nemati, M., Hatzfeld, D., Gheitanchi, M., Sadidkhouy, A., & Mirzaei, N. (2011). Microseismicity and seismotectonics of the Firouzkuh and Astaneh faults (east Alborz, Iran). *Tectonophysics*, 506, 11-21. http:// doi.org/10.1016/j.tecto.2011.04.007.

Nemati, M. (2013). Some Aspects about Seismology of 2012 August 11 Ahar-Varzaghan (Azarbayjan, NW Persia) Earthquakes Sequences. *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*, 24(3), 229-241.

Nemati, M. (2015). Intermediate-term variations in 200-year seismicity at south of Iran. *Geomatics Natural Hazards and Risks*, 7(3), 1065-1080. https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1030785.

Ni, J., Barazangi, M. (1986). Seismotectonics of Zagros continental collision zone and a comparison with the Himalayas. *Journal Of Geophysical Reseach*, 91(B8), 8205-8218. https://doi.org/10.1029/JB091iB08p08205.

Priestley, K., Baker, C., & Jackson, J. (1994). Implications of Earthquake Focal Mechanism Data for the Active Tectonics of the South Caspian Basin and Surrounding Regions, *Geophysical JournalInternatio nal*,118(1), 111–141. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb04679.x.

Solaymani, A.S., Ritz, J.F., Abbassi, M.R. (2011). Left-Lateral Active Deformation along the Mosha–North Tehran Fault System (Iran): Morphotectonics and Paleoseismological Investigations. *Tectonophysics*, 497(1-4), 1–14. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.09.013.

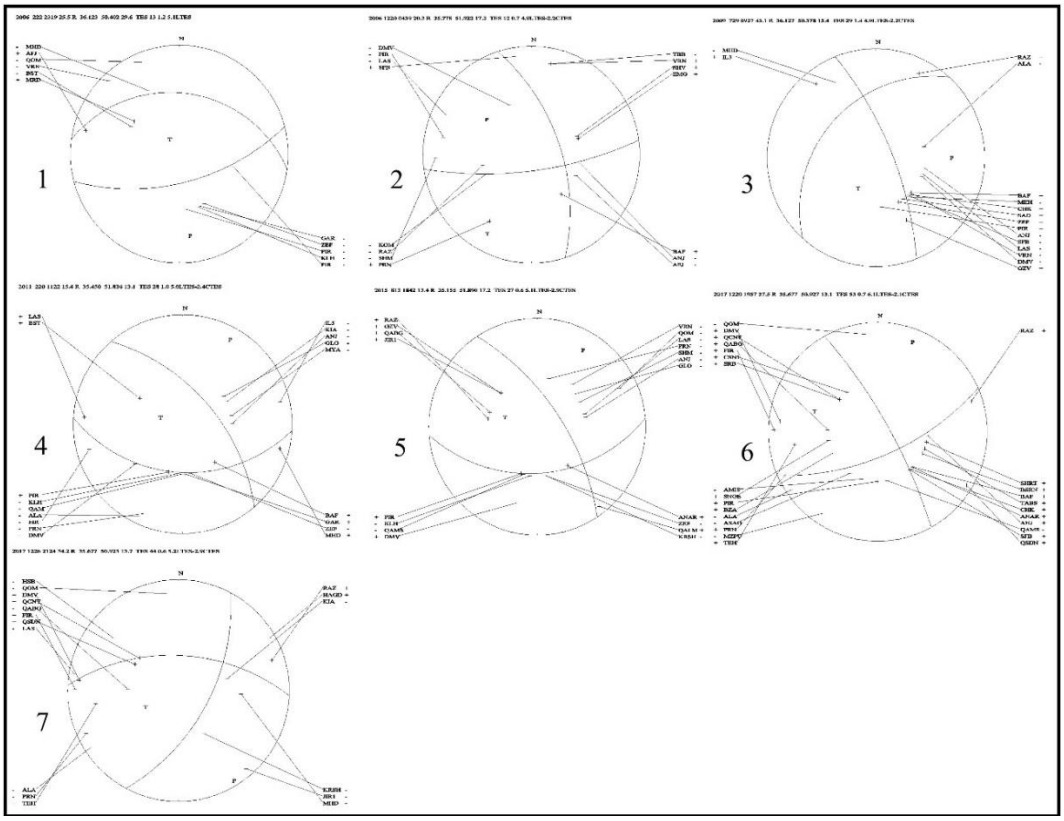
Stein, S., Wysession, M. (2003). An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure. Oxford: Blackwell Publishing.

Tchalenko, J.S. (1975). Seismicity and Structure of the Kopeh Dagh (Iran, USSR). Philosophicasl Transactions of the Royal Society. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 278 (1275), 1-28. https://doi.org/10.1098/rsta.1975.0019.

Zamani, B., Angelier, J., & Zamani, A. (2008). State of Stress Induced by Plate Convergence and Stress Partitioning in Northeastern Iran, as Indicated by Focal Mechanisms of Earthquakes. *Journal of Geodynamics*, 45(2-3), 120–132. https://doi.org/10.1016/j.jog.2007.07.003.

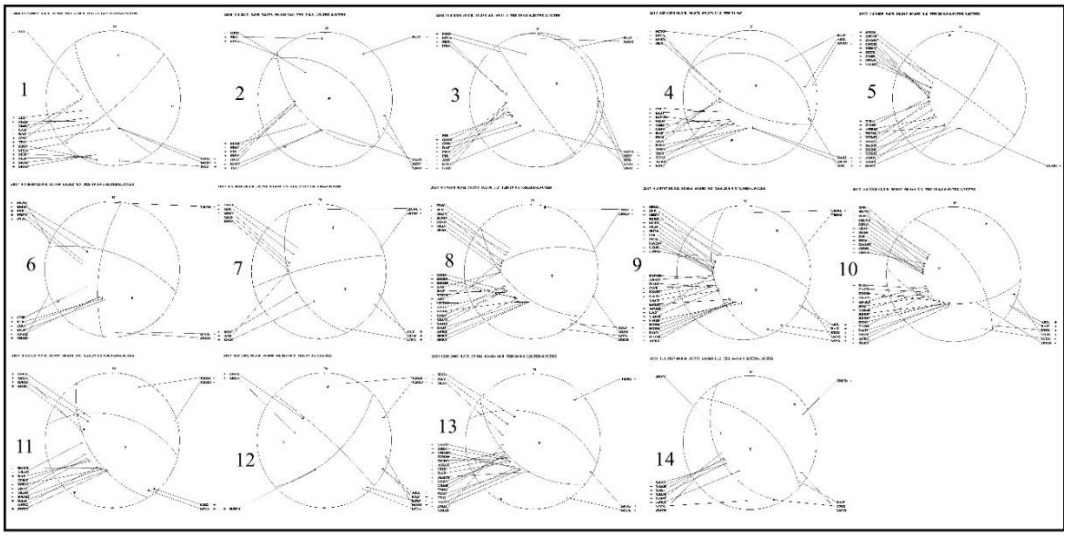
تشکر و قدردانی: از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بابت داده‌های برخط ایشان سپاس‌گزاری می‌شود.

پیوست ۱. سازوکارهای زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر تهران. تصویر پشتوانه پردازش سازوکار زمین‌لرزه‌ها توسط نرم‌افزار سایزن که تعداد، پراکنش آزیموتی و صفحه‌های گرهی را نشان می‌دهد.



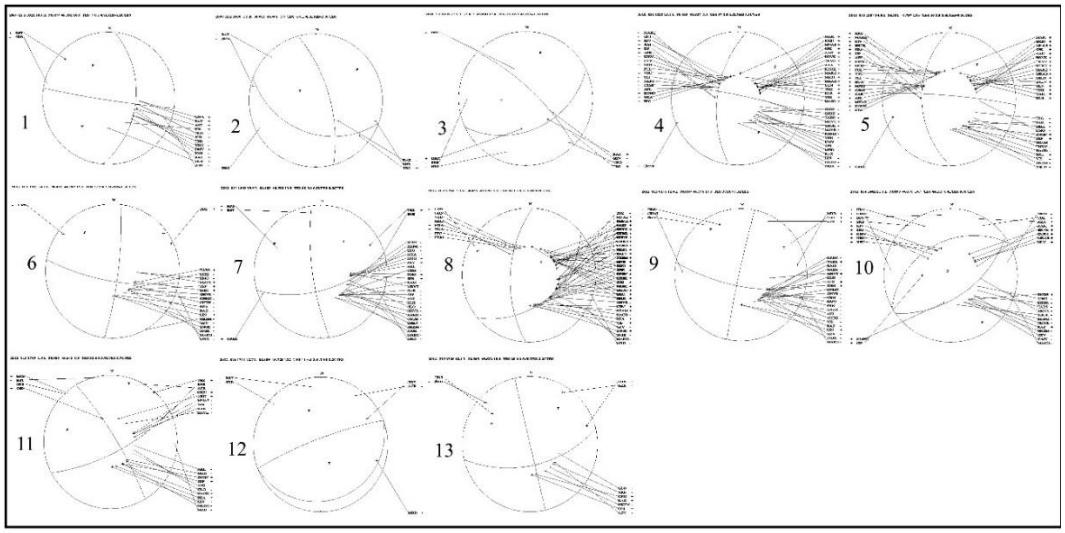
Appx.1. Mechanisms of earthquakes around the metropolis of Tehran. Background image supporting the processing of earthquake mechanisms by the Sazan software, showing the number, azimuthal distribution, and nodal planes.

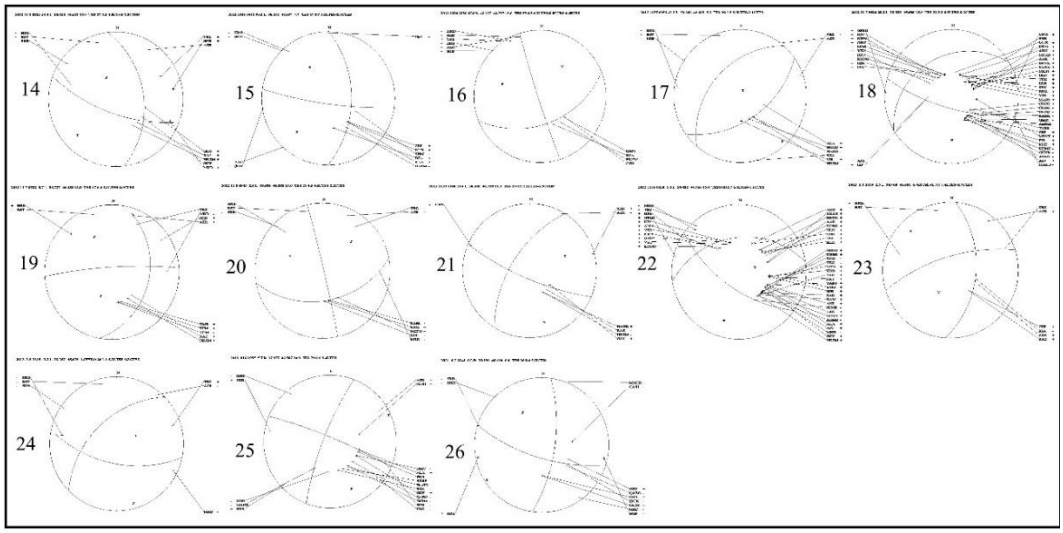
پیوست ۲. سازوکارهای زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر مشهد. تصویر پشتوانه پردازش سازوکار زمین‌لرزه‌ها توسط نرم‌افزار سایزن که تعداد، پراکنش آزیموتی و صفحه‌های گرهی را نشان می‌دهد.



Appx.2. Mechanisms of earthquakes around the metropolise of Mashhad. Background image supporting the processing of earthquake mechanisms by the Sazan software, showing the number, azimuthal distribution, and nodal planes.

پیوست ۳. سازوکارهای زمین‌لرزه‌های پیرامون کلان‌شهر تبریز. تصویر پشتوانه پردازش سازوکار زمین‌لرزه‌ها توسط نرم‌افزار سایزن که تعداد، پراکنش آزیموتی و صفحه‌های گرهی را نشان می‌دهد.





Appx.3. Mechanisms of earthquakes around the metropolise of Tabriz. Background image supporting the processing of earthquake mechanisms by the Sazan software, showing the number, azimuthal distribution, and nodal planes.

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp. 140-161 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.86908.1467 Open access

Evaluation of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main channel of Khoda Afarin city (East Azarbaijan Province)

Ali Khodaie*[a], Rahman Zandi[b]

[a] *Master of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.*
[b] *Associate Professor of GIS & RS, Isfahan University, Isfahan, Iran.*

Received: 17 February 2024 ***Revised: 13 April 2024*** ***Accepted: 25 April 2024***

Abstract

Development projects with their positive effects always have potential direct and indirect negative effects on the human and natural environment, and if the negative effects are not thought of in advance and are not strengthened in terms of positive effects, they will have adverse results and consequences. The purpose of the research is to evaluate the biological environment of the irrigation and drainage network of Khodaafrin dam in East Azarbaijan province and Ardabil in Khodaafrin and Parsabad cities. In order to investigate environmental parameters, three physical-pollution, ecological-biological and economic-social and cultural environments were used. Then, using the Icold matrix method, the effect of each of the micro-activities of the project on the environmental factors of the study area was measured in the exploitation phase, separately from the three mentioned environments. The findings showed that the implementation of the plan is preferable to its non-implementation in such a way that the total consequences of the implementation of the plan on the surrounding environment are positive 274 points. Among the consequences of the implementation of the socio-economic and cultural environment plan, it has the most positive effects of 186 points, physical environment and pollution with 46 positive points, and ecological and biological environment with 42 positive points. According to the findings, the implementation of the irrigation and drainage network plan of the main KhodaAfarin canal is justified by complying with the standards. In order to reduce the negative effects on the three environments, it is suggested to consider continuous and stable monitoring and compliance with the correct principles of irrigation during the operation of the project.

Keywords: Environmental impact assessment, Irrigation and drainage network,ICOLD matrix, Socio-economic consequences, Northwest Iran, Khoda Afarin dam

* . Corresponding author: Ali Khodaie Email: alikhodaie@yahoo.com Tel:+989196011167

How to cite this Article: Khodaie, A., & Zandi, R. (2024). Evaluation of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main channel of Khoda Afarin city (East Azarbaijan Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 140-161.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۶۱-۱۴۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2024.86908.1467 دسترسی آزاد

ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی شهرستان خداآفرین (استان آذربایجان شرقی و اردبیل)

علی خدائی[1]– کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکدهٔ جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

رحمان زندی – دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۱۱/۲۸ تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۱/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۲/۶

چکیده

طرح‌های توسعه با اثرات مثبت خود همواره دارای تأثیرات منفی مستقیم و غیرمستقیم بالقوه بر محیطزیست انسانی و طبیعی هستند و چنانچه از پیش برای اثرات منفی چاره‌اندیشی نشود و از لحاظ اثرات مثبت تقویت نشود، نتایج و عواقب نامطلوبی در پی خواهند داشت. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد خداآفرین در استان آذربایجان شرقی و اردبیل در شهرستان خداآفرین و پارس‌آباد است. به‌منظور بررسی پارامترهای محیطزیستی، از سه محیط فیزیکی- آلودگی، اکولوژیکی- بیولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی استفاده شد. سپس با استفاده از روش ماتریس آیکولد، اثر هریک از ریز فعالیت‌های طرح بر عوامل زیست‌محیطی منطقه مطالعاتی، در فاز بهره‌برداری به تفکیک سه محیط مذکور سنجیده شد. یافته‌ها نشان داد اجرای طرح بر عدم اجرای آن ارجحیت دارد؛ به این صورت که مجموع پیامدهای ناشی از اجرای طرح بر محیطزیست پیرامون مثبت ۲۷٤ امتیاز هست. در میان پیامدهای اجرای طرح محیط اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی دارای بیشترین آثار مثبت ۱۸٦ امتیاز، محیط فیزیکی و آلودگی با مثبت ٤٦ امتیاز و محیط اکولوژیکی و بیولوژیکی با مثبت ٤۲ امتیاز به خود اختصاص داده است. با توجه به یافته‌های به دست آمده، اجرای طرح شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین با رعایت استانداردها توجیه‌پذیر است. در راستای کاهش اثرات منفی وارد بر محیط‌های سه‌گانه پیشنهاد می‌گردد در زمان بهره‌برداری پروژه، نظارت مستمر و پایدار و رعایت اصول صحیح آبیاری در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی اثرات محیطزیستی، شبکه آبیاری و زهکشی، ماتریس آیکولد، پیامدهای اجتماعی–اقتصادی، شمال‌غرب ایران، سد خدا آفرین

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۹٦۰۱۱۱٦۷ Email:alikhodaie@yahoo.com

مقدمه

امروزه با توجه به چالش‌های محیط زیستی ملی و جهانی، توجه به محیطزیست و حفاظت از آن باید بیش‌ازپیش موردتوجه برنامه‌ریزان قرار گیرد (Ghanian, Taghipour, Abdshahi, & Forozani, 2023). بر همین اساس، پیش از اجرای بسیاری از پروژه‌های عمرانی و توسعه‌ای، باید پیامدها و اثرات این‌گونه طرح‌ها بر محیطزیست منطقه شناسایی و پیش‌بینی گردیده و اقدامات لازم به‌منظور کنترل و کاهش آن‌ها به کار بسته شوند که طرح‌های توسعه‌ای مربوط به سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیز از آن جمله می‌باشند (Komasi & Beiranvand, 2019). از سوی دیگر طراحی و اجرای این‌گونه پروژه‌ها بدون در نظر گرفتن آثار زیست‌محیطی مسائل و مشکلاتی را به وجود می‌آورد که پایداری این پروژه‌ها و محیطزیست پیرامون آن‌ها را با چالش‌های جدی روبرو می‌سازد (Dong, Lassoie, Shrestha, Yan, Sharma, & Pariya, 2009). عملکرد و کنش متقابل سیستم‌های طبیعی و ساخت بشر در یک اکوسیستم می‌تواند گاه به تهدیدی برای محیطزیست و افراد تبدیل شود. این تهدیدها که به‌عنوان مشکلات زیست‌محیطی شناخته می‌شوند، خواسته یا ناخواسته توسط عوامل انسانی تولید می‌شوند (Momayez, & Qassemi, 2019). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یک چهارچوب حقوقی است که بر طرح‌ریزی فیزیکی تمرکز دارد و دارای قابلیت شناخت، پیش‌بینی، کاهش و یا جبران اثرات مثبت و منفی طرح‌های مختلف می‌باشد (Karlson, Mörtberg, & Balfors, 2014). در دهه‌های اخیر، انجام ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در فرایند طرح‌ریزی پروژه‌ها، باعث ایجاد آگاهی قابل‌توجهی در منافع دخیل در توسعه پایدار و سازگار با محیطزیست در سرتاسر جهان شده است (Gilbuena, Kawamura, Medina, Amaguchi, Nakagawa, & Du Bui, 2013). به‌بیان‌دیگر ارزیابی اثرات محیط زیستی شامل شناسایی و ارزیابی سیستماتیک پیامدهای پروژه‌ها برنامه‌ها و طرح‌ها بر ابعاد گوناگون شامل ابعاد مختلف، فیزیکی شیمیایی بیولوژیکی اجتماعی و اقتصادی در مناطق تحت نفوذ مستقیم و غیرمستقیم پروژه در حین عملیات احداث و بهره‌برداری از طرح می‌باشد (Vanclay, 2017)؛ بنابراین باید نسبت به مسائل و اثرات زیست‌محیطی حساسیت بیشتری اعمال گردد تا ضمن جواب‌گویی به افزایش نیازهای جمعیت در حال رشد جهان، فعالیت‌های کشت آبی، اصلاح خاک و کنترل سیلاب منجر به توسعه پایدار گردد (Mondal & Dasgupta 2010). سد خداآفرین بر روی رودخانه ارس در مرز ایران و جمهوری آذربایجان در فاصله ۱۹۶ کیلومتری پایین‌دست سد ارس و سد مارازاد و در محدوده شهرستان خداآفرین استان آذربایجان شرقی در ۲۴۰ کیلومتری شمال شرقی شهر تبریز میان پل خداآفرین و روستای ساریجالو قرار دارد. این سد به‌طور مشترک توسط ایران و جمهوری آذربایجان ساخته‌شده است. این سد از نوع سنگ‌ریزه‌ای با هسته رستی می‌باشد که ارتفاع آن ۶۱ متر و طول تاج آن ۳۹۰ متر می‌باشد. حجم

مخزن آن نیز ۱/۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰ مترمکعب می‌باشد. هدف از احداث این سد مخزنی، ذخیره‌سازی آب و کنترل سیلاب‌های رودخانه ارس به‌منظور آبیاری ۸۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی پایین‌دست سد و نیز تولید برق‌آبی بوده است (Karimi, & Salehi, 2015). طرح انتقال آب و شبکه آبیاری و زهکشی اراضی پایاب سد خداآفرین یکی از طرح‌های بزرگ و مهم کشور به‌ویژه در زمینه کشاورزی و توسعه منابع محسوب می‌شود. وسعت اراضی شبکه تحت پوشش این طرح ۷۴۰۰۰ هکتار و سهمیه آب آن از محل رودخانه ارس و سد خداآفرین ۸۳۰ میلیون مترمکعب است. کانال اصلی خداآفرین با دبی عبوری ۷۰ مترمکعب بر ثانیه طراحی گردیده است. اراضی این طرح در دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل پراکنده بوده و بنا به تشخیص کارفرمایان طرح مطالعات مهندسی، مدیریت و برنامه‌ریزی مختلفی بر روی این طرح تعریف شده است. ازجمله در راستای توسعه کشاورزی می‌توان به افزایش تولید محصولات زراعی و باغی و همچنین توسعه دامداری صنعتی، صنایع جانبی کشاورزی و دامپروری و اثرات اقتصادی و اجتماعی این طرح اشاره نمود (Emami, Pour Mehr, & Kabiri Jahanabadi, 2009).

تحقیقات متعددی در خصوص ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌ها و پروژه‌ها مختلف پرداخته‌اند که به‌عنوان نمونه، (Mousavi, Sheikh Goudarzi, & Kaviani (2012، با استفاده از ماتریس لئوپولد و آیکولد به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سد مخزنی کور پرداختند نتایج نشان داد بیشترین پیامدهای منفی مربوط به محیط فیزیکی در مرحله ساختمانی و بیشترین پیامدهای مثبت در محیط اقتصادی- اجتماعی در مرحله بهره‌برداری مشاهده می‌شود.(Ataei, Yagoubi Farani, & Iazidi (2018 ، با استفاده از روش آیکولد به ارزیابی مؤلفه‌های ارزیابی زیست‌محیطی احداث شبکه آبیاری و زهکشی در راستای توسعه روستای دربند فیض‌آباد استان فارس پرداختند یافته‌ها نشان داد که پیامدهای واردشده طرح بر کل محیط‌زیست مثبت بوده است (۱۴۸ امتیاز).Sarbazi, Akbari(2019) ، به ارزیابی اثرات محیط زیستی احداث سد به روش آیکولد در خراسان رضوی سد گلبو پرداختند نتایج تحقیق نشان داد بیشترین آثار مثبت پروژه مربوط به اثرات اقتصادی - اجتماعی (۲۳ امتیاز) است. از سوی دیگر وجود بیشترین تعداد اثرات منفی بیولوژیکی (۸ امتیاز)، اثرات مخرب محیط زیستی این پروژه را تأیید می‌کند. ذرتی پور و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی شبکه آبیاری و زهکشی با استفاده از دو روش ماتریس آیکلد مرسوم و آیکلد اصلاح‌شده پرداختند نتایج پژوهش نشان داد هر دو ماتریس در ارزیابی اثرات برآورد خوب و منطقی از خود نشان داده و درنتیجه اجرای شبکه آبیاری و زهکشی کوثر مورد تأیید می‌باشد. Ghanian, et al. (2023)، به ارزیابی آثار زیست‌محیطی اجرای طرح احیای اراضی در شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر با استفاده از روش

آیکولد پرداختند نتایج پژوهش نشان داد پیامدهای اجرای طرح محیط اجتماعی – اقتصادی دارای بیشترین آثار مثبت (۱۷٦ امتیاز) است و محیط اکولوژیکی با ٤۹- بیشترین تأثیر منفی را بر محیط داشته است. Anokhin & Izrael (2001)، پژوهشی با عنوان پایش و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در منطقه دریاچه بایکال روسیه بر روی رود آنکارا پرداختند نتایج تحقیق نشان داد که سد ایرکوتسک بر روی رود آنکارا تأثیرات مهمی بر روی تغییرات آب‌وهوا و محیط‌زیست جهانی و همچنین آلودگی محیط‌زیست دارد. Richter, Postel, Revenga, Scudder, Lehner, Churchill, & Chow (2010) ، در پژوهشی مبنی بر وجود مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی در پروژه‌های توسعه‌ای سدها در برزیل به بررسی پیامدهای احداث سد بر زندگی افراد در پایین‌دست پرداختند نتیجه مطالعه نشان داد زندگی در پایین‌دست سدهای بزرگ در امتداد رودخانه آسیب‌دیده که انجام سه مرحله کلیدی در فرآیند توسعه سد به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند به کاهش اثرات مخرب در پایین‌دست سدها کمک کند. Richmond, Kotowicz, & Hospital, (2015) ، در مطالعه‌ای بر روی دو سد پریمورا و روزانا در پرو پرداختند که سدها می‌توانند آثار مثبتی بر زندگی مردم داشته باشند و همچنین آثار اجتماعی نیز به‌جا می‌گذارند. چون باارزش‌های مردم ارتباط دارند؛ بنابراین با شناسایی این عوامل می‌توان پیامدهای منفی احداث سد را کم کرده و در جهت هر چه بیشتر کردن آثار مثبت تلاش نمود. Thomas, Sony, Kuruvila, Lake, Thomas, Sony, Dinil, & Kuruvila (2017)، با استفاده از روش ماتریس لئوپولد اصلاح یافته (ماتریس ایرانی) به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح دریاچه کایوت وایاناد پرداختند نتایج نشان داد آثار منفی پروژه نسبت به آثار مثبت پروژه بیشتر بوده است.

با توجه به‌مرور پیشینهٔ نگاشته‌ها مشخص شد که هر طرحی در مراحل ساخت و بهره‌برداری دارای اثرات متفاوتی خواهد بود که نوع و میزان اثرات مختص خود طرح بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم الزام به ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه‌های آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین با وسعت بالغبر ۷٤۰۰۰ هکتار قبل از اجرا، تحقیقات جامع و مستندی درزمینه تعیین اثرات محیط زیستی آن‌ها در مرحله بهره‌برداری انجام‌نشده و اغلب این پروژه‌ها بعد از عملیات اجرا، در مرحله بهره‌برداری از پیامدهای سوء محیط زیستی قابل‌توجهی برخوردار بوده و موجبات آلودگی منابع آب‌وخاک و سایر موارد را به همراه دارند؛ بنابراین این تحقیق برای راست آزمایی اثرات پیش‌بینی شده در مرحله بهره‌برداری تدوین می‌شود. لذا، پژوهش موردنظر با هدف بررسی ارزیابی اثرات محیط زیستی پس از اجرای شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین در استان آذربایجان شرقی و اردبیل انجام‌شده است. با توجه به هدف سؤال‌های پژوهش به شرح ذیل می‌باشد.

۱- با توجه به مؤلفه‌های محیط زیستی آیا ادامه طرح دارای توجیه می‌باشد یا خیر؟

۲- احداث شبکه آبیاری و زهکشی خداآفرین در مرحله بهره‌برداری چه اثرات فیزیکی و آلودگی، اکولوژیکی و بیولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی به همراه خواهد داشت؟

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

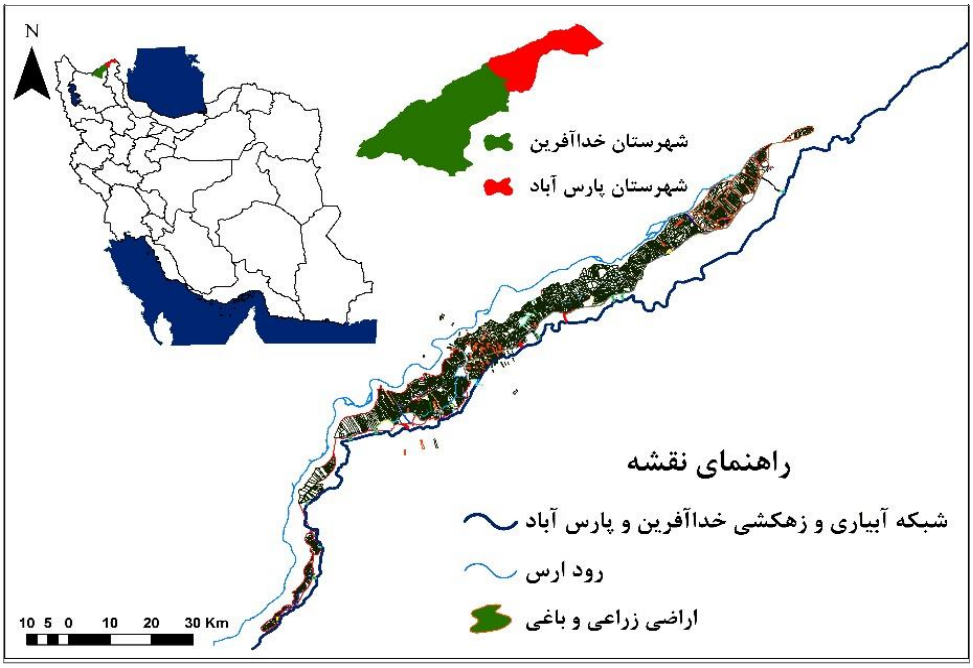
موقعیت جغرافیائی طرح شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین از پایاب سد خداآفرین در استان آذربایجان شرقی در تراس فوقانی دشت مغان و در غرب به حدود سد تنظیمی قیز قلعه سی و از شرق به مرز بین دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل در حوالی دره رود محدود می‌گردد و حد شمالی پروژه در مجاورت رودخانه ارس واقع‌شده است. کانال اصلی خداآفرین در استان اردبیل از شرق به رودخانه مرزی بالهارود و از غرب به مرز بین دو استان آذربایجان شرقی و اردبیل و از شمال به کانال موجود مغان و یا محدوده اراضی پمپاژ مغان و حد جنوبی طرح شبکه آبیاری و زهکشی در هر دو استان تا تراز حدود ٤٠٠ متر از سطح دریا گسترش دارد. (شکل ۱) (شکل ۲).

عملیات کانال اصلی خداآفرین در استان آذربایجان شرقی و اردبیل به طول ١٤٢ کیلومتر از سال ۱۳۸۳ تاکنون در حال اجرایی می‌باشد که ۵۲ کیلومتر آن در استان آذربایجان شرقی واقع‌شده است ظرفیت کانال در ابتدا ۷۲ مترمکعب در ثانیه و ادامه آن به طول ۹۰ کیلومتر در استان اردبیل واقع‌شده که در ورودی به استان اردبیل ٦٠ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

کانال اصلی خداآفرین در تراز حدود ٢٤٨ متر از دریاچه سد تنظیمی قیز قلعه سی به‌صورت ثقلی آبگیری نموده و در دامنه ارتفاعات و با شیب حداقل مجاز به‌موازات خطوط تراز طراحی‌شده است تراز آب در کانال اصلی در مرز بین دو استان حدود ۲۳۵ متر و در انتهای کانال ۲۰۹ متر از سطح دریا می‌باشد.

سامانه انتقال آب کانال اصلی خداآفرین دربرگیرنده کانال با مقطع ذوزنقه‌ای، مستطیلی، سرپوشیده، سیفون، رگلاتور، آبگیر، سرریزهای جانبی و پل می‌باشد. کانال ذوزنقه‌ای به ابعاد کف ۵/۷ متر و ارتفاع ۵ متر و کانال مستطیل به ابعاد ۸ متر و ارتفاع ٦ متر و هر سیفون شامل چند رشته لوله فولادی موازی به اقطار بین ۲/۵ و ۲/۸ و ۳ متر می‌باشد. Water Power Consulting Engineers (2014)

ازجمله اهداف این طرح در راستای توسعه کشاورزی می‌توان به افزایش تولید محصولات زراعی و باغی و همچنین توسعه دامداری صنعتی و صنایع جانبی کشاورزی و دامپروری و اثرات اقتصادی و اجتماعی در منطقه اشاره نمود.



شکل ۱- نقشه منطقه موردمطالعه (شبکه آبیاری و زهکشی شهرستان خداآفرین و پارس‌آباد)

Fig.1. Map of the studied area (irrigation and drainage network of Khodafarin and Parsabad cities)

شکل ۲- جزئیاتی از نقشه منطقه موردمطالعه (شبکه آبیاری و زهکشی شهرستان خداآفرین و پارس‌آباد)

Fig.2. Details of the map of the studied area (irrigation and drainage network of Khodaafrin and Parsabad township)

روش تحقیق

پژوهش حاضر یک ارزیابی پس از اجرا است و به‌صورت توصیفی- تحلیلی و روش گردآوری داده‌ها و اطلاعات ترکیبی از روش‌های اسنادی و مطالعه میدانی در محدوده اراضی شبکه آبیاری و زهکشی واقع در استان آذربایجان شرقی شهرستان خداآفرین و استان اردبیل شهرستان پارس‌آباد انجام‌شده است. مطالعه با بررسی منطقه اجرای طرح از طریق بازدیدها و همچنین مشاهده و مصاحبه با مطلعین کلیدی شروع گردید. پس از آن، با برگزاری جلساتی با مطلعین محلی نظرات آنان در خصوص ارزیابی اثرات محیط زیستی و اجرای شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین جمع‌آوری گردید. نمونه آماری مطالعه شامل کارشناسان ادارات جهاد کشاورزی و محیط‌زیست به همراه مجریان طرح بوده‌اند که مورد مصاحبه قرارگرفته‌اند و مصاحبه‌ها تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت. با توجه به اینکه روش گردآوری داده‌ها و اطلاعات از طریق بازدیدها، مشاهده، مصاحبه و به‌صورت پرسشنامه‌ای هست. برای افزایش صحت در فرایند امتیازدهی جهت بررسی عواقب احتمالی و اهمیت پروژه در محیط‌های سه‌گانه، جمع‌آوری و نظر گرفتن کلیه نظرات گروه‌ها و اقشار و نهادهای ذینفع و اعم از نمایندگان نهادها و وزارتخانه‌های دولتی مرتبط، نمایندگان جوامع محلی، طراحان پروژه، مقامات و ساکنین محلی و میان‌رشته‌ای دارای اهمیت زیادی می‌باشد. سپس با کمک یک نمونه آماری شامل یک کارشناس سازه‌های آبی، یک کارشناس منابع آب دو کارشناس محیط‌زیست سه کارشناس اجتماعی و دو کارشناس ترویج و آموزش کشاورزی مؤلفه‌های زیست‌محیطی مطرح‌شده از سوی مطلعین کلیدی مورد ارزیابی قرار گرفت؛ و درمجموع نمونه آماری نهایی مطالعه ۹ نفر شامل این تخصص‌ها و صاحبان تجربه بوده است و درنهایت از میانگین امتیازهای داده‌شده توسط کارشناسان و همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از بازدید میدانی، برای فرایند امتیازدهی نهایی استفاده گردید.

ابزار جمع‌آوری داده‌ها

روش جمع‌آوری داده‌ها استفاده از چک‌لیست‌ها و پرسش‌نامه مربوط به دستورالعمل کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD) بود به‌این‌ترتیب که اجزای فعالیت‌های مختلف طرح و نیز اجزای مختلف محیط‌زیست بر اساس دستورالعمل ارائه‌شده توسط کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت.

ماتریس آیکولد (ICOLD)

کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ این ماتریس بزرگ و جامع برای استفاده در ارزیابی اثرات محیط زیستی سدها را ارائه کرده است که با تغییرات و اصلاح در شاخص‌های آن در سایر مطالعات ارزیابی نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش می‌توان نتایج کیفی ارزیابی محیط زیستی پروژه را به‌صورت کمی بیان کرد. در این روش، اثر هر یک از فعالیت‌های مرتبط با طرح بر محیط‌زیست منطقه موردمطالعه، در بهره‌برداری پروژه به تفکیک محیط‌های فیزیکی و آلودگی، بیولوژیکی - اکولوژیکی و اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ارزیابی‌شده است. در این روش امتیاز بزرگی دامنه اثر بین ۵ تا ۵- است که ۵ نشان‌دهنده پیامدهای مثبت عالی و ۵- نشان‌دهنده پیامدهای منفی شدید است. در این روش، ستون‌های ماتریس محل قرار گرفتن زیر فعالیت‌های پروژه در دو فاز ساختمانی و بهره‌برداری و ردیف‌های آن محل قرار دادن عوامل محیط زیستی است (Karimi, Salehi Moayed, & Jafari, 2009). از محاسن این ماتریس بیان ویژگی‌های هر اثر بر محیط‌زیست می‌باشد به‌نحوی‌که علامت‌ها و اعداد مورداستفاده در آن وضعیت و خصوصیات اثر را تشریح می‌کنند (Mousavi, Sheikh Goudarzi, & Kaviani, 2012). در صورت وجود اثر در محل تلاقی اجزای فعالیت و پارامترهای محیط زیستی نوع ویژگی اثر با استفاده از جدول (۱) بیان می‌گردد.

جدول ۱- معیارهای اثرات زیست‌محیطی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین.
(Khodabakhshi & Jafari, 2011)

Table 1- The environmental impact criteria of the irrigation and drainage network of the main Khodaafrin canal.

معیار اثرات	نوع اثرات	علامت اختصاری
تداوم اثر	مقطعی (Temporary) دائمی (Permanent)	T P
زمان وقوع اثر	فوری (Immediate) درازمدت (Long term)	I L
قطعیت اثر	قطعی (Certain) احتمالی (Probable)	C M
ماهیت اثر	مثبت (Positive) منفی (Negative)	+ –
شدت اثر	1 تا 3	Low کم: Moderate - متوسط - High زیاد

به‌طورکلی هدف از ارائه ماتریس ICOLD در این پژوهش، نشان دادن ویژگی و خصوصیات کیفی اثر بر اجزای محیط‌زیست بوده که این مهم توسط نمادهای ذکرشده انجام‌گرفته است در این راستا، محیط‌زیست به سه محیط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی - فیزیکی و آلودگی - بیولوژیکی و اکولوژیکی تقسیم‌شده و ماتریس‌های اثرات به‌صورت جداگانه در هر محیط ارائه‌شده‌اند. بدین منظور ابتدا جمع جبری ارزش‌های موجود برای هر ستون محاسبه و سپس بر تعداد ارزش‌های موجود تقسیم و میانگین رده‌بندی برای هر یک از فعالیت‌ها محاسبه شد برای محاسبه میانگین رده‌بندی هر یک از محیط‌های سه‌گانه نیز جمع جبری ارزش‌های موجود برای همه ستون‌ها بر تعداد آثار تقسیم شد. درنهایت میانگین رده‌بندی کلی برای هر یک از مراحل ساخت و بهره‌برداری نیز از جمع جبری میانگین رده‌بندی تمام محیط‌ها تقسیم‌بر تعداد محیط‌ها به دست آمد.

نتایج و بحث

پس از تهیه ماتریس ارزیابی اثرات زیست‌محیطی برای پروژه طرح انتقال آب و شبکه آبیاری و زهکشی اراضی پایاب سد خداآفرین تهیه گردید. عوامل زیست‌محیطی هر یک از محیط‌های فیزیکی و آلودگی، بیولوژیکی و اکولوژیکی، اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی و فعالیت‌های پروژه در مرحله بهره‌برداری در ماتریس نمایش داده‌شده است. برای جمع‌بندی و تجزیه‌وتحلیل اثرات زیست‌محیطی از ماتریس آبکولد استفاده گردید.

در مرحله بهره‌برداری، به ترتیب سه فعالیت کنترل سیلاب، تأمین آب و توزیع و مصرف آب بیشترین تأثیر مثبت و دو اقدام مصرف کودها و سموم، توسعه و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه) بیشترین اثر منفی را بر محیط فیزیکی دارند (جدول ۲) در مرحله بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی، به‌غیراز اقدام مصرف سموم و کودها سایر اقدامات پیامد مثبتی بر محیط اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی دارند. به‌طوری‌که به ترتیب فعالیت‌های تأمین آب، توسعه فعالیت‌های تفریحی، کنترل سیلاب و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه) بیشترین تأثیر مثبت را به همراه خواهند داشت (جدول ۳). این در حالی است که فعالیت‌های تأمین آب، توزیع و مصرف آب و کنترل سیلاب به ترتیب بر محیط بیولوژیکی و اکولوژیکی بیشترین تأثیر مثبت را به بار می‌آورند و به ترتیب مصرف سموم و کود، توسعه فعالیت‌های تفریحی و توسعه و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه) نیز بر این محیط پیامد منفی خواهد داشت (جدول ٤).

جدول ۲- ماتریس شناسایی اثرات فیزیکی و آلودگی بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 2- Matrix for identifying the physical effects and pollution of using the irrigation and drainage network of Khodaafrin canal

فعالیت / پارامترهای محیطی	تأمین آب	توسعه فعالیت‌های تفریحی	نگهداری فضای سبز	مصرف سموم و کود	توسعه کشاورزی و دامداری	توزیع و مصرف آب	توسعه و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه)	کنترل سیلاب
کیفیت آب‌های سطحی	+۳PM			-۲PL	-۱PM		-۳PL	+۳PM
کیفیت آب‌های زیرزمینی	+۴PM			-۲PL			-۲TI	+۱PM
مصارف آب سطحی	+۴TM	-۱PM	-۲PM	-۱TM	-۲PM	+۴TM	-۳PL	+۲PI
مصارف آب زیرزمینی	+۴TI				-۲PM	+۴TM	-۲PL	+۲TM
کیفت هوا	+۱PL		+۴PM	-۱TI	-۲T I	+۲PM	-۱TI	
صدا محیط		-۱PL					-۱PL	
بار معلق و رسوب‌گذاری	-۲PL			-۲PL		-۱TI		+۳PL
رژیم سیلابی	+۳PM					+۴PM		+۴PL
رژیم کم‌آبی	+۴PL					+۲PL		+۲TM
سطح ایستابی	+۲TM					-۱TM		+۴TL
زهکشی	+۳PL			-۲TM		+۳PL		+۲TM
فرسایش خاک		-۲PL	+۴PM		+۲PM	+۳PL	-۲PL	+۴PL
مجموع	+۲۶	-۴	+۶	-۱۰	-۵	+۲۰	-۱۴	+۲۷

جدول ۳- ماتریس شناسایی اثرات اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی خداآفرین

Table 3- The matrix for identifying the socio-economic and cultural effects of using the Khodaafrin irrigation and drainage network

فعالیت / پارامترهای محیطی	تأمین آب	توسعه فعالیت‌های تفریحی	نگهداری فضای سبز	مصرف سموم و کود	توسعه کشاورزی و دامداری	توزیع و مصرف آب	توسعه و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه)	کنترل سیلاب
ارزش زمین	+۴PL	+۱PM			+۲PM	+۲PI	+۳PL	+۲PM
کشاورزی و دام‌پروری	+۵PI		+۳PI	-۱PL	+۴PL	+۴PM		+۵PI
افزایش درآمد	+۴PL	+۳TM	+۱TM		+۳PL		+۲PL	+۲TI
جمعیت	+۴TL	+۱PL	+۱PL		+۱PL	+۲TL	+۴PL	+۲TL
اشتغال	+۳TM	+۳TM	+۲TL		+۲PL		+۲PL	+۱TM
صنعتی و تجاری شدن	+۵PL							
توریسم	+۴PL	+۵PM	+۴PI				+۱PM	+۱PL
امکانات رفاهی	+۴TL	+۳TL	+۲TL		+۳PI	+۲TI	+۲PL	+۲TM
شاخص‌های بهداشتی و بیماری	+۳PM			-۲PL				+۳PM
پذیرش اجتماعی و مشارکت مردمی	+۴TI	+۳TM	+۱TL		+۱PM	+۱TI	+۴PL	+۲TI
سواد و تخصص		+۱PL			+۱PL		+۲PL	+۱TI
ساختار فیزیکی آبادی‌ها	+۳PL	+۲PL	+۱TM				+۲PL	+۲PI
چشم‌اندازها و مناظر	+۵PL	+۴PI	+۴PI		-۱PL	+۱TM	-۱PM	+۱PM
مهاجرت	+۴PM	+۳PM	+۲PM		+۴PL	+۲PM	+۵PL	+۳PM
مجموع	+۵۲	+۲۹	+۲۱	-۳	+۲۰	+۱۴	+۲۵	+۲۷

جدول ٤- ماتریس شناسایی اثرات بیولوژیکی - اکولوژیکی بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 4- Matrix for identifying the biological-ecological effects of using the irrigation and drainage network of the Khodaafrin canal

فعالیت / پارامترهای محیطی	تأمین آب	توسعه فعالیت‌های تفریحی	نگهداری فضای سبز	مصرف سموم و کود	توسعه کشاورزی و دامداری	توزیع و مصرف آب	توسعه و افزایش روستاها (افزایش مهاجرت به منطقه)	کنترل سیلاب
زیستگاه گیاهان	+۳PL	-۱PL	+۲PI	-۱PM		+۲TM	-۲PL	+۳PL
زیستگاه جانوران	+۳PL	-۱PL	+۲PM	-۲PL		+۳PL	-۲TI	+۳PL
گونه‌های نادر گیاهی	+۲PL		+۲TL		-۱PL	+۲PL	-۲PL	+۱PL
گونه‌های نادر جانوری	+۲PL		+۲PL	-۲TI	-۱PL		-۲PL	+۱PL
مهاجرت جانوران	+۳PM	-۱PL	+۱TM	-۱PI	-۱PL	+۲PL	-۱PL	+۱TM
جمعیت جانوران	+۳TM	-۱PL	+۱TM	-۲PL	-۱PL	+۲PL	-۱PL	+۱TM
اکوسیستم آبی	+۴PL	-۱TL	+۱TL	-۲PL				+۳PM
اکوسیستم خشکی	+۴PL	-۲PL	+۱TL	-۲PL		+۲TM		+۲PM
ناقلین بیماری								+۲TI
تنوع گونه‌ای	+۲PI			-۱PL		+۳PL		
زنجیره غذایی	+۴PL			-۱PL		+۳PI		
مجموع	+۳۰	-۷	+۱۲	-۱۳	-۴	+۱۹	-۱۰	+۱۷

جمع‌بندی آثار مثبت و منفی در مرحله بهره‌برداری در محیط فیزیکی و آلودگی نشان داد که مجموع ارزش پیامدهای مقطعی منفی (۱۱-) کمتر از مجموع ارزش پیامدهای مثبت مقطعی (۲۸) بوده است؛ و همچنین پیامدهای دائمی مثبت (٥٦) بیشتر از مجموع ارزش پیامدهای منفی دائمی (۳٦-) بوده است. به‌طورکلی تعداد کل آثار منفی طرح شامل اثرات مقطعی و دائمی (۲٤-) کمتر از تعداد کل آثار مثبت دائم و مقطعی (۲۹) بوده است. با مقایسه مجموع پیامدهای مثبت و منفی در محیط فیزیکی و آلودگی مشخص شد که احداث و بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین پیامدهای منفی تحمیل‌شده بر محیط فیزیکی (٤۱-)، کمتر از آثار مثبت (۸۷) است (جدول ٥).

جدول ۵- جمع‌بندی اثرات فیزیکی - آلودگی از شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 5- Summary of physical effects - pollution from irrigation and drainage network of Khodaafrin canal

پارامترهای محیطی / اثرات	کیفیت آب‌های سطحی	کیفیت آب‌های زیرزمینی	مصارف آب سطحی	مصارف آب‌های زیرزمینی	کیفیت هوا	صدا محیط	بار معلق و رسوب‌گذاری	رژیم سیلابی	رژیم کم‌آبی	سطح ایستابی	زهکشی	فرسایش خاک	مجموع
تعداد اثرات مثبت P	۲	۲	۱	۰	۳	۰	۰	۳	۲	۰	۲	۴	۱۹
تعداد اثرات منفی P	۳	۲	۴	۲	۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۲	۱۸
مجموع ارزش‌ها مثبتP	۶	۵	۲	۰	۷	۰	۰	۱۱	۶	۰	۶	۱۳	۵۶
مجموع ارزش‌ها منفیP	۶	۵	۸	۴	۰	۲	۷	۰	۰	۰	۰	۴	۳۶
تعداد اثرات مثبت T	۰	۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۰	۹
تعداد اثرات منفی T	۰	۱	۱	۰	۳	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۸
مجموع ارزش‌های مثبتT	۰	۰	۸	۱۰	۰	۰	۰	۰	۲	۶	۲	۰	۲۸
مجموع ارزش‌های منفی T	۰	۲	۱	۰	۴	۰	۱	۰	۰	۱	۲	۰	۱۱
تعداد کل اثرات مثبت	۲	۲	۳	۳	۳	۰	۱	۳	۳	۲	۳	۴	۲۹
تعداد کل اثرات منفی	۳	۲	۵	۲	۳	۲	۳	۰	۰	۱	۱	۲	۲۴
مجموع ارزش‌های مثبت	۶	۵	۱۰	۱۰	۷	۰	۳	۱۱	۸	۶	۸	۱۳	۸۷
مجموع ارزش‌های منفی	۶	۴	۹	۴	۴	۲	۵	۰	۰	۱	۲	۴	۴۱

جمع‌بندی اثرات در اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی نیز نشان داد که پیامدهای دائمی مثبت (۱۴۰) از پیامدهای دائمی منفی (۵-) بیشتر بوده است. همچنین مجموع آثار مقطعی مثبت (۵۰) از مجموع آثار مقطعی

منفی (٤-) بیشتر بوده است به‌طورکلی با مقایسه مجموع پیامدهای مثبت و منفی در محیط اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی مشخص شد که پیامدهای منفی (٥-) حاصل از اجرای طرح شبکه آبیاری و زهکشی بسیار کمتر از پیامدهای مثبت (۱۹۱) بوده است (جدول ٦).

جدول ٦- جمع‌بندی اثرات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی از شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 6- Summary of the social, economic and cultural effects of the irrigation and drainage network of the Khodaafrin canal

پارامترهای محیطی / اثرات	ارزش زمین	کشاورزی و دامپروری	افزایش درآمد	جمعیت	اشتغال	صنعتی و تجاری شدن	توریسم	امکانات رفاهی	شاخص‌های بهداشتی و بیماری	پذیرش اجتماعی و مشارکت مردمی	سواد و تخصص	ساختار فیزیکی آبادی‌ها	چشم‌اندازها و مناظر	مهاجرت	مجموع
تعداد اثرات مثبت P	۶	۵	۳	۴	۲	۱	۵	۲	۲	۲	۳	۴	۴	۷	۵۰
تعداد اثرات منفی P	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۴
مجموع ارزش‌های مثبت P	۱۴	۲۱	۸	۷	۴	۵	۱۵	۵	۶	۵	۴	۹	۱۴	۲۳	۱۴۰
مجموع ارزش‌های منفی P	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۲	۰	۵
تعداد اثرات مثبت T	۰	۰	۳	۳	۴	۰	۰	۵	۰	۵	۱	۱	۱	۰	۲۳
تعداد اثرات منفی T	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع ارزش‌های مثبت T	۰	۰	۶	۸	۹	۰	۰	۱۳	۰	۱۱	۱	۱	۱	۰	۵۰
مجموع ارزش‌های منفی T	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴
تعداد کل اثرات مثبت	۶	۵	۶	۷	۶	۱	۵	۷	۲	۷	۴	۵	۵	۷	۷۳
تعداد کل اثرات منفی	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۴
مجموع ارزش‌های مثبت	۱۴	۲۱	۱۵	۱۵	۱۳	۵	۱۵	۱۸	۶	۱۶	۵	۱۰	۱۵	۲۳	۱۹۱
مجموع ارزش‌های منفی	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۲	۰	۵

یافته‌های حاصل از جمع‌بندی اثرات بیولوژیکی و اکولوژیکی نشان داد که پیامدهای دائمی مثبت (٦۱) از پیامدهای دائمی منفی (۳۰-) بیشتر است و همچنین آثار مقطعی مثبت طرح (۱۳) بیشتر از آثار مقطعی منفی (۳-) بوده است. به‌طورکلی با مقایسه‌ی مجموع ارزش‌های مثبت و منفی در محیط بیولوژیکی و اکولوژیکی

نشان داد که مجموع ارزش‌های پیامدهای مثبت حاصل از اجرای طرح شبکه آبیاری و زهکشی (۷۷) از مجموع ارزش‌های منفی (۳۵) بیشتر بوده است (جدول ۷).

جدول ۷- جمع‌بندی اثرات بیولوژیکی - اکولوژیکی از شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 7- Summary of the biological-ecological effects of the irrigation and drainage network of Khodaafrin canal

پارامترهای محیطی / اثرات	زیستگاه گیاهان	زیستگاه جانوران	گونه‌های نادر گیاهی	گونه‌های نادر جانوری	مهاجرت جانوران	جمعیت جانوران	اکوسیستم آبی	اکوسیستم خشکی	ناقلین بیماری	تنوع گونه‌ای	زنجیره غذایی	مجموع
تعداد اثرات مثبت P	۳	۴	۳	۳	۲	۱	۲	۲	۰	۲	۲	۲۴
تعداد اثرات منفی P	۳	۲	۲	۲	۴	۴	۱	۲	۰	۱	۱	۲۲
مجموع ارزش‌های مثبت P	۸	۱۱	۵	۵	۵	۲	۷	۶	۰	۵	۷	۶۱
مجموع ارزش‌های منفی P	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۲	۴	۰	۱	۱	۳۰
تعداد اثرات مثبت T	۱	۰	۱	۰	۲	۲	۱	۲	۱	۰	۰	۱۰
تعداد اثرات منفی T	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰.	۰	۲
مجموع ارزش‌های مثبت T	۲	۰	۲	۰	۲	۲	۱	۳	۱	۰	۰	۱۳
مجموع ارزش‌های منفی T	۰	۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
تعداد کل اثرات مثبت	۴	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۱	۲	۱	۳۴
تعداد کل اثرات منفی	۳	۳	۲	۳	۴	۴	۲	۲	۰	۱	۲	۲۶
مجموع ارزش‌های مثبت	۱۰	۱۱	۷	۵	۷	۷	۸	۹	۱	۵	۷	۷۷
مجموع ارزش‌های منفی	۴	۵	۳	۵	۴	۵	۳	۴	۰	۱	۱	۳۵

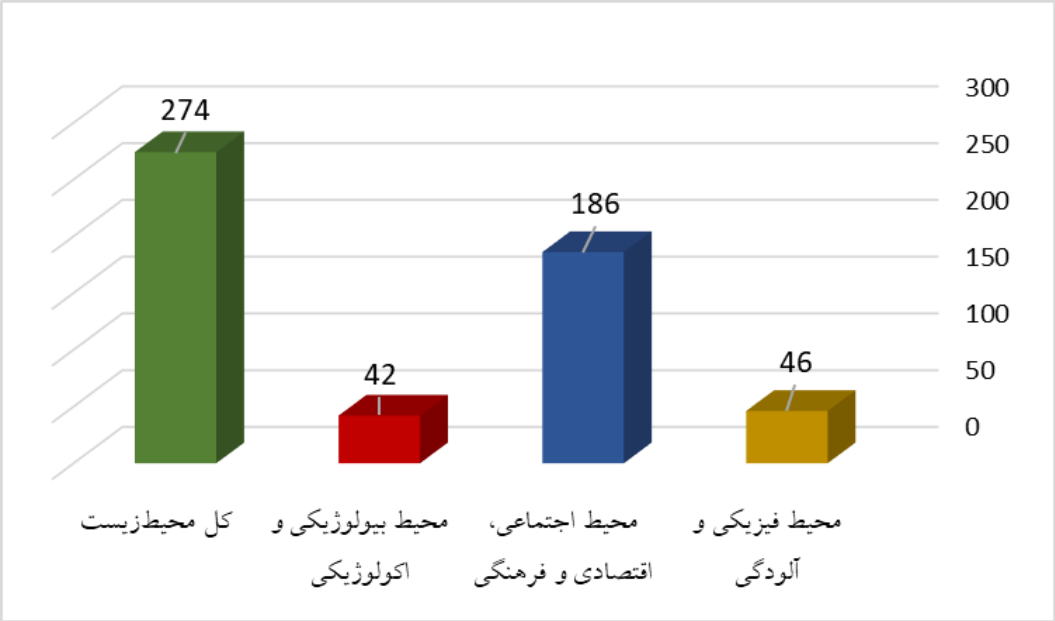
مجموع امتیازات مثبت در محیط فیزیکی و آلودگی نسبت به بیولوژیکی و اکولوژیکی بیشتر می‌باشد. همچنین مجموع امتیازات مثبت اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی، نسبت به هر دو محیط دیگر در مرحله بهره‌برداری بیشتر می‌باشد. درواقع با اجرای هر طرح محیط‌زیستی یا پروژه عمرانی، امکان ایجاد شغل و رفاه اقتصادی و تعاملات اجتماعی و فرهنگی صورت گرفته که باعث به‌کارگیری و رونق گرفتن فعالیت‌ها، توسعه و پرورش نیروهای کار به‌ویژه افزایش چشمگیر مشارکت مردمی شده و به‌واسطه آن موجب تمرکز سیر جمعیت در منطقه و کاهش مهاجرت می‌گردد، لذا بر اساس نتایج دریافتی، محیط اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی بیشترین امتیازات مثبت و کمترین امتیازات را محیط بیولوژیکی - اکولوژیکی در این روش به خود اختصاص داد (جدول ۸) و این یافته‌ها با مطالعات Sarbazi & Akbari (2019) و Ghanian, et al. (2023) همخوانی دارد و با استفاده از روش آیکولد برای ارزیابی اثرات محیط زیستی شبکه آبیاری و زهکشی نشان دادند که بیشترین پیامدهای مثبت در مرحله بهره‌برداری مربوط به محیط اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. درحالی‌که با یافته‌های Thomas, Sony, Kuruvila, Lake, Thomas, Sony, Dinil, & Kuruvila. (2017). مطابقت ندارد و آن‌ها نشان دادند که آثار منفی پروژه نسبت به آثار مثبت پروژه بیشتر بوده است. لذا می‌بایست در کاهش کلیه امتیازات منفی و اثرات مخرب مربوط به هر محیط مبادرت ورزید که مستلزم توجه ویژه‌ای به پارامترهای محیط‌زیستی جهت اصلاح و یا ایجاد تغییر و ارائه راهکارهایی کارآمد می‌باشد.

جدول ۸- وضعیت کلی اثرات زیست‌محیطی شبکه آبیاری و زهکشی کانال خداآفرین

Table 8- The general status of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the Khodaafrin canal

محیط / اثرات	محیط فیزیکی - آلودگی	محیط اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی	محیط بیولوژیکی - اکولوژیکی	کل محیط‌زیست
تعداد کل آثار مثبت	۲۹	۷۳	۳٤	۱۳٦
تعداد کل آثار منفی	۲٤	٤	۲٦	٥٤
مجموع ارزش‌های مثبت	۸۷	۱۹۱	۷۷	۳٥٥
مجموع ارزش‌های منفی	٤۱	٥	۳٥	۸۱
جمع جبری ارزش‌ها	٤٦	۱۸٦	٤۲	۲۷٤

به‌منظور ارائه نمای کلی و مقایسه دقیق‌تر جمع تعداد اثرات اجرای طرح شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین در محیط‌های سه‌گانه وضعیت کلی اثرات زیست‌محیطی در شکل (۳) ارائه‌شده است.



شکل ۳- وضعیت کلی اثرات زیست‌محیطی شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین

Fig.3. The general status of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main canal of Khodaafrin

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر باهدف استفاده از روش ماتریس آیکولد برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در مرحله بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد خداآفرین انجام شد. بهره‌برداری از هر پروژه‌ای دارای اثرات مثبت و منفی متعددی است. برخی از اثرات اجتناب‌ناپذیر است و آنچه اهمیت دارد این است که پروژه دارای حداقل آثار منفی شدید باشد و از خسارات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست جلوگیری شود. ایجاد و توسعه شبکه آبیاری و زهکشی با سرمایه‌گذاری معقول و با حداقل آلودگی می‌تواند به‌عنوان یکی از برنامه‌های توسعه پایدار و اشتغال‌زایی منطقه و کشور در نظر گرفته شود. نتایج کمی حاصل از ارزیابی نتایج نهایی طرح منطقه نشان می‌دهد که اجرای پروژه با اعمال مدیریت زیست‌محیطی موجب رونق اقتصادی، اجتماعی و توسعه روزافزون شهرستان خداآفرین و پارس‌آباد را به همراه دارد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به‌عنوان راهکار جهت به حداقل رساندن اثرات منفی و ارائه گزینه‌های مناسب برای مدیران و برنامه‌ریزان

محسوب گردد. یافته‌های نشان داد تعداد کل اثرات مثبت پس از اجرای طرح در محیط‌های، فیزیکی و آلودگی، اکولوژیکی و بیولوژیکی و اقتصادی – اجتماعی و فرهنگی ۲۷٤ امتیاز است که از این میان محیط اجتماعی – اقتصادی و فرهنگی با ۱۸٦ امتیاز بیشترین سهم مثبت را داشته و پس از آن محیط فیزیکی و آلودگی با ٤٦ امتیاز و محیط بیولوژیکی و اکولوژیکی با مثبت ٤۲ امتیاز قرار دارند. در این خصوص نیز دیدگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که با اولویت دادن به محیط اقتصادی – اجتماعی، اجرای طرح بیشترین اثرات مثبت را بر محیط اجرای پروژه به دنبال خواهد داشت. درواقع، با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز غذایی، مشکل روزافزون بیکاری و مهاجرت روستائیان به شهرها، اجرای طرح نتایج مثبت بسیاری در وضعیت اشتغال، سطح درآمد، جمعیت و روند مهاجرت، دامپروری و کشاورزی، سواد و آموزش و نظایر آن را به دنبال دارد. از سویی با توجه به اینکه محل اجرای شبکه آبیاری و زهکشی کانال اصلی خداآفرین پیش از اجرای طرح نیز جهت فعالیت کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت، لذا اجرای طرح در بلندمدت علاوه بر آن‌که موجبات تخریب جدی محیط را به همراه ندارد، باعث خواهد شد تا فعالیت‌های کشاورزی به شکلی کاملاً اصولی همراه با تولید بیشتر، تحقق یابد. همچنین جمع جبری آثار اجرای پروژه در هر سه مؤلفه موردبررسی نشان داد که پیامدهای واردشده بر کل محیط‌زیست مثبت بوده است. لذا اجرای طرح شبکه آبیاری و زهکشی در منطقه موردمطالعه با رعایت موازین و استانداردها بلامانع خواهد بود. از مجموع این مباحث می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در مرحله بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد خداآفرین دارای بیشترین اثرات سوء بر محیط‌های (بیولوژیکی – اکولوژیکی) و (فیزیکی – آلودگی) است؛ لذا باید در تدوین روش‌های تقلیل اثرات سوء این محیط بیشتر مدنظر قرار گیرد.

در راستای کاهش اثرات منفی وارد بر محیط‌های سه‌گانه ارائه پیشنهادها و اقدام‌های اصلاحی لازم و ضروری می‌باشد. درنتیجه برای کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی طرح موردنظر اقدام‌های زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱–با هماهنگی سازمان منابع طبیعی و محیط‌زیست مناطقی که دستخوش تخریب‌شده‌اند می‌توان با انجام اقدام‌هایی نظیر به حال اول برگرداندن محیط متأثر شده از طریق اصلاح کردن و بذرپاشی در مراتع تخریب‌شده به بازسازی محیط پرداخت. ۲–با بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی احتمال استفاده بیشتر سموم و کودها توسط کشاورزان وجود دارد که این امر اثرات منفی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و اکوسیستم آبی خواهد داشت. درنتیجه، با هماهنگی سازمان جهاد کشاورزی می‌توان کشاورزان را برای کاهش استفاده از سموم و کودهای شیمیایی و ترغیب آن‌ها جهت استفاده از بقایای گیاهی و فضولات جانوری و مبارزه بیولوژیک با آفات به‌جای استفاده بیش‌ازاندازه از سموم، آموزش داد. ۳–با مسدود نمودن آن دسته از جاده‌های دسترسی کـه پـس از پایان فعالیت‌های ساختمانی مورداستفاده مجدد قرار نخواهد گرفت، از

تخریب خاک در اثر عبور و مرورهای متفرقه در این مسیرها جلوگیری شود. ٤-استفاده از راه‌های دسترسی موجود به‌جای ایجاد راه‌های دسترسی جدید. ٥-نظارت مستمر و پایدار بر پروژه در زمان بهره‌برداری. ٦-پاک‌سازی بهداشتی محیط و جمع‌آوری زباله‌های تولیدی و دفع بهداشتی آن‌ها. ۷-در بحث اجتماعی نیز با ایجاد جلسات توجیهی و برگزاری کارگاه‌های آموزشی می‌توان به جلب رضایت مردم و مشارکت آن‌ها در این طرح پرداخت. همچنین به علت تأمین آب کشاورزی در مرحله بهره‌برداری می‌توان حمایت بهره‌برداران را جلب کرد. ۸-تأمین نیروی انسانی لازم از روستاهای محدوده طرح با هدف افزایش مشارکت اهالی منطقه در اجرای طرح‌هایی مشابه. ۹-رعایت اصول صحیح آبیاری در اراضی کشاورزی و جلوگیری از فرسایش و آب شستگی.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

Anokhin Y. A, & Izrael Y. A. (2001). Monitoring and Assessment of the Environment in the Lake Baikal Region. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 3(2), 199-201. https://doi.org/10.1016/S1463-4988(00)00020-8

Ataei, P., Yagoubi Farani, A., & Iazidi, A. (2018). Evaluation of the Environmental Components of the Construction of Irrigation and Drainage Network in the Direction of Rural Development (Case Study: Irrigation and Drainage Network of Band Fayzabad Fars Province). *Journal of Natural Environment*, 70(1), 113-137. https://doi.org/10.22059/jne.2017.127878.953

Dong, S., Lassoie, J., Shrestha, K.K, Yan, Z., Sharma, E., & Pariya, D. (2009). Institutional Development for Sustainable Rangeland Resource and Ecosystem Management in Mountainous Areas of Northern Nepal. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 994-1003. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.03.005

Emami, K., Pour Mehr, B., & Kabiri Jahanabadi, A. (2009). Solving the Geotechnical Problems of the Main Khodaafrin Water Transfer Channel Using Value Engineering, the Second National Seminar on Geotechnical Problems of Irrigation and Drainage Networks, Karaj. (In Persian)

Ghanian, M., Taghipour, M., Abdshahi, A., & Forozani, M. (2023). Evaluation of the Environmental Effects of Implementing the Land Reclamation Plan in Khuzestan Province; The Studied Irrigation and Drainage Network of Mianab Shushtar, *Scientific Journal of Geography and Planning*, 27(84), 95-109. https://doi.org/10.22034/gp.2023.14887

Gilbuena, J.R, Kawamura, A., Medina, R., Amaguchi, H., Nakagawa, N., & Du Bui, D. (2013). Environmental Impact Assessment of Structural Flood Mitigation Measures by a Rapid

Impact Assessment matrix (RIAM) Technique: A Case Study in Metro Manila, Philippines. *Science of the Total Environment*, 456, 137-147. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.063

Karimi, S., Salehi Moayed, M., & Jafari, H. (2009). A New Method of Utilizing Water Resources in Dry Land Watersheds(Case Study: Marvast Dam-Iran). *Journal of Environmental Studies*, 34(47), 87-98. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.10258620.1387.34.47.11.8

Karimi, S., & Salehi, S. (2015). Investigating the Development of Khodafarin Dam, the Advantages and hSolutions of the Sustainable Development of Khodafarin Dam in Mughan Region, A Case Study: Khodafarin Dam from East Azarbaijan Province to Parsabad of Mughan, the First Conference of Arts and Crafts in Civil Construction, Architecture and Urban Planning, Tabriz, (In Persian) https://civilica .com/doc/607176.

Karlson, M., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2014). Road Ecology in Environmental Impact Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 10-19. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.04.002

Khodabakhshi, B., & Jafari, H. (2011). Application of Fuzzy ELECTRE TRI Method for Determination of Environmental Impact Significance of Water Resource Development Projects (the Case of Ardebil Dam, Drainage and Irrigation Network Project). *Environmental Researches*, *1*(2), 31-42. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089597.1389.1.2.4.5

Komasi, M., & Beiranvand, B. (2019). Environmental Impact Assessment of the Eyvashan Dam Using the Leopold Modified Matrix and Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). *Iranian Journal of Research in Environmental Health. Summer*, 5 (2), 133-143. https://doi.org/10.22038/jreh.2019.40232.1302

Momayez, A., & Qassemi, S.A. (2019). Environmental Impact Assessment (EIA) of South Pars Special Zone (ASSALOOYEH) in Creating a Stable Environment Using the Leopold Matrix. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 10(2), 211-223. https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2019.21

Mondal, M.K, & Dasgupta, B.V. (2010). EIA of Municipal Solid Waste Disposal Site in Varanasi Using RIAM Analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(9), 541-546. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.011

Mousavi, S.H, Sheikh Goudarzi, M., & Kaviani, A. (2012). A Comparison of Modified Leopold Matrix and ICOLD Matrix in the Environmental Impact Assessment of Koor (Nahang) Dam in the Sistan and Baluchistan Province. *Journal of Environmental Management and Planning*, 2(4), 15-25. (In Persian) https://www.magiran.com/p1147937

Richmond, L., Kotowicz, D., & Hospital, J. (2015). Monitoring Socio Economic Impacts of Hawai ‘i's 2010 Bigeye Tuna Closure: Complexities of Local Management in a Global Fishery. *Ocean and Coastal Management*, 106, 87-96. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.01.015

Richter, B.D, Postel, S., Revenga, C., Scudder, T., Lehner, B., Churchill, A., & Chow, M. (2010). Lost in Development's Shadow: The Downstream Human Consequences of Dams. *Water Alternatives*, 3(2), 14-42. https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol3/v3issue2/80-a3-2-3/file

Sarbazi, M., Akbari, M. (2019). Evaluation of the Environmental Effects of Dam Construction Using the ICOLD Method. Case study: Golbo Dam, the 4th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. https://www.iraneiap.ir/article_106935.html

Thomas, T.T, Sony, C.D, Kuruvila, E.C, Lake, P., Thomas, T., Sony, T., Dinil, C., & Kuruvila, E.C. (2017). Rapid Environmental Impact Assessment of Eco-tourism in Pookote Lake, Wayanad. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 14(4), 3149–3154. https://mail.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I4755.pdf

Vanclay, F. (2017). Principles to Gain a Social Licence to Operate for Green Initiatives and Biodiversity Projects. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 48-56. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.11.003

Water Power Consulting Engineers (2014). Project of the main and sub-irrigation and drainage network of the main Khodaafrin canal, second stage studies. [In Persian] https://tavanab.com

Zoratipour, E., Hooshmand, A., & Cheraghi, M. (2022). Environmental Impact Assessment of Irrigation and Drainage Network Using the Conventional and Modified ICOLD Matrix Methods. *Environment and Water Engineering*, 8(2), 317-332. https://doi.org/10.22034/jewe.2021.299672.1611

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.162-185

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

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.81109.1334 Open access

Modeling and Prediction of Groundwater Level in Izadkhast Plain, Fars Province

Maryam Ansari [a], Iraj Jabbari [*b]

[a] *PhD in Geomorphology, Razi University, Kermanshah, Iran*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Razi University, Kermanshah, Iran*

Received: 13 February 2023 ***Revised: 17 May 2023*** ***Accepted: 1 June 2023***

Abstract

Given the limited underground water resources in Iran, careful calculation, proper use, regulation, and maintenance of these resources are crucial. One effective approach for managing and exploiting these resources optimally, both now and in the future, is through modeling. This study focuses on the challenges faced by groundwater in the Izadakhat Basin, employing GMS software and MODFLOW code to model and forecast water levels under both steady and unsteady conditions. Three scenarios are considered: continuation of current trends, a 20% decrease in precipitation, and a 20% increase in precipitation. The results indicate that, under current conditions, the water table is projected to drop by 2.786 meters. A 20% decrease in precipitation would increase this decline to 3.77 meters, while a 20% increase in precipitation would reduce the drop to 1.77 meters. In other words, the water level fluctuates by about 1 meter with a 20% change in precipitation. Over the three-year period studied (2015–2017), the first scenario suggests a steady decline of 2.786 meters every three years if current conditions persist. These findings highlight the importance of surface water storage in the region to replenish groundwater levels. Moreover, the analysis underscores the significant impact of human activity on both the quantity and quality of groundwater resources in the study area, emphasizing the need for improved resource management.

Keywords: Undergroundwater level flactuations**,** Groundwater level fluctuation, Groundwater resource management, Aquifer, MODFLOW code, Izadkhast plain, Iran

[*] .Corresponding author: Iraj Jabbari Email: Iraj.jabbari@razi.ac.ir Tel:+989188332017

How to cite this Article: Ansari, M., & Jabbari, I. (2024). Modeling and Forecasting of the GroundWater Level in the Izadkhasht Plain, Fars Province, Fars province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 162-185.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۸۵-۱۶۲
ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

دسترسی آزاد
DOI:10.22067/geoeh.2023.81109.1334
مقاله پژوهشی

مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی دشت ایزدخواست استان فارس

مریم انصاری- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
ایرج جباری[1] - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۲۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۱۱

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی در ایران، محاسبه دقیق، استفاده صحیح، تنظیم و نگهداری این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از روش‌های مؤثر برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این منابع در حال و آینده، استفاده از مدل‌سازی است. این مطالعه بر چالش‌های مرتبط با منابع آب زیرزمینی در حوضه ایزدخواست تمرکز دارد و با استفاده از نرم‌افزار GMS و کد MODFLOW به مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح آب در شرایط پایدار و ناپایدار می‌پردازد. سه سناریو موردبررسی قرار گرفته است: ادامه روند فعلی، کاهش ۲۰ درصدی بارش و افزایش ۲۰ درصدی بارش. نتایج نشان می‌دهد در شرایط فعلی، سطح آب زیرزمینی به میزان ۲.۷۸۶ متر کاهش خواهد یافت. با کاهش ۲۰ درصدی بارش، این افت به ۳.۷۷ متر خواهد رسید و با افزایش ۲۰ درصدی بارش، این افت به ۱.۷۷ متر کاهش می‌یابد؛ به‌عبارت‌دیگر، سطح آب با تغییر ۲۰ درصدی بارش تقریباً ۱ متر نوسان می‌کند. طی دوره سه‌ساله مطالعه‌شده (۱۳۹۴—۱۳۹۶)، سناریوی اول نشان می‌دهد در صورت ادامه شرایط فعلی، سطح آب هر سه سال یک‌بار به‌طور ثابت ۲.۷۸۶ متر کاهش خواهد یافت. این یافته‌ها بر اهمیت ذخیره آب‌های سطحی در منطقه برای تقویت سطح آب‌های زیرزمینی تأکید دارند. همچنین، تحلیل نتایج نشان می‌دهد یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر در کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعه‌شده، عوامل انسانی است که باید در مدیریت این منابع موردتوجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: نوسان سطح آب زیرزمینی، مدیریت منابع آب زیرزمینی، آبخوان، کدMODFLOW، دشت ایزدخواست، ایران

[1] . نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۳۳۲۰۱۷ Email:Iraj.jabbari@razi.ac.ir

مقدمه

قسمت اعظم آب شیرین موجود در کره زمین در زیر زمین قرار دارد. افزایش جمعیت، افزایش تقاضا بر منابع آب زیرزمینی را سبب شده است. به علت بهره‌برداری روزافزون از منابع آب زیرزمینی، مسائل جدیدی مطرح گردیده و موضوع مدیریت بهره‌برداری اقتصادی و مجاز و صیانت منابع نیز موردتوجه قرار گرفته است. ازآنجاکه منابع آب زیرزمینی کشور ایران محدود و درخور توجه است، این کمبود ایجاب می‌کند که در محاسبه مقدار آب موجود و استفاده صحیح و تنظیم و نگهداشت منابع آب زیرزمینی دقت کامل به عمل آید تا بتوان به‌طور مستمر و حتی برای نسل‌های بعدی از این منابع استفاده کرد. در واقع مکانیسم‌ها و شرایط مختلف مؤثر بر منابع آب زیرزمینی، تغییراتی در حجم ذخیره و سطح آب سفره‌های آبی به وجود می‌آورد که جهت برنامه‌ریزی، کنترل و مدیریت صحیح باید تحت نظارت دقیق پیش‌بینی‌های به‌موقع قرار گیرند (Kamali Ardakani, 2019). یکی از روش‌های مفید برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه در زمان حال و آینده استفاده از روش‌های مدل‌سازی است.

به‌طورکلی مدل‌ها به سه گروه مدل‌های فیزیکی، مدل‌های ریاضی و مدل‌های آنالوگ تقسیم می‌شوند. مدل‌های ریاضی ممکن است به‌صورت معین یا احتمالاتی یا ترکیبی از هر دو باشند. این مدل به مدل‌های تحلیلی و عددی نیز طبقه‌بندی می‌شوند (Kamali Ardakani, 2019) که متداول‌ترین مدل‌های مدل‌سازی سطح تراز آب زیرزمینی از این گروه می‌باشند.

در همین راستا در سال‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح تراز آب‌های زیرزمینی از مدل‌های متفاوتی استفاده شده است (Knotters & Bierkens, 2001; Mackay, Jackson, & Wang, 2014; Shakya et al., 2022; Tao et al., 2022; Chidepudi et al., 2023; Mirzaei & Nazemi, 2011; Afruzi, & Zare Abyaneh, 2017; Akhoni Pourhosseini, Asadi, 2017) اما مدل MODFLOW برجسته‌ترین مدل در روش‌های ارزیابی منابع آب با استفاده از مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی است (McDonald & Harbaugh, 1988) و بیش‌ترین تحقیقات در مورد مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در جهان توسط مدل

MODFLOW انجام شده است (Rahmawati et al., 2013; Shakoor et al., 2018) که جریان را به‌صورت سه‌بعدی و به روش تفاضل محدود مدل می‌نماید.

مدل MODFLOW توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده در سال ۱۹۸٤ توسعه یافت (McDonald & Harbaugh, 1988) و به‌سرعت در نقاط مختلف دنیا جهت مدل‌سازی سطح تراز آب زیرزمینی مورداستفاده قرار گرفت (Rayne et al., 2001; Wang et al., 2008; Kushwaha et al., 2009; Shakoor et al., 2018; Pande et al., 2022; Katibeh & Hafezi, 2005; Heydari & Jabbari, 2022; Masoumi et al., 2021) در همین راستا برخی محققین در خصوص شبیه‌سازی جریان و انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی از این مدل استفاده کردند (Jovanovic et al., 2009; Mondal & Singh, 2009; Parameswari, & Mudgal, 2015) برخی نیز جهت مدل‌سازی فرونشست (Rashvand et al., 2019; Rajabi et al., 2021)، بررسی رابطه متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی(Yanxun et al., 2011; Mehl & Hill, 2010) و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم (Patil et al., 2020; Abbasnouvinpour et al., 2022) و خشکسالی (Atayizadeh & Chit Sazan, 2018; Porhaghi, et al. 2014) از مدل مذکور استفاده کردند و مورد تأیید قرار دادند.

بنابراین در این راستا و با توجه به اهمیت این موضوع و مشکلاتی از قبیل اقلیم گرم و خشک، پتانسیل بالای تبخیر و تعرق و شوری بالای آب‌های زیرزمینی در استان فارس که تهدیدی جدی برای شور شدن خاک و کویری شدن منطقه است، سبب تمرکز بر روی این منطقه شده است. منطقهٔ موردمطالعه در جنوب استان فارس، واقع در بخش مرکزی شهرستان زرین‌دشت انتخاب شده است. این منطقه یک حوضهٔ بسته است که کمبود آب مطلوب و شور شدن آب‌وخاک در سال‌های اخیر مانع جدی برای کشاورزی و معیشت مردم شده است. به‌طوری‌که ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی باعث تغییر کمیت و کیفیت منابع آب شده و مشکلات مضاعفی را برای این منطقه به وجود آورده است. همچنین در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت، چاه‌هایی که برای مصارف خانگی استفاده می‌شوند، از حالت کم‌عمق به نیمه‌عمیق تبدیل و تعداد قابل‌توجهی از چاه‌های بهره‌برداری نیز خشک شده‌اند و به‌دلیل کمبود آب در چاه‌های کم‌عمق، کشت و زرع کاهش پیدا

کرده است. حتی در بعضی مناطق استفاده از آب شور جهت کشاورزی همراه با کیفیت پایین خاک و سایر شیوه‌های غلط مدیریت منجر به تأثیرات زیان‌آور به منابع خاک شده است. این در حالی است که با توجه به بحران، کمبود و شوری آب در منطقه اقدامات مناسبی جهت مدیریت منابع آب انجام نشده است؛ بنابراین با توجه به مشکلات مذکور، در پژوهش حاضر سعی بر این است که ضمن بررسی مشکلات ایجاد شده سطح تراز آب زیرزمینی حوضه ایزدخواست با استفاده از نرم‌افزار GMS با کد MODFLOW در شرایط ماندگار و غیر ماندگار مدل‌سازی و در سه سناریوی تداوم شرایط جاری، کاهش و افزایش ۲۰ درصدی بارش پیش‌بینی انجام شود.

۱- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

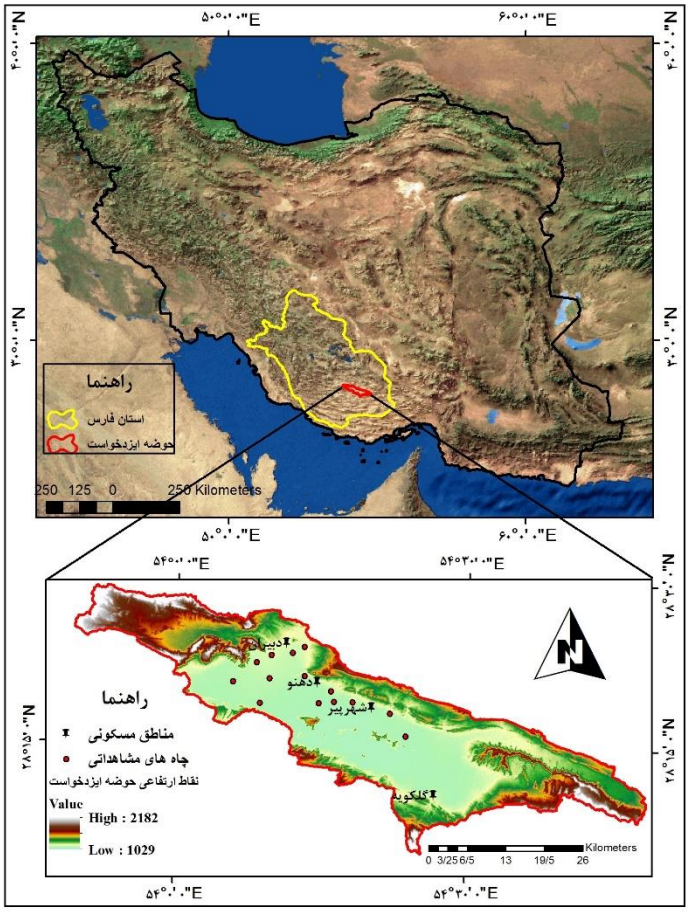
حوضه آبریز ایزدخواست با مختصات "۲۹ '۴۹ °۵۳ تا "۲۸ '۴۸ °۵۴ طول شرقی و "۵۲ '۰۶ °۲۸ تا "۲۰ '۲۹ °۲۸ عرض شمالی یکی از کفه‌های بستهٔ حوضهٔ آبریز رودخانهٔ مند واقع در استان فارس است (شکل ۱). مساحت این حوضه ۱۳۷۱/۳ کیلومترمربع است که ارتفاعات ۸۷۹/۶ و دشت ۴۹۱/۷ کیلومترمربع از کل مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. حداکثر ارتفاع در حوضه ۲۱۸۲ و حداقل ارتفاع ۱۰۲۹ متر است. این حوضه دارای میانگین بارش سالانه ۲۲۲/۱ میلی‌متر، میانگین سالانه دما ۱۹/۵ درجه و متوسط تبخیر سالانه از تشتک ۲۹۵۵/۹ میلی‌متر است(Ansari et al., 2021 a) .

از نظر هیدرولوژی در این حوضه رودخانهٔ دائمی وجود نداشته و کلیه جریان‌ها موقت و فصلی می‌باشند که تمامی جریان‌های سطحی منطقه به‌صورت همگرا از حاشیه به سمت مرکز دشت جریان یافته و درنهایت در مرکز و غرب دشت تجمع می‌یابند. در مرکز دشت آب‌های راکد پس از تبخیر، اراضی شور و غیرقابل استفاده را نمایان می‌سازند. عمده‌ترین مسیل‌های منطقه مسیل خشک آنگبینه واقع در غرب روستای دوبران، مسیل خشک چاه زبر و مسیل خشک گلکویه (گلکان) هستند (Ansari et al., 2021 b) . این جریان‌ها بر روی سازندهای مقاوم‌تر مانند آسماری جهرم که دارای شکستگی‌ها ودرز و شکاف فراوان هستند بستر خود را به

شکل درّه‌های ژرف V مانند تبدیل ساخته‌اند اما بر روی سازندهای سست‌تری مانند آغاجاری دارای بستری پهن هستند و اغلب آن‌ها پس از ورود به دشت بستر مشخصی ندارند.

۲-۲- روش انجام پژوهش

جهت مدل‌سازی سطح تراز آب‌های زیرزمینی در این تحقیق از نرم‌افزار رابط GMS و کد MODFLOW استفاده می‌شود. این نرم‌افزار که مدل MODFLOW را در خود جای داده است، با امکانات مختلفی که به آن افزوده شده است نسبت به خود نرم‌افزار MODFLOW توانایی بیشتری در وارد کردن داده‌ها، ساخت و تحلیل مدل دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. **Location of the study area**

کد MODFLOW بر پایه حل معادلات حرکت آب‌های زیرزمینی است به‌طوری‌که حرکت سه‌بعدی آب زیرزمینی با چگالی ثابت به‌وسیله معادله دیفرانسیلی جزئی (رابطه ۱) با استفاده از روش تفاضل محدود و بر اساس معادله پیوستگی حل می‌شود.

رابطهٔ ۱: $$Ss\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[Kxx\frac{\partial h}{\partial x}\right] - \frac{\partial}{\partial y}\left[Kyy\frac{\partial h}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[Kzz\frac{\partial h}{\partial z}\right] - W$$

K: هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، h: بار پتانسیل (متر)، W: بیانگر شار حجمی در واحد حجم و نشانگر تغذیه و تخلیه آب، Ss: ذخیره مخصوص مواد متخلخل، t: زمان (روز) و x، y و z بیانگر مختصات است.

برای ایجاد مدل جریان در نرم‌افزار GMS از روش مدل مفهومی[1] استفاده شده است. در این روش ابزارهای GIS و مدل Map به‌کار برده می‌شوند. تمامی داده‌های موجود در منطقه ازجمله موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، پارامترهای لایه از قبیل هدایت هیدرولیکی، مرزهای مدل و اطلاعات دیگر موردنیاز برای مدل‌سازی در سطح مدل مفهومی موردبررسی قرار گرفت و به نرم‌افزار داده شد. سپس شبکه ایجاد و مدل مفهومی به مدل شبکه‌ای[2] تبدیل می‌گردد. محدوده دشت به مدل وارد می‌شود، سپس هر یک از ویژگی‌های آبخوان، منابع تغذیه و تخلیه و چاه‌های مشاهده‌ای در یک پوشش جداگانه تعریف می‌شوند. در مدل مفهومی محدوده موردمطالعه، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای به مدل داده شد. به‌طورکلی ساختار مدل مفهومی آبخوان شامل محدوده مدل‌سازی و توزیع اولیه پارامترهای هیدروژئولوژیک، تخلیه چاه‌های بهره‌برداری و میزان آب برگشتی آن‌ها، چاه‌های مشاهداتی، میزان تغذیه از سطح به آبخوان و شرایط مرزی آبخوان خواهد بود.

در ادامه، اطلاعات جمع آوری شده در مدل مفهومی شامل مقادیر پارامترهای فیزیکی (ضخامت لایه آبدار، ضریب تخلخل و غیره) و هیدرودینامیکی (ضریب هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال) در آبخوان و هم چنین مقادیر تغذیه (نفوذ ناشی از بارش و آب برگشتی ناشی از مصارف) و تخلیه از آبخوان (پمپاژ چاه‌ها) با

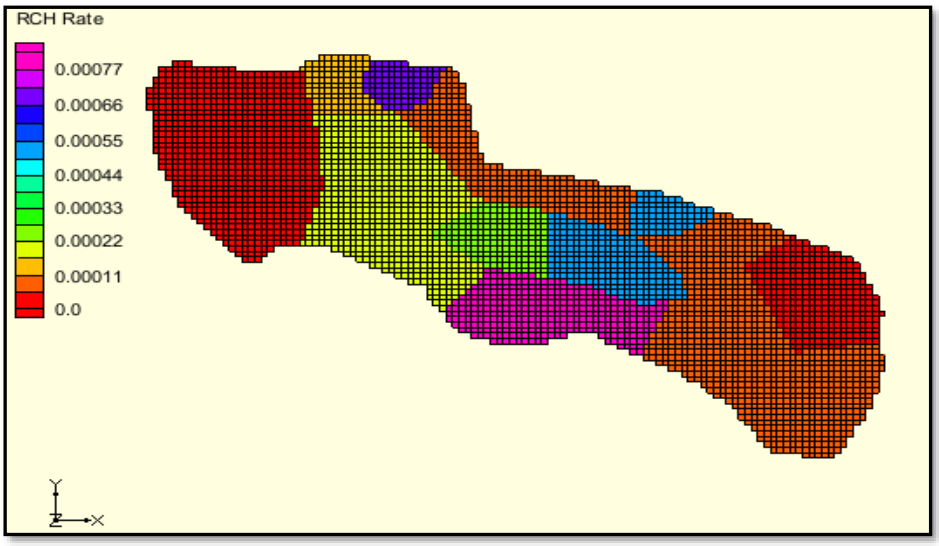
[1]. Conceptual Model Approach
[2]. Grid Model

استفاده از داده‌های سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس، سازمان هواشناسی و DEM ۱۲/۵ متر منطقه به مدل ریاضی منتقل شد و هرکدام توسط نماد مختص به خود نمایش داده شد.

با توجه به نبود اطلاعات هدایت هیدرولیکی در منطقه موردمطالعه داده‌های مربوط به ضریب قابلیت انتقال محدوده موردنظر از سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس تهیه گردید و از تقسیم ضریب قابلیت انتقال به ضخامت لایه اشباع آبخوان، هدایت هیدرولیکی قسمت‌های مختلف دشت تخمین زده شد، مراحل آماده‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. همچنین با توجه به مطالعات انجام‌شده توسط وزارت نیرو، ضریب ذخیره آبخوان دشت ایزدخواست به‌طور متوسط ۵ درصد در نظر گرفته شد و به‌مدل معرفی گردید. از طرفی باید توجه داشت که میزان ضریب ذخیره و آبدهی ویژه یکی هستند و به یک معنا می‌باشند.

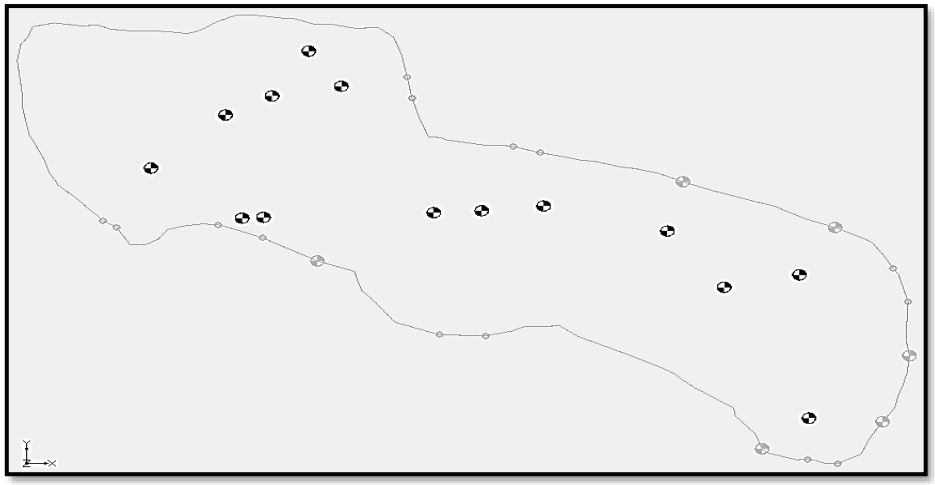
در مرحلهٔ بعد با توجه به مقدار بارش و ضریب نفوذپذیری مقدار تغذیه ناشی از بارندگی مشخص شد. پس از آن چاه‌های کشاورزی دشت مشخص گردید. با توجه به ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و پیرامون دشت برگرفته از سایت سازمان هواشناسی استان فارس، مقدار متوسط بارندگی استخراج شد و با توجه به مطالعات پایه انجام شده ضریب نفوذ بارندگی در تمام سطح دشت برابر ۵ درصد در نظر گرفته شد (سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس،۱۳۹٤) (شکل ۲). لازم به ذکر است که مدل‌سازی سطح تراز آب زیرزمینی فقط در دشت منطقهٔ موردمطالعه انجام شده است.

در مرحلهٔ بعد چاه‌های مشاهداتی به‌وسیله نرم‌افزارهای GIS و Excel آماده شدند و بعد از تبدیل به فرمت (Text Files) و یا (Shape Files) به GMS، در سطح مدل مفهومی (در ماژول نقشه) وارد و پس از آن، به مدل شبکه‌ای سه‌بعدی MODFLOW تبدیل شدند. سطح آب به نقاط مشاهده‌ای (شکل ۳) که از قبل تعیین شده بودند، تخصیص داده شد. سپس تعداد ۱۲۳ حلقه چاه بهره‌برداری (شکل ٤) در محدوده دشت ایزدخواست با استفاده از اطلاعات سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس با حجم کل تخلیه سالانه از چاه‌های موجود در این آماربرداری حدود ۳۰ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.



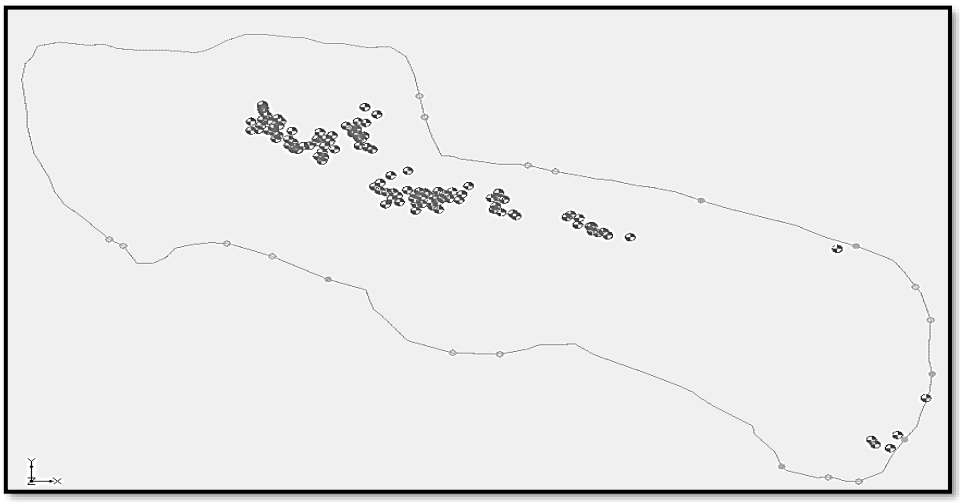
شکل ۲- تغذیه از سطح آبخوان

Fig.2. Recharge from the aquifer surface



شکل ۳- پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه موردمطالعه

Fig.3. Distribution of observation wells in the study area



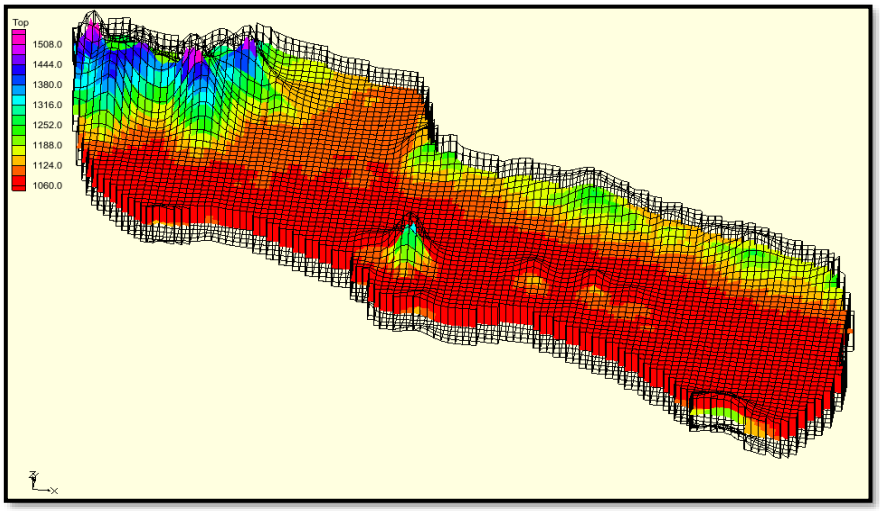
شکل ٤- پراکنش چاه‌های بهره‌برداری در منطقه موردمطالعه

Fig.4. Distribution of extraction wells in the study area

در مرحلهٔ بعد اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از داده‌های DEM و با استفاده از نرم‌افزار GIS استخراج گردید و به‌صورت فایل shp به مدل وارد شد. سپس با استفاده از درون‌یابی، کلیه نقاط به‌طور مستقیم به شبکه مدل نسبت داده شد. نقشه مدل رقومی ارتفاعی و سنگ کف آبخوان نیز به کمک داده‌های ژئوفیزیک و نقشه تغییرات ضخامت آبخوان ساخته شد (شکل‌های ٥ و ٦).

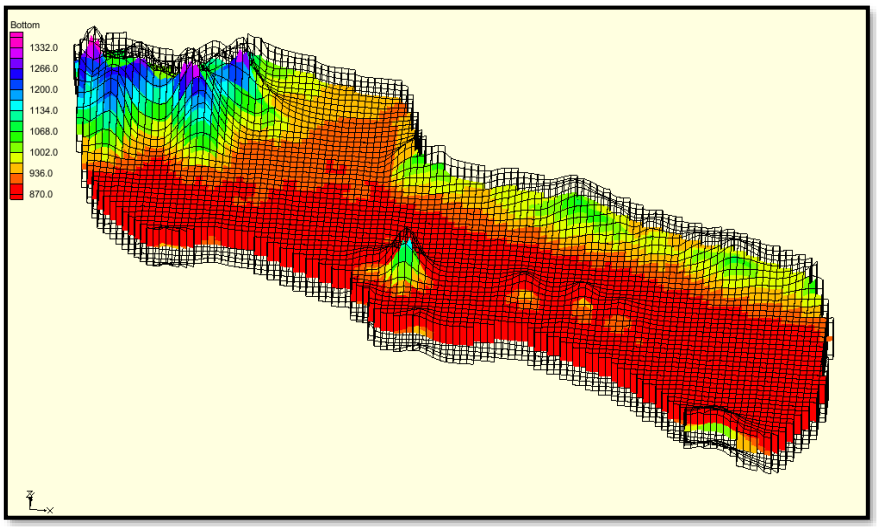
پس از مشخص کردن پارامترهای زمانی و پارامترهای هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک برای هر سلول مدل، توصیف دقیق شرایط مرزی با استفاده از مناسب‌ترین بسته‌های MODFLOW صورت می‌گیرد. در این مرحله از تحقیق، شرایط مرزی سفره عمدتاً طبق نتایج مطالعات پایه آب‌های زیرزمینی و بر اساس نقشه‌های تراز آب، داده‌های مشاهداتی دشت و شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی سفره تعیین شده است. مناطقی که هم‌جوار سازندهای نفوذپذیر قرار داشتند به‌عنوان مرزهای نفوذناپذیر تعیین شدند. سال آبی ١٣٩٤-١٣٩٥ به علت کامل بودن اطلاعات در این سال به‌عنوان سال پایه شبیه‌سازی در نظر گرفته شدند و مقادیر ارتفاع سطح ایستابی در مهرماه ٩٤ که ماه حداقل سطح آب در منطقه بود به‌عنوان شرایط اولیه در حالت پایدار انتخاب گردیدند. همچنین شبیه‌سازی سطح آب و واسنجی مدل در حالت غیر ماندگار در مهرماه سال آبی ١٣٩٦-١٣٩٤ انجام گردید.

بنابراین پس از تعیین تمام داده‌های موردنیاز کد MODFLOW-2000، مدل آماده اجرا است. در ابتدا با استفاده از Model Checker خطاهای احتمالی بررسی می‌شود و تصحیح می‌گردد. در مرحله بعد یکی از روش‌های محاسباتی MODFLOW را انتخاب و مدل اجرا می‌شود که در این مطالعه از روش تکرار PCG2 استفاده گردید. معمولاً در اولین اجرا، برازش مناسبی بین بار هیدرولیکی محاسبه‌شده و اندازه‌گیری‌شده به دست نخواهد آمد. بنابراین برای رسیدن به یک برازش قابل‌قبول باید خطاهای احتمالی موجود در فرایند مدل‌سازی شناسایی و تا حد ممکن رفع گردد و مدل واسنجی شود که در این مطالعه از روش واسنجی دستی و همچنین از کد PEST جهت واسنجی اتوماتیک مدل استفاده گردید.



شکل ۵- نقشه DEM منطقه موردمطالعه

Fig.5. DEM map of the study area



شکل ٦- نقشه کف آبخوان منطقه موردمطالعه

Fig.6. Map of the aquifer bottom in the study area

واسنجی مدل را می‌توان برای شرایط ماندگار و غیرماندگار و یا هر دو انجام داد. برای ارزیابی نتایج واسنجی از امکانات نرم‌افزار GMS از پارامتر RMSE جهت محاسبه اختلاف سطح ایستابی شبیه‌سازی‌شده و سطح ایستابی مشاهده‌شده در چاه‌های پیزومتری و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها استفاده شد. در این تحقیق مهرماه سال ١٣٩٤ به‌عنوان ماه پایه برای واسنجی مدل در حالت رژیم پایدار انتخاب شد. در این حالت بعد از اجرای مدل، ابتدا از روش واسنجی اتوماتیک (PEST) جهت واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی، میزان تغذیه و تخلیه استفاده شد و محدوده تقریبی پارامترها مشخص شد و برای رسیدن به واسنجی دقیق‌تر از روش سعی و خطا (دستی) استفاده شد که علاوه بر پارامترهای ذکر شده، ارتفاع سنگ بستر و مرزهای دشت از نظر هد هیدرولیکی ثابت نیز تغییر داده شد تا درنهایت سطح ایستابی اندازه‌گیری شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای بسیار نزدیک گردد.

پس‌ازآنکه واسنجی مدل در شرایط ماندگار انجام شد و میزان هدایت هیدرولیکی، ارتفاع سنگ بستر و مرزها مشخص شد، در این مرحله به واسنجی ضریب ذخیره و میزان تغذیه و تخلیه پرداخته شد که عوامل تغذیه و تخلیه در یک دوره ۳ ساله ١٣٩٦-١٣٩٤ با ۱۲ دوره تنش به مدل وارد گردید و به روش آزمون سعی و خطا مورد واسنجی قرار گرفت و همچنین از روش واسنجی اتوماتیک PEST برای تخمین میزان ضریب ذخیره

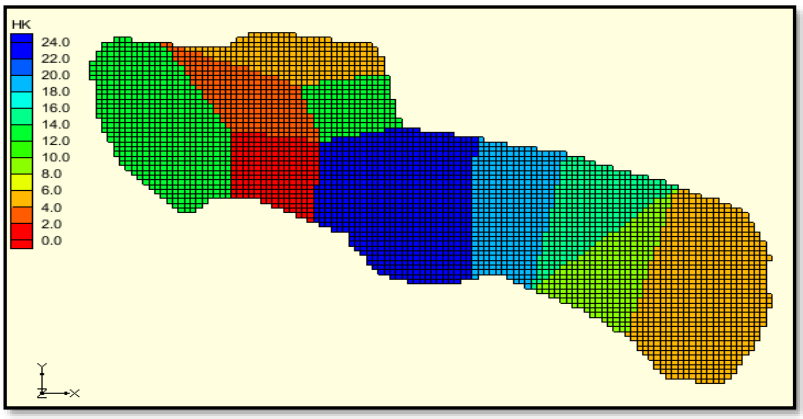
استفاده گردید. در خلال این فرآیند معیار واسنجی سطح ایستابی مشاهده‌شده در چاه‌های مشاهده‌ای برای ۱۲ ماه، دوره شبیه‌سازی بود، همچنین نتایج حاصل از این مرحله با کمک پارامتر RMSE موردبررسی قرار گرفت. درنهایت در مدل واسنجی شده آبخوان محدوده موردمطالعه، با تعیین عدم قطعیت داده‌های ورودی، پارامترهای مدل‌سازی در دامنه‌ی معقول و مشخص تغییر داده شدند. حساس‌ترین پارامتر، پارامتری است که کمترین تغییر در آن موجب بیش‌ترین تغییر در واسنجی شود. در این مطالعه با استفاده از بسته PEST از نرم‌افزار GMS، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف سنجیده شد.

جهت اجرای سناریوهای پیش‌بینی چون خشکسالی و کمبود بارندگی بر منابع آب زیرزمینی و رطوبت خاک و جریان رودخانه مؤثر است (Porhaghi, et al. 2014) و با توجه به این‌که با پیش‌بینی و مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی می‌توان نقاط حساس به کاهش و افزایش تغذیه را شناسایی و برای مدیریت بهتر از آن‌ها استفاده نمود، بنابراین از آمار ۱۳ سالهٔ بارندگی موجود در منطقه که از ادارهٔ کل هواشناسی استان فارس گرفته شد، استفاده گردید. بر طبق این آمار، میانگین بارندگی حوضه از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۳۹۹، ۲۱۷/۵۷ میلی‌متر است. کم‌ترین میزان بارندگی در حوضه مربوط به سال ۱۳۸۷ با ۵۰/۱۲ میلی‌متر بارش و بیش‌ترین میزان بارش مربوط به سال ۱۳۹۵ با ٤۹۹/٤ میلی‌متر بارش گزارش شده است. پس با توجه به میانگین و حداقل بارش در این دورهٔ ۱۳ ساله سناریوهای پیش‌بینی با تداوم شرایط کنونی و کاهش و افزایش ۲۰ درصدی بارش به مدل اعمال شد.

۳- نتایج و بحث

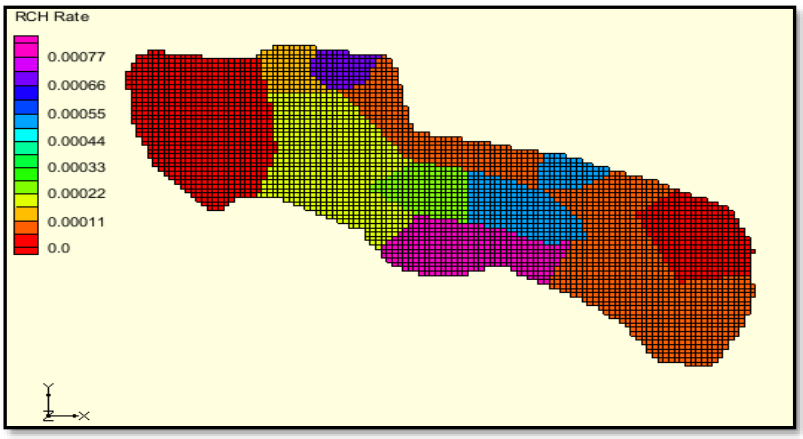
با توجه به نتایج مقادیر واسنجی شدهٔ هدایت هیدرولیکی به دست آمده پس از کالیبراسیون مدل در محدوده مدل‌سازی و در شرایط پایدار نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقادیر در قسمت مرکزی حوضه متمرکز شده (شکل ۷) و بیش‌ترین میزان تغذیه نیز در مرکز و جنوب دشت قرار دارند (شکل ۸) که با توجه به شکل و توپوگرافی حوضه مقادیر قابل قبولی به‌حساب می‌آیند؛ بنابراین در مرحلهٔ بعد مقایسه بین سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده در محل چاه‌های مشاهداتی در پایان دوره واسنجی پایدار انجام گرفت و تفاوت آن‌ها مشخص شد (جدول ۱). همچنین اختلاف سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای با محاسباتی در دوره واسنجی

پایدار به‌صورت نمودار میله‌ای ترسیم شده است (شکل ۹). با توجه به جدول ۱ و شکل ۹ می‌توان دریافت که اختلاف تراز چاه‌های مشاهداتی و محاسباتی در تمام چاه‌ها کم‌تر از یک متر است به‌استثنای چاه شمارهٔ ۷ که این اختلاف ۱/۰۵ متر است که نتایج قابل قبولی می‌باشند که می‌توان این مدل‌سازی را در شکل ۱۰ مشاهده نمود. همان‌طور که گفته شد چون حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب، ۱± در نظر گرفته شده است در این شکل رنگ سبز پیزومترها نشان می‌دهد که معیار واسنجی در حالت ماندگار به‌خوبی رعایت شده و تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی کمتر از (۱±) است.



شکل ۷- مقادیر واسنجی‌شدهٔ هدایت هیدرولیکی در محدوده مدل‌سازی طی کالیبراسیون مدل در شرایط پایدار

Fig.7. Calibrated hydraulic conductivity values in the modeling area during steady-state calibration



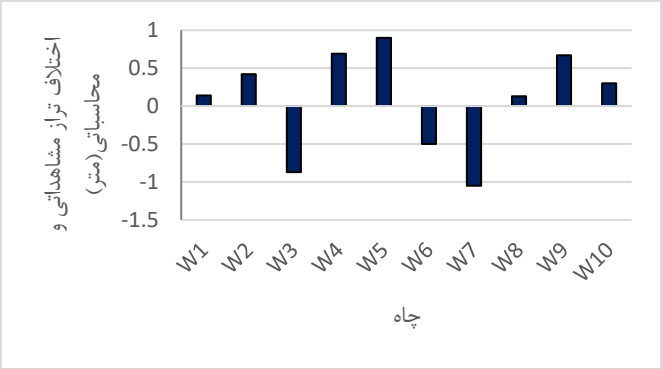
شکل ۸- مقادیر واسنجی شدهٔ تغذیه طی کالیبراسیون مدل در شرایط پایدار

Fig.8. Calibrated recharge values during steady-state model calibration

جدول ۱- تراز مشاهداتی و محاسباتی در حالت پایدار

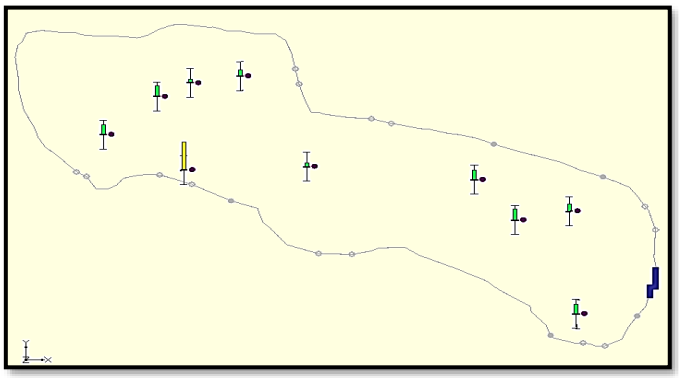
Table1- Observational and computational balance in steady state

چاه	مشاهداتی (متر)	محاسباتی (متر)
W1	۹۷۹/۷٤	۹۷۹/۸۸
W2	۹۹۲/۱۲	۹۹۲/٥٤
W3	۹۱۱/۰۷	۹۱۰/۲
W4	۹۷۲/۱۸	۹۷۲/۸۷
W5	۱۱۱۹/۳۱	۱۱۲۰/۲۱
W6	۱۰۳۱/۷۱	۱۰۳۱/۲۱
W7	۱۰۳۹/۱۷	۱۰۳۸/۱۲
W8	۱۰۵۵/۱	۱۰۵۵/۲۳
W9	۹۸٦//٥۸	۹۸۷/۲٥
W10	۹۷۳/۳	۹۷۳/٦



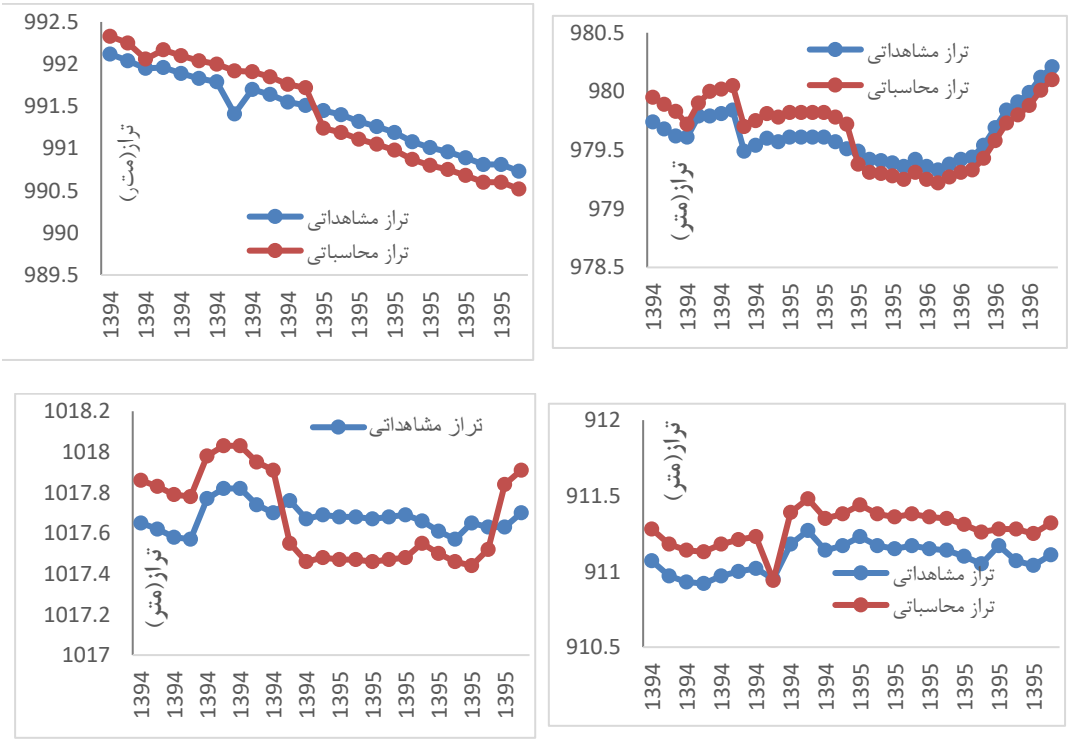
شکل ۹- مقایسه بین سطح آب مشاهداتی و محاسباتی در پایان دوره واسنجی پایدار

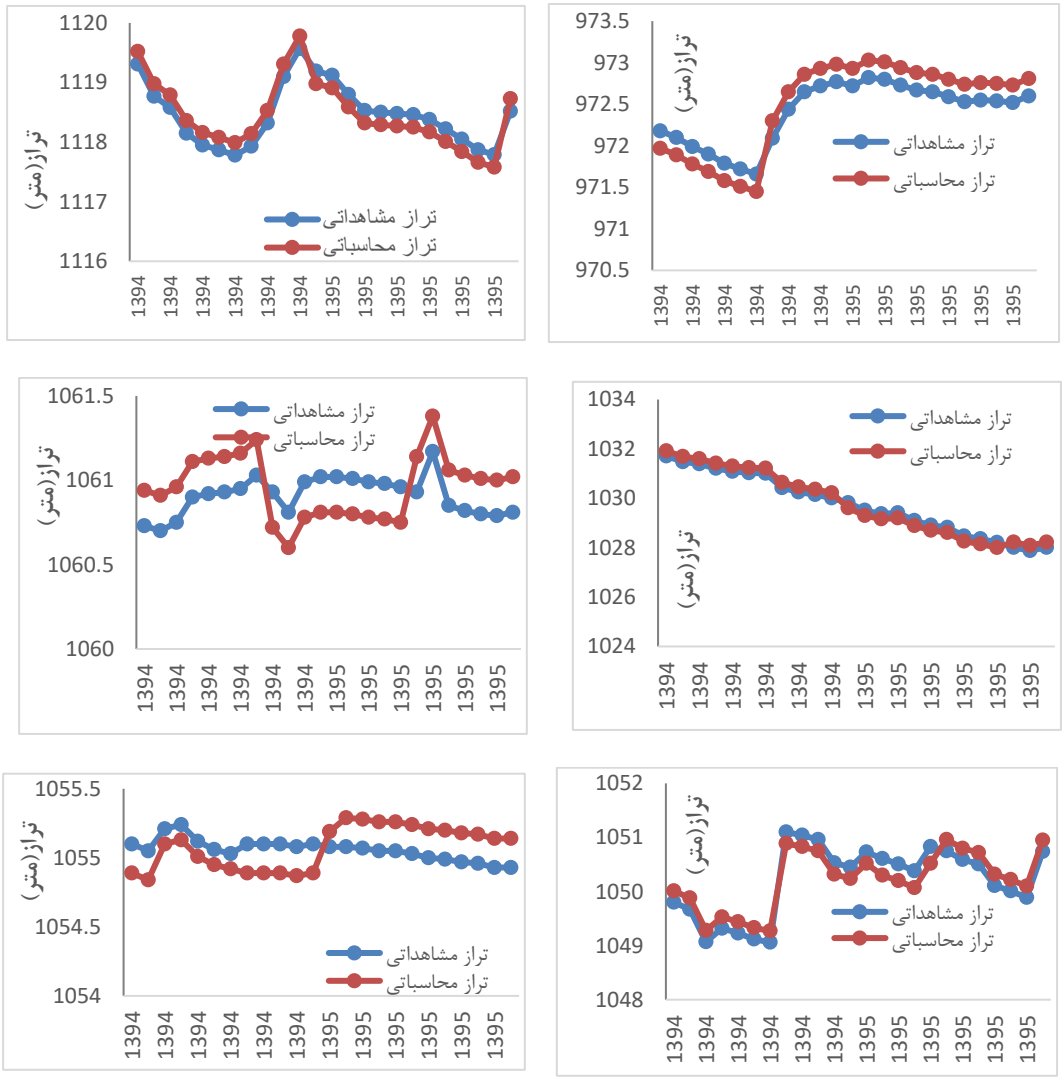
Fig.9. Comparison between observed and calculated water levels at the end of the steady-state calibration period



شکل ۱۰- چاه‌های مشاهداتی آبخوان در محدوده مدل‌سازی

Fig.10. Observation wells of the aquifer in the modeling area





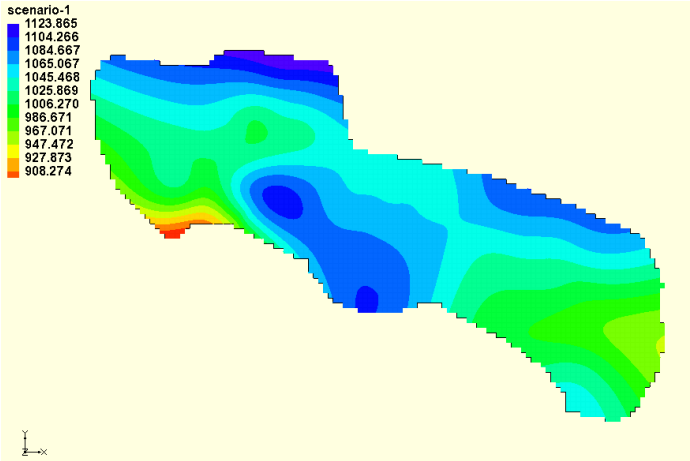
شکل ۱۱- مقادیر مدلسازی و مشاهداتی آبخوان در محدوده مدل‌سازی

Fig.11. Modeled and observed values of the aquifer in the modeling area

در شرایط غیرماندگار نیز مانند شرایط ماندگار واسنجی به‌وسیله ترکیبی از دو روش خودکار PEST و سعی و خطای دستی، انجام شده و مقادیر آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی برای سطح محدوده مدل‌سازی واسنجی شد. همچنین در حالت غیرماندگار حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب (±۱) در نظر گرفته شد (شکل ۱۱).

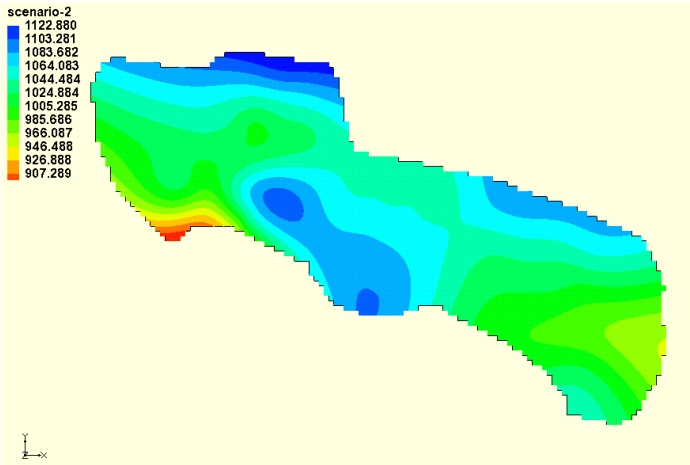
بر اساس شکل ۱۱ می‌توان مشاهده نمود که در حالت غیرماندگار نیز در تمام چاه‌ها معیار واسنجی به‌خوبی رعایت شده و تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی کمتر از (±۱) است. پس با دقت زیادی می‌توان به نتایج سناریوهای پیش‌بینی اعتماد نمود.

بنابراین سناریوی اول با تداوم شرایط کنونی (شکل ۱۲)، سناریوی دوم با کاهش ۲۰ درصدی بارش (شکل ۱۳) و سناریوی سوم با افزایش ۲۰ درصدی بارش (شکل ١٤) در نظر گرفته شد.



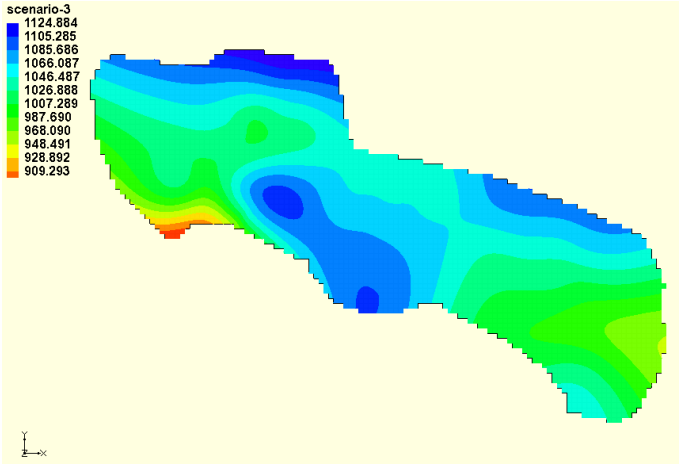
شکل ۱۲- سناریوی پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی با ادامهٔ روند کنونی

Fig.12. Scenario predicting groundwater level with the continuation of the current trend



شکل ۱۳- سناریوی پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی با کاهش ۲۰ درصدی بارش

Fig.13. Scenario predicting groundwater level with a 20% reduction in precipitation



شکل ١٤- سناریوی پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی با افزایش ۲۰ درصدی بارش

Fig.14. Scenario predicting groundwater level with a 20% increase in precipitation

درنهایت نتایج پیش‌بینی شرایط در سه مورد سناریو به دست آمد که بر پایهٔ تغییر میزان بارش در منطقهٔ موردمطالعه تعریف شده است. در سناریوی اول امتداد شرایط حاضر و در سناریوهای دوم و سوم میزان کاهش و افزایش ۲۰ درصدی بارش در نظر گرفته شد؛ بنابراین با توجه به داده‌های تراز چاه‌های مشاهداتی سال ۱۳۹٦ که حداقل ۹۱۱/۰٦ و حداکثر ۱۱۲۳/٤٥ را نشان می‌دهند در نظر گرفتن امتداد شرایط حاضر سطح آب در حالت حداقل به مقدار ۹۰۸/۲۷٤ می‌رسد که ۲/۷۸٦ متر کاهش را نشان می‌دهد. با حالت کاهش ۲۰ درصدی بارش این اختلاف به ۳ /۷۷ متر و با افزایش ۲۰ درصدی بارش این اختلاف به ۱/۷۷ متر می‌رسد؛ یعنی با کاهش و افزایش بارش تقریباً ۱ متر بر میزان سطح تراز آب در سناریوی امتداد شرایط، کاسته و افزوده خواهد. میزان حداکثر سطح تراز نیز این شرایط را دارا می‌باشد که با توجه به در نظر گرفتن سه سالهٔ سطح تراز (۱۳۹٤-۱۳۹٦) سناریوی اول گویای این مطلب است که با امتداد شرایط کنونی هر سه سال ۲/۷۸٦ متر از میزان سطح تراز آب کاسته خواهد شد. صحت این موضوع را می‌توان در گزارش ۱۰ سالهٔ چاه‌های بهره‌برداری مربوط به سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس (۱۳۹٤) مشاهده کرد. بر اساس گزارش مذکور در سال ۱۳۸۸ از تعداد ۱٦٦ چاه بهره‌برداری موجود در منطقه، ٤۳ چاه متروکه و خشک می‌باشند که این رقم در سال ۱۳۹۸ از تعداد ۳۰۲ چاه مشاهداتی به ۱٤٥ چاه متروکه و خشک رسیده است که از پایین رفتن سطح تراز در ده سال مذکور حکایت دارد. بر این اساس می‌توان همچون پژوهش‌های قبل قدرت مدل

MODFLOW در مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف را تأیید نمود (Rahmawati et al., 2013; Shakoor et al., 2018; Porhaghi et al., 2014; Heydari & Jabbari, 2022)

نکتهٔ قابل‌توجه دیگر نیز در سناریوها وجود حداقل سطح تراز آب‌های زیرزمینی در شرق و غرب حوضه می‌باشد که می‌تواند آسیب‌پذیری منابع آب در این قسمت‌ها را بیشتر نماید؛ بنابراین براساس این نتایج ذخیرهٔ آب‌های سطحی در منطقه جهت افزایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی ضروری است. همانند پژوهش (Shakoor et al., 2018)که تغذیه مصنوعی جهت افزایش سطح تراز را پیشنهاد دادند؛ بنابراین اولین اقدام در جهت ذخیرهٔ منابع آب سطحی آگاهی از وضعیت کیفی منابع آب سطحی و شناسایی منشأ شوری منابع آب‌وخاک می‌باشد.

بر این اساس از مهم‌ترین عوامل تغیر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه عوامل انسانی می‌باشد. به‌طوری‌که می‌توان به‌طور واضحی تأثیر فعالیت انسانی را در گزارش‌های سازمان سهامی آب منطقه‌ای (۱۳۹٤) در این حوضه مشاهده کرد. بر طبق گزارش این سازمان در دورهٔ مطالعاتی (۱۳۸۸–۱۳۹۸) هرساله نزدیک به ۳۰ میلیون مترمکعب آب از چاه‌ها استخراج می‌شده است که به‌مرور به‌دلیل خشک شدن برخی چاه‌ها این مقدار به ۲۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۸ رسیده است که با توجه به بیلان منفی منابع آب زیرزمینی در این حوضه، سالانه اضافه برداشت از مخازن آب به میزان ۰/٦٧١ میلیون مترمکعب وجود دارد که این موضوع به‌تدریج از سطح تراز آب زیرزمینی در این مخازن کاسته و بر میزان هدایت الکتریکی آب افزوده شده است. (Heydari & Jabbari, 2022) نیز در پژوهشی که در دشت مرودشت استان فارس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میزان برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی رابطهٔ مستقیمی با افت آب‌های زیرزمینی دارد؛ که این امر می‌تواند بر گسترش شوری منابع آب‌وخاک منطقه کمک کند (Ansari et al., 2023; Ansari &jabbari,2023)؛ و ازآنجاکه این آب‌ها در محدودهٔ زمین‌های زراعی استفاده شده است و در جنوب شهر دبیران بر افزایش شوری خاک زمین‌های زراعی افزوده شده است می‌توان با دقت بیشتری به این موضوع توجه نمود. ولی براساس کاهش سطح تراز و افزایش هدایت الکتریکی از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۹ می‌توان تأثیر

فعالیت‌های انسانی را در تغییر کیفیت منابع آب زیرزمینی ۳٤/۷ درصد و تأثیر عوامل طبیعی را ٦٥/۳ درصد تخمین زد (Ansari et al., 2023).

٤- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تداوم شرایط حاضر سطح آب ۲/۷۸٦ متر کاهش می‌یابد. با حالت کاهش ۲۰ درصدی بارش این اختلاف به ۷۷/ ۳ متر و با افزایش ۲۰ درصدی بارش این اختلاف به ۱/۷۷ متر می‌رسد؛ یعنی با کاهش و افزایش بارش تقریباً ۱ متر بر میزان سطح تراز آب در سناریوی تداوم شرایط، کاسته و افزوده خواهد. میزان حداکثر سطح تراز نیز این شرایط را دارا می‌باشد که با توجه به در نظر گرفتن سه سالهٔ سطح تراز (۱۳۹٤-۱۳۹٦) سناریوی اول گویای این مطلب است که با تداوم شرایط کنونی هر سه سال ۲/۷۸٦ متر از میزان سطح تراز آب کاسته خواهد شد و اگر بارش ۲۰ درصد کاهش یابد این رقم به ۳/۷۷ خواهد رسید و در شرایط بسیار خوش‌بینانه (سناریوی سوم) هر سه سال ۱/۷۷ متر از سطح تراز آب زیرزمینی منطقه کاسته خواهد شد که بسیار برای حوضه چالش‌برانگیز می‌باشد و مدیریت مناسبی را می‌طلبد.

بنابراین براساس این نتایج ذخیرهٔ آب‌های سطحی در منطقه جهت افزایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی ضروری است. همچنین تحلیل نتایج نشان داد که از مهم‌ترین عوامل تغیر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه عوامل انسانی مانند افزایش زمین‌های زیرکشت و به دنبال آن افزایش چاه‌های بهره-برداری و افزایش برداشت آب زیرزمینی می‌باشد که جهت مدیریت این منابع باید مدنظر قرار گیرد.

درنهایت نتایج نشان دهندهٔ قدرت مدل MODFLOW در مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح تراز آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف است.

References

Abbasnouvinpour, E., Karimi, F., & Rezaie, H. (2022). The Prediction of Groundwater Level in Ghorve Plain Using MODFLOW Model in Different Scenarios of LARS-WG Climate Change. *Water and Soil Science*, *32*(4), 61-73. [In Persian] https://doi.org/10.22034/ws.2021.30465.2197

Afruzi, A., & Zare Abyaneh, H. (2017). Groundwater Level Modeling and Forecasting Using the Time Series Models (Case Study: The Plains of Hamadan Province). *Journal of Watershed Management Research*. *8*(15), 102-111. [In Persian] https://doi.org/10.29252/jwmr.8.15.102

Akhoni Pourhosseini F., Asadi, E. (2017). Bayesian networks, Gamma Test, Groundwater level, Model Least Squares Support Vector Machine, Plain Ardebil. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*; 11 (36), 33-42. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1396.11.36.7.9

Ansari, M., Jabbari, I. & Sargordi, F. (2023). The Effect of Water Resources on Spatial and Temporal Change of Soil Salinity in Izdkhast Playa, Fars Province Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195(63), 1-15. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10678-5

Ansari,M. & Jabbari, I. (2023). Investigating spatial and temporal changes in the quality underground water sources in the Izadkhash basin .*Physical Geography Quarterly*, 15(60) ,1-16. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1402.16.60.3.2

Ansari, M., Jabbari, I., & Sargordi, F. (2021)a. Spatial Modelling of Water Quality Parameters Based on Geological Formations. *Hydrogeomorphology*, *8*(26), 117- 137. [In Persian] https:/ /doi.org/10.22034/hyd.2021.44081.1571

Ansari, M., Jabbari, I., & Sargordi, F. (2021)b. Use of Morphometric Indicators to Identify the Source of Salinity in Playa (Case Study Izadkhast Playa Fars Province). *Quantitative Geomorphological Research*, *10*(3), 134-156. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_141043.html

Atayizadeh, S., Chit Sazan, M. (2018). *Investigating the Impact of Drought on the Quantitative Reduction of Underground Water in Maidaoud Plain Using a Mathematical Model*. The second national conference on the effects of drought and its management solutions. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center and Isfahan Governorate's Unforeseen Events Headquarters. Isfahan. [In Persian]

Chidepudi, S.K.R., Massei, N., Massei, A., Henriot, A., Allier, D., Baulon, L. (2023). A Wavelet-Assisted Deep Learning Approach for Simulating Groundwater Levels Affected by Low-Frequency Variability. *Science of the Total Environment*. 865. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161035

Heydari, A., & Jabbari, I. (2022). Simulation of Marvdasht Groundwater Level and Investigation of Forecast Scenarios Using MODFLOW Mathematical Code. *Hydrogeomorphology*, *8*(29), 172-149. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1400.8.29.8.3

Jovanovic, N. Z., Israel, S., Tredoux, G., Soltau, L., Le Maitre, D., Rusinga, F., Rozanov, A., van der Merwe, N., (2009). Nitrogen dynamics in land cleared of alien vegetation (Acacia saligna)

and impacts on groundwater at Riverlands Nature Reserve (Western Cape, South Africa). *Water SA*, 35(1), 37-44. https://doi.org/10.4314/wsa.v35i1.76653

Kamali Ardakani, E., Bemani Kharanagh, A., Hayatzadeh, M., & Toshsi, G. (November, 2019). Investigation of modeling techniques in studies related to changes in underground water.The first international conference and the fourth national conference on protection of natural resources and environment. Mohaghegh Ardabili University, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardabil. [In Persian]

Katibeh, H., & Hafezi, S. (2005). Application of Modflow in Groundwater Management and Evaluation of Artificial Recharge Project of Ab-Barik Aquifer (Bam). *Journal of Water and Wastewater*, *15*(2), 45-58. [In Persian]

Knotters, M., & Bierkens, M. F. (2001). Predicting water Table Depths in Space and Time using a Regionalised Time Series Model. *Geoderma*, 103(1-2), 51–77. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00069-6

Kushwaha, R.K., Pandit, M.K., Goyal, T., (2009). MODFLOW Based Groundwater Resource Evaluation and Prediction in Mendha Sub-basin, NE Rajasthan, *Journal geological society of India*, 74, 449–458. https://doi.org/10.1007/s12594-009-0154-1

Mackay, J.D., Jackson, C.R. & Wang, L. (2014). A Lumped Conceptual Model to Simulate Groundwater Level Time-series. *Environmental Modelling & Software*, 61, 229-245. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.003

Masoumi, F., Najjar-Ghabel, S., & Safarzadeh, A. (2021). Automatic Calibration of Groundwater Simulation Model (MODFLOW) by Indeterministic SUFI-II Algorithm. *Amirkabir Journalof Civil Engineering*, *53*(4), 1507-1524.
https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16990.6426

McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. (1988). A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model. In: Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, *U.S. Geological Survey*, 588.
https://doi.org/10.3133/twri06A1

Mehl, S., Hill, M.C. (2010). Grid-size dependence of Cauchy boundary conditions used to simulate stream-aquifer interactions, Advances in Water Resources, 33(4), 430-442. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.01.008

Mirzaei. A., & Nazemi, A. (2011). Water Table Elevation Prediction in the Shabestar Plain Using the Artificial Intelligence Techniques. *Water Resources Engineering*, *4*(8), 1-10.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1390.4.8.1.7

Mondal, N. C., Singh. V. S. (2009). Mass transport modeling of an industrial belt using visual MODFLOW and MODPATH: A case study. *Journal of Geography and Regional Planning* 2(1), 001-019. https://doi.org/10.5897/JGRP.9000103

Pande, C.B., Moharir, K.N., Singh, S.K., Elbeltagi, A., Bao Pham, Q., Panneerselvam, B., Varade, A.M., Kouadri, S. (2022). Groundwater Flow Modeling in the Basaltic Hard Rock Area of Maharashtra, India. *Applied Water Science*, 12(12) 1-14. https://doi.org/10.1007/s13201-021-01525-y

Parameswari, K., Mudgal, B. V. (2015). Assessment of Contaminant Migration in an Unconfined Aquifer Around an Open Dumping Yard: Perungudi a Case Study. *Environmental Earth Sciences*,*74*(7),6111-6122. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4634-x

Patil, N.S., Chetan, N.L., Nataraja, M., Sutharb, S. (2020). Climate Change Scenarios and its Effect on Groundwater Level in the Hiranyakeshi Watershed. *Groundwater for Sustainable Development*, 10. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100323

Porhaghi, A., Akhondali, A., Radmanesh, F., & Mirzaee, S. (2014). Manage the Groundwater Sources Exploration of the Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling. *Irrigation Sciences and Engineering*, *37*(2), 71-82. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.2.7.7

Rahmawati, N., Vuillaume, J.F. & Purnama, I.L.S. (2013). Salt Intrusion in Coastal and Lowland Areas of Semarang City, *Journal of Hydrology*, 494, 146-159. https://doi.org/ 10.1016/j.jhydrol.2013.04.031

Rajabi, K., Nikbakht Shahbazi, A., Fathian, H., & Zohrabi, N. (2021). Izeh Plain Subsidence Modeling Using MODFLOW Mathematical Code, *Iran-Water Resources Research*, *16*(4), 112-126. https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1399.16.4.8.8

Rashvand, M., Li, J., Liu, Y. (2019). Coupled Stress-Dependent Groundwater Flow-Deformation Model to Predict Land Subsidence in Basins with Highly Compressible Deposits. *Hydrology***,** 6(3), 78. https://doi.org/10.3390/hydrology6030078

Rayne, T. W., Bradbury, K., Muldoon, M. (2001). Report: Delineation of Capture Zones for Municipal Wells in Fractured Dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA, *Hydrogeology Journal*, 9, 432–450. https://doi.org/10.1007/s100400100154

Shakoor, M., Khan, Z. M., Farid, H. U., Ahmad, F., Arshad, M., Qamar, U., Ahmad, R., & Sultan, M. (2018). Development of Groundwater Flow Model (MODFLOW) to Simulate the Escalating Groundwater Pumping in the Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 55(3), 635-644. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.4909

Shakya, C. M., Bhattacharjya, R. K., Dadhich, S. (2022). Groundwater Level Prediction with Machine Learning for the Vidisha District, a Semi-Arid Region of Central India, *Groundwater for Sustainable Development*, 19. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100825

Tao, H., Hameed, M.M., Marhoon, H.A., Zounemat-Kermani, M., Heddam, S., Kim, S., et al. (2022). Groundwater Level Prediction Using Machine Learning Models: A Comprehensive Review, *Neurocomputing*, 489, 271-308. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.03.014

Wang, S., Shao, J., Song, X., Zhang, Y., Huo, Z. & Zhou, X. (2008). Application of MODFLOW and geographical information system to groundwater flow simulation in North plain, China. *Environmental Geological*, 55, 1449-1462. https://doi.org/10.1007/s00254-007-1095-x

Yanxun, S., Yuan, F., Hui, Q., Xuedi, Zh. (2011). Research and Application of Groundwater Numerical Simulation-A Case Study in Balasu Water Source. *Procedia Environmental Sciences*, 8,146–152. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.024

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.186-209 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82684.1375 Open access

Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake)

Gholam Hassan Jafari*[a], Mobina Timaji[b]

[a] *Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran*

[b] *M.Sc. of Geomorphology, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran*

Received: 30 May 2023 ***Revised: 30 June 2023*** ***Accepted: 3 July 2023***

Abstract

The spatial identity plan and the effects that this component has in the analysis of the distribution patterns of natural and human phenomena and their arrangement have opened new horizons in the knowledge of geomorphology. The introduction of cognitive fields such as space arrangement and phenomenology and the creation of novel concepts in geomorphology has doubled the power of this knowledge. Such ability reveals the role of place in spatial behaviors and events. In this article, by relying on the drawing techniques of understanding, the relationship between the theoretical and epistemological foundations of the spatial identity of the lake is explained at a certain level and scale. For this purpose, we counted the geomorphic evidence and explored their role in the identification of Ovan Lake. Landslide occurs mainly due to the interaction of different vectors. The issue under discussion is how the vectors affecting the landslide that created Ovan Lake interact. To answer this question, in addition to field survey, 30-meter digital elevation model (DEM) data derived from SRTM sensor were used. All the data collected remotely were reprocessed and geometrically corrected by land data collection and GPS data then they were entered into Arc GIS and Global Mapper software, and we analyzed the lithology, climate and topography of the place. The results indicate that several factors have contributed to the formation of the Ovan landslide: 1- The material of rocks in the basin, 2- Temperate and semi-humid climate conditions of the basin, 3- Faults that cause different stones to collide and connect with each other, 4- Evidence of changes in the base level of shahroud and Jeneh River, 5- Existence of water under pressure (Artesian), 6- Change in thickness and cement of Andaj conglomerate in the vicinity of Ovan lake, 7- Change in topography and hydrology conditions locally, due to the occurrence of small landslides.

Keywords: Historical Landslide ,Spatial Identity , Digital Elevation Models - DEM, Lithological Analysis, Alborz- Iran, Lake Ovan

* .Corresponding author: Gholam Hassan Jafari Email: jafarihas@znu.ac.ir Tel: +989177519227

How to cite this Article: Jafari, H., & Timaji, M. (2024). Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake) **.** *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 186-209

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۰۹-۱۸۶ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.82684.1375 دسترسی آزاد

هویت مکانی خطر زمین‌لغزش در الموت شرقی (مطالعه موردی: دریاچه اُوان)

غلامحسن جعفری[1] - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

مینا تیماجی - کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ **دریافت: ۱۴۰۲/۳/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۴/۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۴/۱۲**

چکیده

طرح هویت مکانی و تأثیراتی که این مؤلفه در تحلیل الگوهای پراکندگی پدیده‌های طبیعی و انسانی و چیدمان آن‌ها دارد افق‌های تازه‌ای در دانش ژئومورفولوژی گشوده است. در این مقاله با اتکا به تکنیک‌های ترسیمی، ارتباط بنیان‌های نظری و معرفتی هویت مکانی دریاچه در سطح و مقیاس خاصی تبیین می‌گردد. به این منظور شواهد ژئومورفیک احصاءشده و نقش آن‌ها در هویت‌سازی دریاچه اُوان مورد کنکاش قرار می‌گیرد. زمین‌لغزش عمدتاً براثر تعامل بردارهای مختلف رخ می‌دهد. برای پاسخ‌گویی به این مسئله علاوه بر پیمایش میدانی، از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متری سنجنده SRTM، استفاده شد. داده‌های جمع آوری شده بعد از ارزیابی و تصحیح هندسی وارد نرم‌افزار Arc GIS و Global Mapper گردید و در ارتباط با لیتولوژی، اقلیم و توپوگرافی محل تجزیه‌وتحلیل گردید. نتایج دال براین است که در شکل‌گیری دریاچه اوان، تعامل چنین بردارهایی نقش داشته‌اند: ۱- لیتولوژی متفاوت حوضه، ۲- شرایط اقلیم معتدل و نیمه مرطوب، ۳- همجواری و اتصال لیتولوژی‌های مختلف براثر گسل، ٤- تغییر سطح‌اساس شاهرود و رود جنه، ٥- وجود آب تحت‌فشار (آرتزین)، ٦- تغییر ضخامت و سیمان کنگلومرای اندج در مجاورت دریاچه اُوان، ۷- تغییر شرایط توپوگرافی و هیدرولوژی به‌صورت محلی، بر اثر وقوع زمین‌لغزش‌های کوچک.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش تاریخی، هویت مکان ، مدلهای رقومی ارتفاعی ، تحلیل سنگ شناسی، البرز- ایران، دریاچه اوان

۱ . نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۷۵۱۹۲۲۷ Email: jafarihas@znu.ac.ir

مقدمه

طرح هویت مکانی و تأثیراتی که این مؤلفه در تحلیل الگوهای پراکندگی پدیده‌های طبیعی و انسانی و چیدمان آن‌ها دارد افق‌های تازه‌ای را در دانش ژئومورفولوژی گشوده است، افق‌های جدیدی که تعامل متقابل پدیده‌های مختلف را بیش‌ازپیش روشن می‌کند. شاید بتوان ادعا نمود، با ورود حوزه‌های معرفتی چون چیدمان فضا و پدیدارشناسی و خلق مفاهیم بدیع در ژئومورفولوژی، توانمندی این دانش را در تحلیل‌های پدیداری و ژئومورفیک دوصد چندان می‌کند. چنین توانمندی نه‌تنها تأکید مضاعفی بر درهم تنیدگی اجزاء و عناصر مختلف دارد، بلکه نقش مکان را در رفتارها و رخدادهای فضایی برملا می‌کند. حرکات توده‌ای ازجمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندند و مهم‌ترین آن‌ها زمین‌لغزش در اشکال مختلف است؛ زمین‌لغزش‌ها را می‌توان به‌عنوان حرکت توده‌ای از سنگ مواد واریزه‌ای و یا بخشی از زمین در جهت شیب دامنه تعریف کرد (Khodaei Geshlag, Roostaei, Mokhtari, & Valizadeh Kamran, 2021; Yar Ahmadi, & Roostaei, 2018). این پدیده طبیعی که از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد؛ سرعت عملکرد و اغلب وسعت دیدنی و فاجعه باری دارد و ممکن است ده‌ها و صدها هزار مترمکعب سنگ و خاک را یکجا تحت تأثیر قرار دهد (Entezari, Entezari, & Izadi, 2014; Ramezani & Ebrahimi, 2010; Refahi, 2003) و منجر به تخریب جاده‌های ارتباطی مراتع مناطق کوهستانی و ایجاد فرسایش و رسوب در آبخیزها گردد (Karimi Sengchini, Ong, & Saaduddin, 2016; Yavari Ramshe., & Ataei Ashtiani, & Najafi Jilani, 2009; Garaee, 2011) . این رخداد زمین‌شناسی عمدتاً بر اساس تلفیقی از فرآیندهای مختلف در مناطق با توپوگرافی کوهستانی و با لیتولوژی رسوبی رخ می‌دهد(Moghimi, Alavi Panah, & Jafari, 2008). متغیرهایی همچون شرایط مورفوتکتونیک هیدروژئولوژیکی، وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی، وضعیت آب‌وهوایی و هوازدگی تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر پایداری شیب و وقوع زمین‌لغزش اثر می‌گذارند(Roostaei & Ahmadzadeh, 2012). درنتیجه اثرگذاری عوامل مذبور، تعادل مواد موجود در دامنه‌ها برهم‌خورده و بلافاصله شروع به لغزش می‌کند (Kamranzad, Mohasel Afshar, Mojarab, & Memarian, 2016). در قرن بیستم بیشترین حادثه وقوع زمین‌لغزش، قاره آسیا گزارش‌شده است (۲۲۰ مورد) (Mokaram, & Shaygan, 2018).

(Knight, 1982) در بررسی هویت، قلمرو و دیدگاه‌های جغرافیایی در ارتباط با ناسیونالیسم و منطقه‌گرایی، با استفاده از روش پرسشنامه‌ای به این نتیجه رسید که «مشروعیت» یک هویت سرزمین، به مقیاس انتزاعی محقق بستگی دارد. مشکل اصلی در تعریف ملت نهفته است. در یک سطح از انتزاع، یک ملت، جنبه منطقه‌ای به خود می‌گیرد، درحالی‌که گروه‌های پراکنده (در مناطق مختلف) هویت یک ملت را تبیین می‌کنند.(Paasi, 1997) به

بررسی دیدگاه‌های جغرافیایی در مورد هویت ملی با استفاده از روش تحلیلی پرداخت و به این نتایج دست یافت که هویت ملی و ملی‌گرایی مقوله‌هایی زمینه‌ای و هم‌آزمایی هستند و رویکردی انتقادی را پیشنهاد می‌کنند و استدلال می‌شود که هویت‌های ملی به‌طور مستمر توسعه می‌یابند و تغییر می‌کنند، به‌طوری‌که هر نسل آن را اصلاح می‌کند. (Kang, 2009) در بازنگری نقش مکان‌های جغرافیایی در شکل‌گیری هویت، به این نتایج دست یافت که وجود اینترنت در شکل‌گیری هویت یک جامعه پر جمعیت و جوان، نقش اساسی دارد؛ این عامل، مرزهای داخلی و خارجی مکان را به چالش کشیده است؛ چراکه بر فرهنگ و دانش مکان‌های مختلف تأثیر ویژه‌ای می‌گذارد. (Masso, 2010) در بررسی جغرافیایی شکل‌گیری هویت، به این نتیجه رسید که هویت از منابع مختلف نشأت می‌گیرد. خلاقیت در مدیریت هویتی به جای فعالیت‌های فرهنگی، یک پیش‌نیاز مهم اجتماعی است. ترکیبی از هویت و فضای جغرافیایی مکان را شکل می‌دهند. Kashi, & Bonyadi, (2013) مدل هویت مکان، حس مکان و عناصر و ابعاد مختلف آن را با استفاده از روش اسنادی تبیین نموده و به این نتایج رسیدند که هویت مکان را می‌توان معادل با حس «مکانِ ما» دانست؛ هویت جنبه بخشیدنی به مکان را ندارد، بلکه طی زمان و فرآیندهای مختلف توسط انسان شکل می‌گیرد؛ البته ابتدا لازم است از طریق عوامل فیزیکی، فعالیت و معنا، به‌عنوان مؤلفه‌های تشکیل دهنده هویت، اقداماتی در راستای رسیدن به هویت مکان انجام شود. بدیعی ازنداهی و Badiee Azandahie, & Pooyande (2013) در بررسی پدیدارشناسی رابطه هویت و مکان در مقیاس‌های جغرافیایی به این نتایج دست یافتند که «مکان» مجموعه متنوعی از پیوندها و شبکه‌های ارتباطی و یا فرایندهای اجتماعی است که در مقیاس‌ها و فواصل گوناگون در جریان است و «هویت» پاسخی به نیاز طبیعی انسان، برای شناساندن خود، با یک سلسله عناصر و پدیده‌های فرهنگی، تاریخی و جغرافیایی است که تحت تأثیر همین فرایندها در مقیاس‌های گوناگون جغرافیایی شکل می‌گیرد. Ami Ahmadi & Mahmoudi, (2016) در بررسی جایگاه هویت مکانی در هویت معماری ایران، با استفاده از روش کتابخانه‌ای به این نتایج دست یافتند که با توجه به بحران هویت در زمان حال و به‌خصوص نمود آشکار آن در معماری امید است چنین پژوهش‌هایی بتواند در این زمینه راه گشا باشد و ابعاد تازه‌ای از هویت و جایگاه صحیح آن را در معماری معاصر ایران به نمایش بگذارد. سپهوند و رامشت (۱٤۰۱) با استفاده از روش پدیدارشناختی و اتکا به تحلیل چهار متن از نظریه‌های جغرافیایی، به بررسی هویت مکانی پرداختند و به این نتایج دست یافتند که هویت مکانی گاه سبب شکل‌گیری نظم خاصی در چشم‌اندازهای گوناگون محیطی به‌عنوان یک واحد متکثر به نام دستگاه جغرافیایی می‌شود و هویت مکانی یک ویژگی شناخت‌شناسی در قلمرو خُرد عاطفی انسان است. Anabestani & Moeini, (2021) به بررسی تأثیر هویت مکانی بر زیست‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی

پیراشهری کلانشهر مشهد پرداختند و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور به این نتایج دست یافتند که هرچه هویت مکانی زیست‌پذیری در بین روستاییان بالاتر می‌شود، متغیر تمایز به میزان صفر تا صد اثر مستقیم بر متغیر زیست‌پذیری دارد.

Van Westen, Seijmonsbergen, & Mantovani, (1999) در مقایسه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش با روش تجزیه‌وتحلیل آماری، به این نتایج رسیدند که ژئومورفولوژیستها می‌توانند معیارهای خطر را مشخص کنند(خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم) و بینشی بهتر برای قوانین تصمیم‌گیری در ارتباط با زمین‌لغزش ارائه نمایند. Lee, Ryu, Won, & Park, (2004) در بررسی خطر زمین‌لغزش از طریق سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به این نتایج رسیدند که شیب و جهت و انحنای توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل تشدید کننده دامنه‌ها در ایجاد لغزش هستند. یافته‌های Malamud, Turcotte, Guzzetti, Reichenbach, (2004) در بررسی زمین‌لغزش‌های جهان دال بر این است که یک لندفرم زمین‌لغزشی می‌تواند از یک رخداد یا حتی هزاران رخداد زمین‌لغزشی به وجود آمده باشد. Guzzetti, Reichenbach, Cardinali, Galli, & Ardizzone (2005) در ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عکس هوایی و تجزیه‌وتحلیل آماری، به این نتیجه رسیدند که یک مدل احتمال برای تعیین خطر زمین‌لغزش در مقیاس حوضه‌ای می‌تواند مفید باشد؛ این‌گونه مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند که زمین‌لغزش‌ها بیشتر در چه مکان‌هایی، با چه ابعاد و تعداد دفعاتی رخ می‌دهند. Valdés Carrera, Mendoza, Allende, & Macías (2021) در بررسی مروری مطالعات اخیر خطر زمین‌لغزش آمریکای لاتین در مقالات منتشرشده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ به این نکته اشاره نمودند که در تحقیقات زمین‌لغزش آمریکای لاتین لازم است از روش‌ها، ابزارها و تکنیک‌های جدید استفاده گردد. Panchal & Shrivastava, (2022) ضمن ارزیابی‌خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، به این نتیجه رسیدند که زمین‌لغزش تحت تأثیر تراکم گسل، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، رطوبت، توپوگرافی و فاصله از جاده ایجاد می‌شود. Shano, Raghuvanshi, & Meten, (2022) در بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کوه‌های گامو در جنوب اتیوپی، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، تجزیه‌وتحلیل آماری و GIS، به این نتایج دست‌یافتید که فاصله از گسل، آبراهه، منابع آب زیرزمینی، لیتولوژی و جهت بیش‌ترین سهم را در وقوع زمین‌لغزش دارند.

Memarian & Sayarpour, (2006) در بررسی و پهنه‌بندی نقش پارامتر شیب دامنه در بروز و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به این نتایج دست‌یافتید که دامنه‌های رو به شمال و شمال شرق بیشتر و دامنه‌های رو به غرب و جنوب غرب کمتر از متوسط تراکم سطحی دچار ناپایداری دامنه‌ای شده‌اند. یافته‌های Klarstaghi, Habibnejad, & Ahmadi, (2008) در بررسی وقوع زمین‌لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی حوضه آبخیز تجن، حاکی از آن است که بیشترین تراکم وقوع زمین‌لغزش، در فاصله ۷۵ متری از

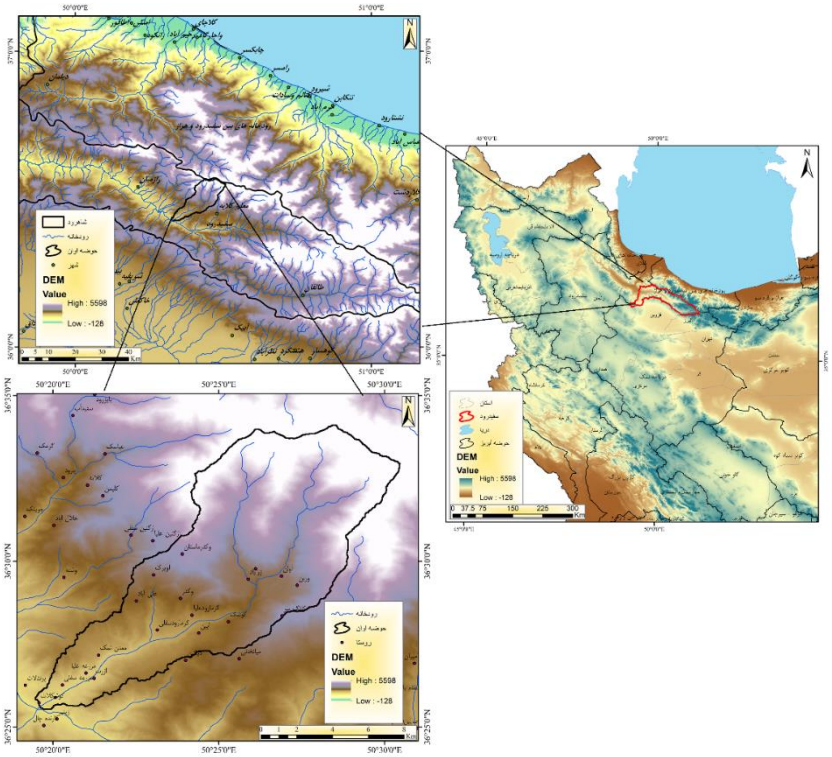
مرکز جاده رخ داده است. پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ایران توسط (Entezari, & Izadi, 2014) در مقیاس ملی و منطقه‌ای و محلی دال بر این است که با توجه به توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، زمینه وقوع طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها وجود دارد. Ghazanfari, Kave Ahangar, & Salavati, (2016) در بررسی ویژگی‌های بافتی نهشته‌ای با استفاده از ابزار چنگه نمونه‌گیر وان وین در کرانه‌ی جنوب خاوری دریاچه اُوان، به این نتایج دست‌یافتید که بیشتر نهشته‌های بستر دریاچه سیلت ماسه‌ای و گل با ۲ تا ۵ درصد ماده آلی است. Jamalabadi, Safari, Borabadi, & Al-Mohammad, (2021) در بررسی، شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش دهستان زاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی به این نتایج رسیدند که منطقه ازنظر پتانسیل لغزش در چهار رده طبقه‌بندی و میزان لغزش‌پذیری منطقه از خیلی زیاد، زیاد، متوسط تا کم متغیر است.

یکی از فرضیه‌های موجود در ارتباط با شکل‌گیری دریاچه اُوان وقوع زمین‌لغزش بر اثر زلزله است (Ehteshami-Moinabadi, & Nasiri, 2019). یکی از مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های این منطقه، زلزله ۲۰ آوریل ۱۶۰۸ الموت رود (۷/۶ ریشتر) بوده است (Berberian, & Walker, 2010). زمین‌لرزه پنج روستای شمال شرقی قزوین، معلم کلایه، شمس کلایه، استالابر و آناده را که بر روی ملاس نئوژن قرمز ساخته‌شده بودند، ویران کرد و ساکنان آن‌ها را از بین برد (۳۰۰۰ نفر) (Ambraseys & Melville, 1983; Berberian, & Walker, 2010). بااین‌حال، دریاچه آشکارا خیلی زودتر از زلزله ۱۶۰۸ شکل گرفته است. یکی دیگر از زمین‌لرزه‌های مهم قبلی، زلزله ۱۵ اوت ۱۴۸۵ تنکابن–شکوربوده (Ambraseys & Melville, 1983; Berberian, Jackson, Ghorashi, & Kadjar, 1984) که دریاچه‌ها در ناحیه میزوسیسمی آن قرار گرفته‌اند. زمین‌لرزه‌های مهم دیگری بر روی گسل طالقان در شرق (به‌عنوان‌مثال، Nazari, et al., 2009) یا در منطقه قزوین (به‌عنوان‌مثال، Berberian, Qorashi, Jackson, Priestley, & Wallace, 1992) این منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، اما ارتباط دادن زمین‌لغزش دریاچه به زلزله خاص بدون تاریخ‌گذاری مشکل است. هدف اصلی نویسندگان در این مقاله، پاسخ‌گویی به این سؤال است: دریاچه اوان چگونه به وجود آمده است؟ برای پاسخ‌گویی به آن، نویسندگان قبل از هر چیز، ذهن خود را از هرگونه پیش‌داوری خالی نمودند تا بتوانند به سؤال مطرح شده به‌صورت پدیدارشناسانه برخورد نمایند. با مراجعه مکرر و برنامه‌ریزی‌شده به منطقه و مشاهده لندفرم‌های موجود، به‌صورت انتزاعی و سلسله مراتبی، سعی گردید در راستای یافته‌های پژوهشگران قبلی، پاسخ دقیق‌تری به سؤال داده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه شاهرود ازجمله مناطقی است که به علت داشتن انواع لیتولوژی، شیب‌های دامنه‌ای نسبتاً تند، بارندگی و رطوبت فراوان مستعد زمین‌لغزش است. واحدهای زمین‌شناسی آن به علت فراوانی رسوبات مارن، شیل، سیلت و رس، در مقابل فرسایش و وقوع زمین‌لغزش بسیار حساس هستند. منطقه اُوان به‌عنوان یکی از مناطق توریستی و گردشگری به‌خصوص در فصول بهار، تابستان و اوایل پاییز، منطقه‌ای با پتانسیل زیاد در جذب گردشگر است؛ چراکه علاوه بر وجود دریاچه، دارای چشم‌اندازهای بی‌نظیری از کشاورزی سنتی (با محصولات متنوع)، پوشش گیاهان داروئی مختلف و مهم رودخانه‌های پر آب با تند آب‌ها و آبشارهای متعدد است (Mohibian, Ghazanfari, & Ahankar, 2011; Madi, Beh Afrid, Asadiha, & Tehranchi, 2014; Masso, 2010; Amir, 1379). آ (آب) + وان (مخزن) یعنی روستایی که به دلیل قرارگیری در کنار چشمه‌ها و دریاچه به‌عنوان مخزن آب معروف بوده است. دریاچه در یک چاله واقع‌شده که در شمال آن آثاری از یک لیتولوژی مقاوم آندزیتی، به‌صورت برجسته رخنمون دارد؛ همانند کتاب‌بازی که یک‌طرف آن چاله (آب) و طرف دیگر برآمدگی (خشکی) باشد. حوضه آبخیز اُوان، بخش کوچکی از حوضه آبخیز بزرگ سد سفیدرود است. در قسمت جنوبی دریاچه یک مسیل وجود دارد که در فصول پرآبی، با سرریز شدن دریاچه، آب‌های اضافی از دریاچه خارج می‌شود و برای کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد. دریاچه در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه، ۲۸ دقیقه، ۵۸ ثانیه شمالی و ۵۰ درجه، ۲۶ دقیقه، ۳۷ ثانیه شرقی و در ارتفاع ۱۸۱۱ متری از سطح دریا در حلقه چهار روستای، وربن، زواردشت و زرآباد و در ۷۵ کیلومتری شهر قزوین قرار دارد (شکل ۱). دریاچه اوان به شکل حفره‌ای است و عمق آن به‌طور متوسط ۵/۷ متر است و عمیق‌ترین قسمت آن تا ۲۰ متر نیز گزارش‌شده است. طول آن ۳۲۵ متر و عرض آن ۲۷۵ متر است و احتمالاً ۵۰۰ سال پیش براثر لغزش به وجود آمده است (Mohibian, Ghazanfari, & Ahankar, 2011). مساحت دریاچه بدون حاشیه مرطوب ۷ هکتار است و با احتساب حاشیه مرطوب آن از روی نقشه حدود ۹ هکتار است (Borji, & Naserul Mamar, 2016). مساحت واحد هیدرولوژیک منتهی به دریاچه ۵۲۱/۷۹ هکتار است و طول بلندترین آبراهه منتهی به دریاچه، در حدود ٤ کیلومتر، حداکثر ارتفاع آن ۲۷٤۱ متر است(Ashjari, 2020). در داخل منطقه دوشاخه مهم رودخانه اُوان و زرآباد به هم می‌رسند و رودخانه جنه را به وجود می‌آورند(Safari, et al., 2016).

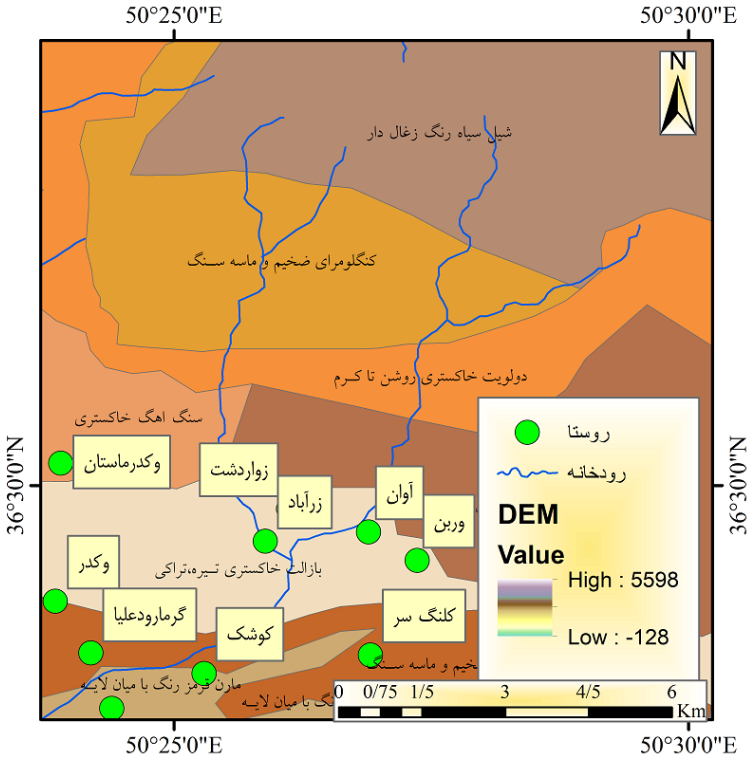


شکل ۱- موقعیت حوضه اوان در ایران و حوضه شاهرود

Fig.1. Location of the Ovan catchment in Iran and the Shahroud Basin

حوضه آبریز الموت-شاهرود در البرز مرکزی، با رودخانه‌هایی هم‌راستا با گسل‌ها یا چین‌خوردگی‌های منطقه است؛ امتداد گسل‌ها در دو راستای غالب شمال باختری و جنوب خاوری و باختری- خاوری است. سازوکار گسل‌ها روراندهٔ، نرمال، امتدادلغز و گسل‌های فرعی دیگر است (Pasban, Khodabakhsh, Garibreza, Kabiri, & Bahiraei, 2018). این منطقه در بخش جنوبی خط‌الرأس اصلی رشته‌کوه‌های البرز، سنگ‌ها و نهشته‌های وابسته به دوران نوزیستی زمین‌شناسی را شامل می‌شود که دربرگیرنده سازند کرج نهشته‌های میوسن و کواترنری است. سازند کرج (پالئوژن) ازلحاظ لیتولوژیکی شامل توالی به نسبت ستبری از توف‌های سبزرنگ، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتش‌فشانی و به‌ندرت تبخیری است (Mohibian, Ghazanfari, & Ahankar, 2011). مهم‌ترین سازندهای کربناته الموت سازندهای سلطانیه، روته، الیکا، لار و تیزکوه، است (Ghazanfari, Kave Ahangar, & Salavati, 2016) (شکل ۲). دولومیت خاکستری تیره با باندهای تیره چرت به‌عنوان سازند سلطانیه و مارن قرمزرنگ با بین لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا و گچ، شیل خاکستری متمایل به سبز دولومیت و ماسه‌سنگ به‌عنوان سازند باروت شناخته شده است. ستبرای کلی سازند سلطانیه، حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر است که به‌طور عمده توسط گسل‌های مختلف قطع و جابه‌جا شده‌اند که روی آن شیل‌های ارغوانی و ماسه‌سنگ‌های آرکوزی سازند زایگون قرار می‌گیرند. کنگلومرای ضخیم تا توده‌ای خاکستری‌رنگ با سخت شدگی خوب و قطعات کوچک و بزرگ ولکانیک با ترکیب‌های متفاوت و سیمان ولکانیکی با جور شدگی و

گرد شدگی ضعیف تا متوسط همراه با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا قرمز دانه‌ریز تا دانه‌متوسط است. ستبرای این کنگلومرای در اطراف حوضه تا حدود ۳۰۰ متر می‌رسد. گسله راندگی دیکین با درازای ۲۰ کیلومتر با روند شمال باختری- جنوب خاوری و گسل خشچال با طول تقریبی ۳۹ کیلومتر، باعث رانده شدن نهشته‌های سازند کامبرین زیرین باروت بر روی سازند تریاس میانی – ژوراسیک زیرین شمشک و در بخش‌هایی بر روی واحدهای پالئوزوئیک بالایی شده است (Asgari, Yassaghi, & Madanipour, 2015).



شکل ۲- نقشه لیتولوژیکی حوضه اوان (الف) و گسل‌های اطراف حوضه اوان (ب)

Fig.2. Lithological map of the Ovan catchment (a) and surrounding faults of the Ovan catchment(b)

روش انجام پژوهش

در این پژوهش، با خالی کردن ذهن، از هرگونه پیش‌داوری در مورد چگونگی شکل‌گیری دریاچه اوان، با مراجعه مستقیم به حوضه دریاچه در چندین نوبت و تجزیه‌وتحلیل توپوگرافی مناطق اطراف دریاچه، در ارتباط با حرکات دامنه‌ای، مراحل شکل‌گیری این دریاچه تجزیه‌وتحلیل گردید. پیمایش میدانی در دو جهت درون و برون حوضه انجام شد. در پیمایش برون حوضه‌ای، در امتداد کنگلومرای اندج، اثرگذاری عوامل بیرونی بر این نوع لیتولوژی ردیابی گردید. در پیمایش حوضه‌ای توجه بیشتر معطوف به چگونگی فرایندهای دامنه‌ای در لیتولوژی‌ها و ارتفاعات متفاوت بود. در مشاهدات و مطالعات میدانی مناطق بالادست دریاچه اوان، آثار

زمین‌لغزش‌های متعددی که گاه به‌صورت حوضه‌های بسته در آمده بودند مشاهده گردید؛ آن‌ها آثار آبگیری دوره‌های مرطوب سال را به‌صورت رسوبات ریزدانه در درون خود به میراث گذاشته‌اند. بر این اساس سعی گردید در چندین مرحله چگونگی وقوع زمین‌لغزشی که منجر به شکل‌گیری دریاچه اوان شده را مورد ارزیابی قرار داد. در این میان برای تأیید یافته‌ها از آمار توصیفی و شرایط اقلیمی نیز کمک گرفته شد: الف) در مشاهدات میدانی، تفاوت بسیار بارز زمین‌لغزش‌های حوضه مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس تفاوت‌های مکانی، آن‌ها در سه دسته طبقه‌بندی گردید: ۱- زمین‌لغزش‌های رودخانه‌ای؛ معمولاً رودخانه‌ها در حین حفر کانال اصلی خود دامنه مسلط ه خود را ناپایدار کرده و به‌مرورزمان، ناپایداری از آستانه تعادل محیطی خارج شده و منجر به حرکات توده‌ای مواد بالادست بستر خود می‌شود. ۲- زمین‌لغزش‌هایی دامنه‌ای که ازنظر ارتفاعی مسلط به زمین‌لغزش‌های رودخانه‌ای بودند و معمولاً در دامنه‌های کوهستانی دورتر از کانال آبراهه‌ها رخ‌داده‌اند. ۳- زمین‌لغزش‌های سیرکی - یخچالی هستند که در نواحی مرتفع‌تر دیده شدند. برای تشخیص و تفکیک زمین‌لغزش‌ها، با مشاهده نمونه‌های متعددی از آن‌ها در میدان و بررسی وضعیت انعکاس آن‌ها در نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و DEM، به کمک آن‌ها، تمامی زمین‌لغزش‌های حوضه اوان شناسایی و تفکیک گردید. داده‌های زمین‌لغزش جمع‌آوری‌شده از این طریق، با برداشت صحرایی و داده‌های GPS موردبازنگری و تصحیح هندسی قرار گرفت و نوع زمین‌لغزش، مطابق با سیستم مختصات برداشت شده در منطقه، مشخص و وارد نرم‌افزار Arc GIS و Global Mapper گردید. ب) علاوه بر پیمایش میدانی از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM30) متری مربوط به سنجنده SRTM، لایه لیتولوژی و داده‌های اقلیمی (دما و بارش) جهت تأیید یافته‌های میدانی و از آمار توصیفی برای تحلیل آماری آن‌ها استفاده گردید. ۱- انواع زمین‌لغزش‌ها با توجه به نوع لیتولوژی مربوط استخراج و ارزیابی گردید. ۲- با مقایسه مساحت زمین‌لغزش‌های دامنه‌ای با مساحت نزدیک‌ترین زمین‌لغزش به خط‌الرأس، آن‌ها در دو گروه کاهشی و افزایشی تقسیم گردید؛ زمین‌لغزش رودخانه‌ای در این گروه‌بندی قرار نگرفتند. ۳- تراکم زمین‌لغزش با استفاده از رابطه (۱)، درصد تراکم زمین‌لغزش با استفاده از رابطه (۲) و درصد تراکم نسبت به زمین‌لغزش کل حوضه با استفاده از رابطه (۳) به تفکیک لیتولوژی برآورد و تجزیه‌وتحلیل گردید.

رابطه (۱)
$$\boldsymbol{Dls = \frac{n}{Ali}}$$

رابطه (۲)
$$\%Dls = \frac{Als}{Ali}$$

رابطه (۳)
$$Lsb = \frac{Nlb}{\sum Slb}\%$$

DIS: تراکم زمین‌لغزش برحسب N .(Km2): تعداد زمین‌لغزش. Ali: مساحت لیتولوژی برحسب Dls .(Km2): درصد تراکم زمین‌لغزش.Als: مساحت مربوط به هرکدام از زمین‌لغزش‌ها. Ali: مساحت

لیتولوژی برحسب Lsb .(Km2): درصد تراکم نسبت به زمین‌لغزش کل حوضه. Nli: تعداد زمین‌لغزش واقع در هر لیتولوژی. ∑Slb: تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوضه.

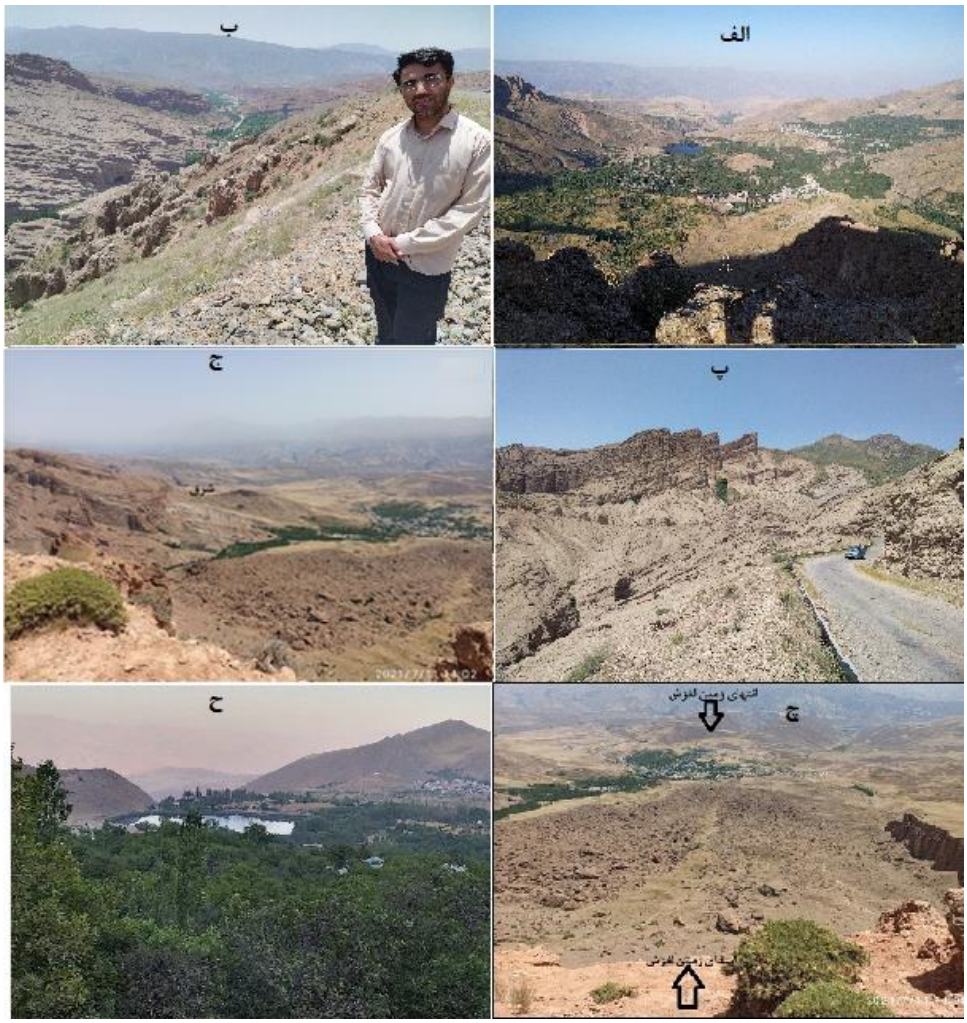
ج) در پایان با استناد به موارد فوق و با توجه به موقعیت خاص دریاچه اوان از نظر لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی، چگونگی شکل‌گیری آن تبیین گردید. در این مرحله با انسجام فکری که از وضعیت موجود فراهم شده بود، دریاچه اوان، از یک طرف به‌عنوان یک زمین‌لغزش در راستای زمین‌لغزش‌های دیگر و از طرف دیگر با توجه به موقعیت منحصربه‌فردی که دارد، مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

کنگلومرای اندج در حدود ۱۵ کیلومتر، در امتداد شرقی- غربی، بین شیل، شیل ژیپس دار، گل‌سنگ ژیپس دار و شیل سیلتی باکمی ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک (واحد سبز و قصرقند) در جنوب و بازالت و آندزیت با بافت حفره‌ای در شمال و باضخامت نزدیک به ۱۰۰۰ متر، در مسیر اندج –اُوان رخنمون دارد. وضعیت قرارگیری لایه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی دره‌های رودخانه‌ای، دال بر تحمیل رود (پسینه رود) بودن رودخانه‌ها در این نوع لیتولوژی است. شروع رخنمون کنگلومرا از شرق روستای اندج است و رودخانه اندج به‌صورت عمود آن را قطع می‌کند (شکل ۳. ب). این بخش ضخیم‌ترین و مقاوم‌ترین قسمت کنگلومرا است؛ به‌گونه‌ای که رودخانه، در این بخش دره‌ای به عمق ۸٤۲ متر حفر نموده و منجر به شکل‌گیری تافونی‌های زیبا و بی‌نظیری در صخره‌ها شده که تحت عنوان صخره‌های اندج می‌تواند در جذب توریست نقش مهمی داشته باشد. در ۵۰۰ متری غرب این صخره‌ها، کنگلومرا به‌صورت مرتفع و قائم، بستر مساعدی برای صخره‌نوردی فراهم نموده است (شکل ۳. پ).

شرایط محیطی متفاوت حوضه معلم کلایه نسبت به حوضه اندج باعث شکل‌گیری چشم‌انداز متفاوت‌تری در کنگلومرا شده است (وسعت کمتر حوضه آبخیز، کم ارتفاع‌تر بودن منطقه مسلط به کنگلومرا، سیمان سست‌تر کنگلومرا، وجود زمین‌لغزش‌های کوچک و متعدد در شیل رسی مسلط به کنگلومرا). تخریب بیشتر کنگلومرا بخش معلم کلایه و نقش کمتر کربنات‌ها در سیمانه شدن آن، شرایط شکل‌گیری صخره‌های لانه‌زنبوری را فراهم ننموده و دره V شکل بازتری در کنگلومرا ایجاد شده است (شکل ۳. ج)؛ در عوض شرایط برای زمین‌لغزش بزرگ فراهم شده است؛ براثر وقوع زمین‌لغزش وسیع با ابعاد چندین هکتار (Khodaie & Jafari, 2022; Rajabi Rezaei Moghadam & Takzare 2022; Beheshti Rad, Feiznia, Selajegeh, & Ahmadi, 2009) گسیختگی‌ای در کنگلومرای معلم کلایه با رخنمون قائم با حداکثر ارتفاع ۲۰۰ متر ایجاد شده است که بلوکه‌های کنگلومرایی ناشی از آن در بخش وسیعی از منطقه قابل‌رؤیت است (شکل ۳. چ). فرسایش‌پذیری شدید رسوبات مارنی غالب در لیتولوژی پایین‌دست کنگلومرا، رخنمون این نوع لیتولوژی را در سینوزیته کوهستان حوضه‌ها به دنبال داشته است. رخنمون گسترده آن‌ها در حوضه معلم کلایه، شرایط را برای ایجاد ترک‌های عمودی در سطح کنگلومرا و نفوذ آب به درون آن شده و وقوع گسیختگی بزرگ‌تر فراهم کرده است.

در حوضه اوان هم ضخامت کنگلومرای اندج کم می‌شود و هم سیمان آن سست‌تر می‌گردد و از طرفی این نوع لیتولوژی بر اثر دخالت گسل در مرز غربی حوضه اُوان محدود می‌شود (شکل ۳. ح). در این مکان نه اثری از صخره‌های مشبک اندج دیده می‌شود و نه همانند معلم کلایه، در کنگلومرا رخنمون قائم به وجود آمده است و به‌احتمال‌قوی زمین‌لغزش بزرگی نیز در کنگلومرا رخ نداده است که در تخلیه مواد چاله اوان نقش داشته باشد.



شکل ۳- دریاچه اوان و تپه قرینه آن. الف. عبور رودخانه اندج از کنگلومرا و ایجاد تنگ و صخره‌های اندج. ب. کنگلومرا تخریب شده و صخره‌ای در نزدیکی اندج. پ. وضعیت خروج رودخانه از کنگلومرا در حوضه معلم کلایه در غرب حوضه. ج. زمین‌لغزش معلم کلایه. چ. وضعیت خروجی رودخانه از کنگلومرا. ح.

Fig.3. Ovan Lake and its adjacent hill. a. The passage of the Andaj River through conglomerate and the formation of the Andaj gorge and cliffs. b. Weathered conglomerate and cliff near Andaj. c. The condition of the river's exit from the conglomerate in the Moa'lam Kelaye basin in the western part of the basin. d. Landslide in Moa'lam Kelaye. e. The condition of the catchment outlet from the conglomerate.

برای بررسی وضعیت زمین‌لغزش مؤثر در شکل‌گیری دریاچه اُوان، از دو پارامتر آب و هوایی و لیتولوژی استفاده شده است. به‌طورکلی آب‌وهوای منطقه در بخش‌های مرتفع و کوهستانی الموت، در فصل زمستان سرد و در تابستان نسبتاً معتدل است (Arasti, 2019). برای بررسی وضعیت اقلیمی حوضه، با استفاده از رابطه (٤) (Hedayati, & Kakavand, 2012)، داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی اطراف حوضه به لایه سطحی تبدیل گردید.

$$T = -0.004H + 19.54$$ رابطه (٤)

T: دما، H: ارتفاع، ۱۹/۵٤: عرض از مبدأ. با اعمال رابطه (۱) در لایه ارتفاع منطقه نقشه هم‌دمای منطقه استخراج گردید (شکل ٤. الف). بر این اساس، متوسط سالانه دمای حوضه ۸/٦۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط سالانه حداقل دما ۲/۲۵۱ درجه سانتی‌گراد، در مرتفع‌ترین قسمت حوضه (قله خشچال) و متوسط سالانه بالاترین دما حداکثر ۱٤/۹۸ درجه سانتی‌گراد، در محل اتصال رودخانه به شاهرود در رجائی دشت برآورد گردید. برای بررسی بارش حوضه، با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه‌های باران‌سنجی به حوضه (باغکلایه، یارفی، خسرود و محمد آباد الموت) با طول دوره آماری ۲۵ ساله، رابطه (۵) برآورد گردید (P: بارش، H: ارتفاع) و با اعمال این رابطه در DEM منطقه، لایه‌ی هم بارش حوضه استخراج شد (شکل ٤. ب). متوسط درازمدت بارش حوضه ٦٤۲/۹۷ میلی‌متر برآورد گردیده است. بر این اساس اکثر بارش‌های سطوح مرتفع که امکان دریافت بارش بیشتر و دمای کمتر دارند، به‌صورت جامد (برف) است و امکان وقوع زمین‌لغزش بیشتری دارند؛ ولی با توجه به مورفولوژی و توپوگرافی حوضه و بر اساس مشاهدات میدانی، چنین استنباط می‌گردد که غلبه حرکات دامنه‌ای در نواحی مرتفع با حرکات ریزشی و در ارتفاعات متوسط حوضه با زمین‌لغزش است.

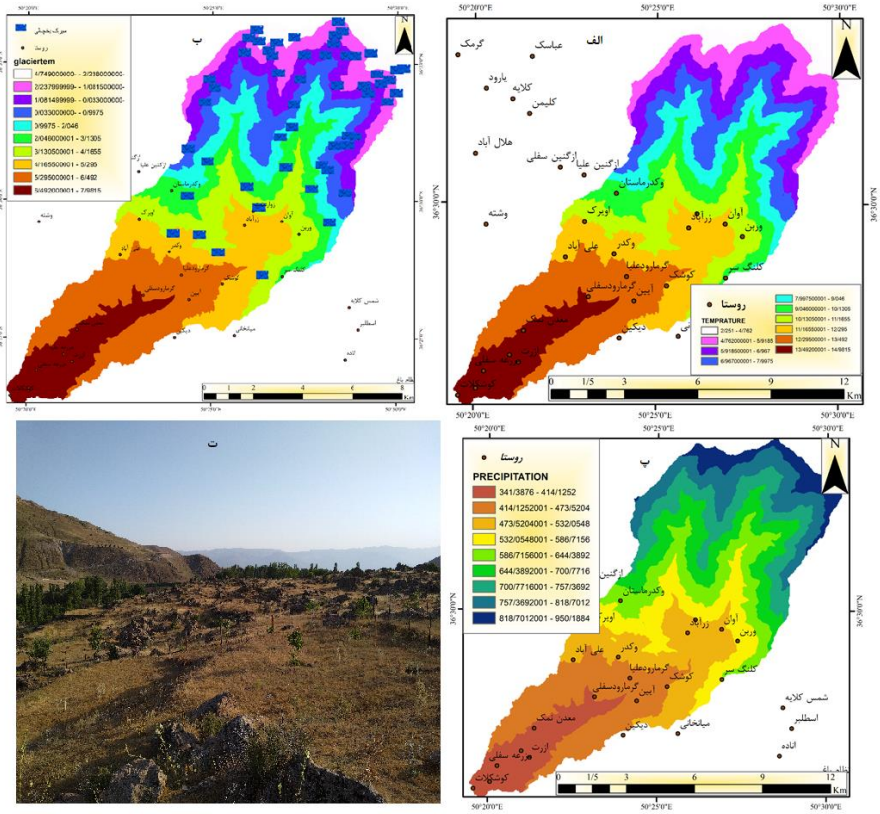
$$P = 0.215H + 123.39$$ رابطه(۵)

هرچند در شرایطی کنونی تشکیل یخچال در حوضه میسر نیست ولی احتمال وجود آن در دوره‌های سرد کواترنری که شرایط دمایی نسبت به امروز ۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر بوده(Jadari, 2012) بسیار زیاد است؛ به‌منظور بررسی وضعیت دمایی کواتذنری آثار سیرک یخچالی حوضه شناسایی شد. در محیط‌هایی مثل حوضه که در شرایط کنونی حرکات دامنه‌ای بسیار زیاد رخ داده است، فرم اولیه اکثر سیرک‌ها را برهم خورده است. همچنین تغییر سطح اساس رودخانه‌های حوضه براثر حفر بستر شاهرود و پایین افتادن سطح اساس آن، منجر به فرسایش قهقرایی در سرشاخه‌های شاهرود و ازجمله رودخانه جنه شده و در مجموع شرایط را برای چندنگارگی یا پالمسیست فراهم کرده‌اند. اشکال سطحی که ظاهر آن‌ها آشکارا و به‌آرامی در طول زمان تغییر می‌کند و دربرگیرنده مواریث اقلیمی مختلف و عملکرد فرایندهای کنونی هستند را پالیمسست می‌نامند (Ghasemnezhad, & Hosseinzadeh, 2014). در حوضه بعد از عقب‌نشینی یخچال‌های کواترنری و گرم شدن محیط فرایندهای رودخانه‌ای و حرکات دامنه‌ای، در فرم سیرک‌های یخچالی، جانشین یخچال شده‌اند.

مقدار تغییر فرم سیرک‌های یخچالی با افزایش ارتفاع کم‌تر شده است به‌گونه‌ای که می‌توان در قسمت‌های نزدیک به قله خشچال سیرک‌هایی با تغییرات بسیار جزئی شناسایی نمود که فرم اولیه‌ی خود را حفظ کرده‌اند؛ این‌گونه زمین‌لغزش‌ها در وسعت، طول دامنه و شیب دیواره با زمین‌لغزش‌های پایین‌تر از ارتفاع برف مرز دائمی تفاوت دارند و بافاصله گرفتن از خط‌الرأس وسعت آن‌ها افزایش می‌یابد. بافاصله گرفتن از قلل اصلی حوضه نقش فرایندهای دیگر در داخل زمین‌لغزش‌ها بیشتر از یخچال می‌شود؛ از نواحی مرتفع حوضه به سمت نواحی پست می‌توان سیرک، سیرک – زمین‌لغزش، زمین‌لغزش – سیرک و زمین‌لغزش را به‌خوبی از هم تفکیک نمود.

برای برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری از روش رایت استفاده شد؛ در این روش، ارتفاعی که ٦٠٪ از سیرک‌های یخچالی بالاتر از آن قرار دارد به‌عنوان ارتفاع برف مرز دائمی شناخته می‌شود (Ahmadabadi, & fatholah Zadeh, 2018). بر اساس لندفرم‌های سیرکی حوضه اُوان، ارتفاع برف مرز دائمی در دوره سرد کواترنری ۲۷۸٤/٥ متر برآورد گردید. بسیاری از فرم‌های زمین‌لغزشی بالاتر از این ارتفاع، کانتکست سیرک یخچالی داشته‌اند. با توجه به رابطه ارتفاع با دما، دمای این ارتفاع (۷/۰۱ درجه سانتی‌گراد) را از عدد عرض از مبدأ (۱۹/٥٤) رابطه (۱) کسر نموده و با اعمال رابطه جدید در DEM، شرایط دمایی دوران سرد کواترنری بازسازی گردید(شکل ٤. پ). از لایه بازسازی‌شده چنین برمی‌آید که دمای ٥ درجه سانتی‌گراد گذشته، به‌عنوان ارتفاع خط تعادل آب و یخ کواترنری (Ramesht & Babajamali, 20121: 62) با دمای ۱۲ درجه کنونی انطباق دارد؛ درنتیجه زبانه‌های یخچال می‌توانسته تا ارتفاع ١٦٧٥ متر پیش روی داشته باشد و با توجه به ارتفاع دریاچه(۱۸۰۰ متری) درصورتی‌که دره‌های یخچالی از توپوگرافی غیر از توپوگرافی کنونی تبعیت نموده باشند، امکان داشته در اطراف دریاچه یک شیت یخی وسیع شکل گرفته باشد. پراکندگی بلوکه‌های سنگی، موقعیت ارتفاع برف مرز دائمی حوضه(۲۷۸٤ متر) و شناسایی آثار کم ارتفاع‌ترین سیرک حوضه (۲٥٦۰ متر) در ارتفاعی پایین‌تر از ارتفاع دریاچه (۱۸۱۰)، باعث طرح فرضیه سیرک بودن محل کنونی دریاچه در دوره‌های سرد شده است (Ramesht & Babajamali, 20121: 60). البته یکی از ویژگی مورن‌های سرگردان (بلوکه‌های سنگی)، متفاوت بودن جنس آن‌ها با سنگ‌های منطقه است (جباری، ۱۳۹٦: ۲۷٥) (شکل ٤. ت)درصورتی‌که جنس بلوکه‌های سنگی مسلط به دریاچه اُوان با آندزیت‌های بستر سنگی خود انطباق دارند. بررسی لیتولوژیکی حوضه دال بر این است که ۲٥/۷ ٪ زمین‌لغزش در سازند آواری پایینی،۱۸/٦ ٪ در آهک، ۱۷/۸٪ در سازند الیکا، ۱۳/٦ ٪ در سازند مبارک، ۹/٥ ٪ در بازالت خاکستری تیره، ٥/۱ ٪ در کنگلومرای ضخیم و ٤/۰۱ ٪ در سازند روته رخ داده است. بررسی مساحت زمین‌لغزش در لیتولوژی‌های مختلف نیز حاکی از آن است که بیش‌ترین مساحت زمین‌لغزش در سازند آواری پایینی(Km^2 ٥/۱٥۳)، سنگ‌آهک و آهک ماسه‌ای(Km^2 ٤/۲۰۷) و در سازند الیکا (Km^2 ۳/۱۲۱) بوده است. بهترین شاخص برای ارزیابی زمین‌لغزش در لیتولوژی‌های

مختلف، نسبت مساحت زمین‌لغزش به نسبت مساحت تفکیک شده لیتولوژی ها است که بیشترین نسبت در سازند الیکا، سازند مبارک، سازند روته و مارن قرمزرنگ بامیان لایه‌ای از ماسه‌سنگ و کنگلومرا بود (شکل ٤. الف).

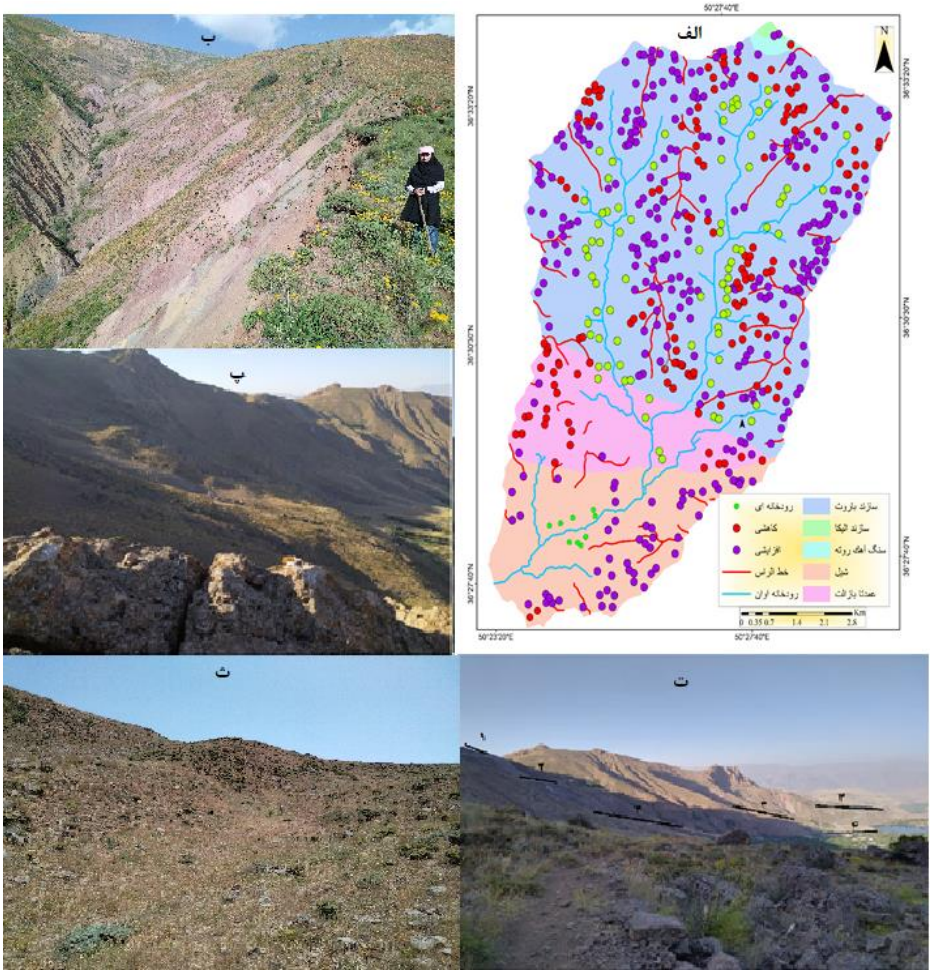


شکل ٤- نقشه هم دمای حوضه در شرایط کنونی. الف. نقشه هم دمای کواترنری حوضه با محل سیرک‌های شناسایی شده. ب. نقشه هم بارش حوضه در شرایط کنونی. پ. بلوکه‌های سنگی باقی مانده از زمین‌لغزش بزرگ شمال اوان. ت.

Fig.4. Current isotherm map of the catchment. a. Quaternary isotherm map of tcatchment with the location of identified cirques. b. Current precipitation map of the catchment c. Rock blocks remaining from the major landslide north of ovan.

یکی از فرضیات وقوع زمین‌لغزش منجر به شکل‌گیری دریاچه، فراهم شدن بستر زمین‌لغزش‌های بزرگ بر اثر وقوع زمین‌لغزش‌های کوچک در مناطق مرتفع‌تر است. برای آزمون این ویژگی در درجه اول زمین‌لغزش‌های اطراف رودخانه که وسعت آن‌ها به تخریب آب جاری در پای دامنه بستگی داشت از زمین‌لغزش‌های دامنه‌ای تفکیک گردید؛ سپس سایر زمین‌لغزش‌ها بر اساس تغییر وسعتشان نسبت به وسعت زمین‌لغزش‌های هم‌جوار از خط‌الرأس‌ها، در گروه افزایشی و کاهشی تفکیک شدند و با توجه به لیتولوژی که در آن واقع‌شده بودند، استخراج و تجزیه‌وتحلیل گردید (شکل ٥. الف، ب، پ و ث). علی‌رغم افزایش وسعت بسیاری از زمین‌لغزش‌ها، تغییرات وسعت آن‌ها را نمی‌توان بافاصله گرفتن از خط‌الرأس در روند خطی ارزیابی نمود ولی

تفکیک و برآورد مساحت زمین‌لغزش‌های افزایشی، کاهشی و رودخانه‌ای، در لیتولوژیهای مختلف، دال بر این است که وسعت بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در لیتولوژی شیل (۷۰٪)، دولومیت (۴۷٪)، بازالت و آندزیت (۱۵٪) روند افزایشی داشته است. در مورد زمین‌لغزش‌های کاهشی باید گفت که نه‌تنها لیتولوژی بازالت و آندزیت بیشترین زمین‌لغزش‌های کاهشی را به خود اختصاص داده است (۵۳٪)؛ بلکه در این لیتولوژی غلبه با زمین‌لغزش‌های کاهشی است؛ یعنی وسعت زمین‌لغزش‌ها در این نوع لیتولوژی بافاصله گرفتن از خط‌الرأس، کاهش می‌یابد. بعد از لیتولوژی بازالت و آندزیت بیشترین نوع زمین‌لغزش کاهشی ابتدا در دولومیت (۲۰٪) و سپس در شیل رخ‌داده است. ۳۳٪ از مجموع زمین‌لغزش‌های رودخانه‌ای در لیتولوژی دولومیت، ۳۲٪ در بازالت و آندزیت و ۲۹٪ در شیل واقع‌شده‌اند.



شکل ۵- انواع زمین‌لغزش‌ها در حوضه. افزایشی و کاهشی. الف. تغییر زمین‌لغزش دامنه‌ای (سمت راست) به رودخانه‌ای (سمت چپ) ب. انعکاس زمین‌لغزش دامنه‌ای (سطوح پلکانی متعدد در مرکز عکس) پ. سطوح زمین‌لغزش در شرق دریاچه اوان (چهار سطح متداخل زمین‌لغزشی شناسایی شد) ت. زمین‌لغزش نزدیک خط‌الرأس ث.

Fig.5. Types of landslides in the catchment. Increasing and decreasing. a. Change of a slope landslide (right side) to a riverine landslide (left side). b. Reflection of a slope

landslide (multiple terraced surfaces in the center of the photo). c. Landslide surfaces in the east of Ovan Lake (four interleaved landslide surfaces identified). d. Landslide near the ridge line.

بررسی کلی وسعت زمین‌لغزش‌های افزایشی، کاهشی و رودخانه‌ای بیان‌کننده این موضوع است که ٤٦٪ از وسعت کل زمین‌لغزش‌ها بافاصله گرفتن از خط‌الرأس افزایش داشته است؛ ۳۲/۵٪ از کل زمین‌لغزش‌ها در مجاورت رودخانه‌ها رخ‌داده‌اند و فقط ۲۰/۸٪ از زمین‌لغزش‌ها وضعیت کاهشی داشته‌اند. وضعیت کاهش مساحت در زمین‌لغزش‌های درون لیتولوژی شیلی به حداقل خود رسیده به‌گونه‌ای که فقط یک مورد از بین ۷۸ زمین‌لغزش این لیتولوژی روند کاهشی داشته است و ٥٤ مورد آن روند افزایشی داشته است. بررسی مساحت زمین‌لغزش رخ‌داده در وسعت هر لیتولوژی دال بر این است که ۵۱/۷٪ (۹/٦ Km^2) از مساحت کل زمین‌لغزش‌ها(۱۸/۸۱ Km^2) شرایط افزایشی، ۳۳/۵۵٪ از مساحت زمین‌لغزش‌ها شرایط رودخانه‌ای و فقط ۱۵٪/۳۸ از مساحت زمین‌لغزش‌ها روند کاهشی داشته‌اند. زمین‌لغزش‌های رودخانه‌ای در لیتولوژی شیل با آندزیت و بازالت وضعیتی یکسان دارند؛ درصورتی‌که شرایط برای زمین‌لغزش‌های افزایشی در لیتولوژی شیل و زمین‌لغزش‌های کاهشی در بازالت و آندزیت مساعدتر است (جدول ۱).

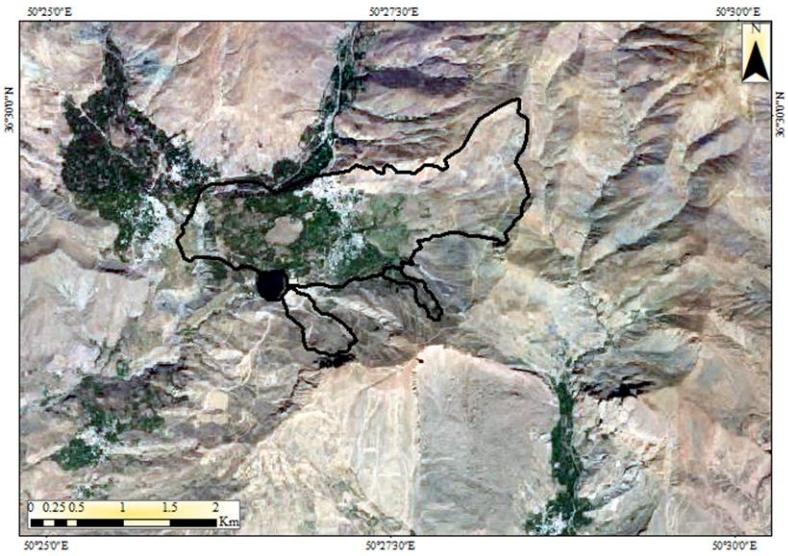
جدول ۱- توزیع زمین‌لغزش در لیتولوژی‌های مختلف در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰

Table1- Distribution of landslides in different lithologies on 1:100,000 geological maps

لیتولوژی و مساحت برحسب ٪ و Km^2		نوع زمین‌لغزش	مساحت	تعداد	تراکم زمین‌لغزش در Km^2	تراکم زمین‌لغزش٪	تعداد زمین‌لغزش٪	تراکم زمین‌لغزش نسبت به‌کل حوضه٪	مساحت زمین‌لغزش٪
دولومیت	۷٤٨٥ (٪٦٨)	افزایشی	۷/۰۷۸	۲۵۵	٤/۵۱	۱۲/۵۳	٤۷	٪۸۱	٪۷۸
		کاهشی	۲/۲۹	۱۱۳	۲/۰۰۰	٤	۲۰		
		رودخانه‌ای	۱/۹۲٦	۱۸۲	۳/۲۲	۲٦	۳۳		
		کل	۱۱/۲۹٦	۵۵۰	۹/۷۳	٤۲/۵۳	۱۰۰		
شیل	٤٤/۵۱(۵/۷٪)	افزایشی	۱/٦۰۳	٥٤	۳/٤۹	۱۰/۳	۷۰	٪۱۱	٪۱٤
		کاهشی	۰/۰٤۷	۱	۰/۰٦٤	۰/۳	۱		
		رودخانه‌ای	۰/۳۱۲	۲۳	۱/٤۹	٦	۲۹		
		کل	۱/۹۷	۷۸	۵/۰٤٤	۱٦/٦	۱۰۰		
بازالت و آندزیت	۱۰/۵۷ (٪۱۲/۷)	افزایشی	۰/۳۱۵	۸	۰/۷۵	۲/۹	۱۵	٪۷	٪۷/۵
		کاهشی	۰/۵۵۵	۲۸	۲/٦٤	۵/۲	۵۳		
		رودخانه‌ای	۰/۲۰۷	۱۷	۱/٦۰	۱۳	۳۲		
		کل	۱/۰۷۷	۵۳	۵/۰۱	۲۱/۱	۱۰۰		

سازند الیکا	٦/١٦ (٪٠/٢)	افزایشی	٠/٠٦١	١	٦/٢٥	٣٨/١	١٠٠	٪٠/١	٪٠/٤
		کل	٠/٠٦١	١	٦/٢٥	٣٨/١	١٠٠		

(Ehteshami-Moinabadi, & Nasiri, 2019) در ارتباط با محل دریاچه، چهار لغزش بزرگ شناسایی کرده‌اند؛ عمق متوسط بزرگ‌ترین آن‌ها، ۵۰ متر و مساحت ۳۸۰ هکتار برآورد شده است. دو زمین‌لغزش کوچک با مساحت ۷ و ۲۳ هکتار و عمق کم در اولین زمین‌لغزش شناسایی کرده‌اند (شکل ٦). لغزش چهارم با مساحت ۲۵ هکتار به‌طور کامل در درون اولین زمین‌لغزش شکل‌گرفته است. بر اساس گفته غواصان تا عمق ۱۸ متری دریاچه می‌توان غواصی کرد؛ از آن به بعد آب با فشار رسوبات ماسه‌ای را به سمت بالا هدایت می‌کند و غواصی را به قسمت‌های عمیق‌تر با مشکل مواجه می‌کند؛ بر این اساس می‌توان چنین نتیجه گرفت که قبل از وقوع زمین‌لغزشی که باعث ایجاد دریاچه شده این آب در درون زمین وجود داشته است؛ درواقع شرایط لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی، آب را تحت‌فشار قرار داده و براثر این فشار، آب به سمت بالا هدایت می‌شود؛ چنین وضعیتی از زمان تثبیت ساختار زمین‌شناسی منطقه وجود داشته است. قبل از وقوع زمین‌لغزش‌ها، آب دریاچه از درون زمین به داخل لایه‌ها نفوذ کرده و با هوازدگی آن‌ها از درون، زمینه تخریب کنگلومرا و تخلیه مواد را فراهم نموده است.



شکل ٦- نقشه زمین‌لغزش‌های تهیه شده در نزدیکی منطقه به‌وسیله (Ehteshami-Moinabadi, & Nasiri, 2019)

Fig.6. Landslide map prepared in the surrounding area by Ehteshami-Moinabadi & Nasiri (2019)

در سطوح ارضی اطراف دریاچه می‌توان آثار زمین‌لغزش‌های متداخل و چند دوره‌ای را ردیابی نمود؛ آثار آن‌ها به‌صورت تراس‌های توپوگرافیکی در اطراف دریاچه قابل‌ردیابی است (شکل ۵. ت). همان‌طور که از اشکال

برمی‌آید سه سطح زمین‌لغزش در اطراف دریاچه مشخص شده است که با مطالعات Ehteshami-Moinabadi, & Nasiri, 2019 انطباق دارد.

نتیجه‌گیری

شناسایی و احاطه محقق بر پدیده موردنظر، در چگونگی پدیدار شدن آن اهمیت بسیار زیاد دارد. در بررسی مسائل مربوط به زمین‌لغزش حوضه اوان و شکل‌گیری دریاچه، توجه به چند مورد حائز اهمیت است: ۱- گاه اثر لیتولوژی بر زمین‌لغزش فقط به‌صورت تنهایی مدنظر قرار می‌گیرد؛ اما آنچه اهمیت لیتولوژی را در ایجاد حرکات دامنه‌ای از انواع مختلف و بخصوص زمین‌لغزش تشدید می‌نماید، مساعد بودن لیتولوژی برای جذب آب و حرکات دامنه‌ای است. نفوذ آب در میان لایه‌های مثل شیل، شیل ژیپس دار، گل‌سنگ ژیپس دار شیل سیلتی تاکمی ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک، در درون سنگ‌های آهکی یا دولومیتی، در مجاورت توده‌های بازالتی و آندزیتی، شرایط هیدرولوژی را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کند. حرکات دامنه‌ای از نوع لغزش، در چنین شرایطی، باعث ایجاد حوضچه‌های بسته شده است که آب در آن‌ها جمع شده و بانفوذ در بین لایه‌ها، شرایط را برای جا به جایی مواد در بزرگ‌تر، در پایین‌دست فراهم می‌نمایند. چنین تحولی در حوضه اوان باعث تخلیه رسوبات حساس در مقابل فرسایش و برجسته شدن آندزیتهای شمال دریاچه شده است. در یک جابه‌جایی ناگهانی، مواد آندزیتی به‌صورت بلوکه‌های بزرگ ریزش داشته‌اند. ضخامت کنگلومرای اندج (به‌طور نسبی ۱۰۰۰ متر)، در جنوب دریاچه، بانفوذ توده مارن قرمزرنگ بامیان لایه ماسه‌سنگ، به حداقل ممکن می‌رسد (٤۳۵ متر)؛ و با سیمان سست‌تر، زمینه را برای هوازدگی و انتقال مواد هوازده فراهم کرده است. ۲- شرایط اقلیم معتدل و نیمه مرطوب حوضه، با بارش‌های قابل‌توجه، آب موردنیاز را برای نفوذ در بین لایه‌ها و فراهم کردن شرایط لغزشی، نقش مهمی داشته است. ۳- گسل مساعدترین لیتولوژی برای زمین‌لغزش (واحد سبز و قصرقند) را در مجاورت لیتولوژی مقاوم (سازند فجر) در مقابل زمین‌لغزش قرار داده است و وقوع زمین‌لغزش در محل برخورد و اتصال دولایه شرایط تشکیل دریاچه را فراهم کرده است. ٤- رودخانه حوضه اوان (جنه) در رجایی دشت به رود شاهرود می‌ریزد. تغییر سطح اساس شاهرود، به شکل دره‌هایی با عمق بیش از ٤۰۰ متر را ایجاد نموده و شرایط فرسایش قهقرایی را فراهم کرده است. فرسایش قهقرایی منجر به عقب‌نشینی سریع رودخانه‌ها تا جبهه کوهستان با لیتولوژی مقاوم شده و با تخلیه پایه سنگ‌های مقاوم، شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش در آن‌ها فراهم کرده است. ٤- در عمق ۱۸ متری دریاچه آب با فشار زیاد و رسوبات ماسه‌ای فراوانی به طرف سطح رانده می‌شود. شرایط لیتولوژیکی، قبل از وقوع زمین‌لغزش نیز آب را تحت‌فشار قرار می‌داده است؛ یکی از عوامل تسهیل‌کننده زمین‌لغزش، آب تحت‌فشاری بوده شرایط را برای رخ داد سولی فولیکسیون یا روانی گلی فراهم کرده است. سطح پیزومتری آب‌های زیرزمینی، با فراهم نمودن شرایط وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد، نقش اساسی در شکل‌گیری دریاچه اُوان بازی کرده است. ۵- وجود زمین‌لغزش‌های

افزایشی در حوضه، دال بر این است که با وقوع زمین‌لغزش‌های کوچک و متعدد، زمینه برای زمین‌لغزش بزرگی همانند آنچه(Ehteshami-Moinabadi, & Nasiri, (2019 گزارش داده‌اند، فراهم شده و دریاچه اُوان شکل گرفته باشد. حضور دریاچه در پایین‌دست زمین‌لغزش‌های متعدد بیان‌کننده اثرگذاری چندین زمین‌لغزش در موفولوژی کنونی دریاچه اُوان و سطوح ارضی اطراف آن است. هرچند وجود بلوکه‌های سنگی متعددی در اطراف دریاچه، ارتفاع برف مرز دائمی حوضه در ارتفاع ۲۷۸٤ متر و شناسایی آثار سیرکی در ارتفاع ۲٥٦۰، می‌تواند تشکیل دریاچه را طبق یافته‌های Ramesht & Babajamali (2021)، به پیشروی یخچال‌های کواترنری، مرتبط سازد؛ ولی نتایج این مقاله نشان می‌دهد شکل‌گیری دریاچه به عوامل دیگری غیر از یخچال در ارتباط است و دریاچه بعد از عقب‌نشینی یخچال‌ها و در دوره‌های اخیر شکل گرفته است و حتی شکل‌گیری آن می‌تواند مستقل از زمین‌لرزه نیز باشد.

References

Ahmadabadi, A., & fatholah Zadeh, M. (2018). Investigating the Changes of Snow Line in Oshtorankuh Region from Late Quaternary to now. *Quantitative Geomorphological Research*, *7*(1), 180-192. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.7.1.12.6

Ambraseys, N.N., & Melville C.P. (1983). Seismicity of Yemen. *Nature*, *303*, 321-323. https://doi.org/10.1038/303321a0

Ami Ahmadi, M., & Mahmoudi, A. (2016). The Place of Identity in Contemporary Iranian Architecture. Paper presented at the Third Annual Conference on Architecture, Urban Planning and Urban Management Research (Iran), Shiraz. [In Persian] https://en.civilica.com/doc/650925/

Amir, P. (1379). God of Alamut (Zabihullah Mansouri, Trans). Tehran: Duniya Danesh.

Anabestani, A., & Moeini, A. (2021). The Effect of Place Identity on the Livability of Peri-Urban Villages of Mashhad Metropolis. *Geographical Planning of Space*, *11*(39), 69-90. [In Persian] https://doi.org/10.30488/gps.2019.183416.3038

Arasti, A. R. (2019) *Evaluation of the ecological potential of the watershed of the Shahroud River, Alamut District, Qazvin Province, for the development of the medicinal plants of Borage Flower and Badranjbouye, considering the limitation of water resources, and using the Analytic Hierarchy Process (AHP)*, Ali Khahe Asl, M. Master's degree, Payam Noor University, Tehran, Department of Agriculture. [In Persian] https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/ae587497888cbc1ca47710e280e70eed?sample=1

Asgari, G., Yassaghi, A., & Madanipour, S. (2015). Structural Geomerty of Moallem Kelayeh Inlier; An Evidence of Inversion Tectonic and Dextral Transpression in West Central Alborz Range. *Journal of Tectonics*, 1, 2-19. [In Persian] https://tectonics.birjand.ac.ir/article_1021.html

Ashjari, J., Kakavand, E., Malek Abbaslu, E., Shihgar, M., Amjadian, M.R., & Bamani Ahmedabad, M. (2020, February). Hydraulic Interaction of Underground Water and Lakes in Mountainous Areas, (A Case Study of Ovan Lake in Alamut Region of Qazvin Province). Paper presented at the 18th conference of Iran Hydraulic Conference (Iran), Teheran(pp.1-9). [In Persian] https://en.civilica.com/doc/998907/

Badiee Azandahie, M., & Pooyandeh, M. H. (2013). Phenomonology and the Relationship between Identity and Place in the Geographical Scales. *Journal of Human Geography*, 5(2), 1-19. [In Persian] https://sid.ir/paper/177091/en

Beheshti Rad, M., Feiznia, S., Selajegeh, A., & Ahmadi, H. (2009), Investigating Applicability of Certainty Factor Landslide Hazard Zonation Model, (A Case Study Moalemkalaye Watershed). *Journal of Physical Geography*, 2(5), 19-28. [In Persian] https://sid.ir/paper/185094/en

Berberian M, Jackson, J A, Ghorashi M, & Kadjar M H. (1984). Field and Teleseismic Observations of the 1981 Golbaf–Sirch Earthquakes in SE Iran. *Geophysical Journal International*, 77(3), 809-838. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb02223.x

Berberian, M., Qorashi, M. Jackson, J. A., Priestley, K. & Wallace, T. (1992). The Rudbar-Tarom Earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: Preliminary Field and Seismological Observations, and its Tectonic Significance. *Bulletin of the Seismological Society of America*; 82 (4), 1726–1755. https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/82/4/1726/119642/

Berberian M., & Walker, R. (2010). The Rudbār M w 7.3 Earthquake of 1990 June 20; Seismotectonics, Coseismic and Geomorphic Displacements, and Historic Earthquakes of the Western 'High-Alborz', Iran. *Geophysical Journal International*, 182(3),1577-1602. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04705.x

Borji, S., & Naserul Mamar, K. (2016, December). Investigating the Capabilities of Ecotourism in the Ovan Lake Basin Using Environment-Based Architecture. Paper presented at the 5th International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architectural & Urban Development, singapore (pp.318-333). [In Persian] https://www.sid.ir/paper/870954/fa

Ehteshami-Moinabadi, M, & Nasiri, S. (2019). Geometrical and Structural Setting of Landslide Dams of the Central Alborz: A Link Between Earthquakes and Landslide Damming. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 69-88. https://doi.org/10.1007/s10064-017-1021-8

Entezari, M., Entezari, M., & Izadi, Z. (2014). Assessment of Landslide Zonation by Binary Statistical Method. *Geography and Environmental Planning*, *24*(4), 205-226. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1392.24.4.16.7

Garaee, P. (2011). Determining the Most Appropriate Method of Landslide Risk Zoning in Vastan-Sari Watershed. *Researches in Earth Sciences*, *2*(2), 93-114. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088299.1390.2.2.1.9

Ghasemnezhad, M., & Hosseinzadeh, S. (2014). Ibn Sina and uniformitarianism. *Geography and Environmental Planning*, *25*(3), 43-62. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1393.25.3.5.1

Ghazanfari, P., Kave Ahangar, S., & Salavati, Z. (2016, February). Identifying the Textural Characteristics of Ovan Lake Deposits, North East of the Earth. Paper presented at the First International Conference and the Third National Quaternary Conference with the Slogan (Environmental Awareness, Future Along the Past) (Iran), Tehran. [In Persian] https://civilica.com/doc/757334

Guzzetti F, Reichenbach P, Cardinali M, Galli M, & Ardizzone F. (2005). Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale. *Geomorphology*, 72, 272-299. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002

Hedayati, A., & Kakavand, R. (2012). Climatic Zoning of Qazvin Province. *Nivar*, 36(76-77), 59-66. [In Persian] https://nivar.irimo.ir/article_13201.html

Jabari, I. (2016). *Geomorphology of Building, Process and Landforms*. Teheran: Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Samt), Humanities Research and Development Institute. [In Persian]

Jadari, A. (2012). *Geomorphology of Iran*. Tehran: Printing and Publishing Center of Payam Noor University. [In Persian]

Jamalabadi, J., Safari, F., Borabadi, A., & Al-Mohammad, M. (2021). Identification and Zoning of Susceptible Area of Landslide in the Javroud Rural District. *Emergency Management*, *10*(2), 47-55. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23453915.1400.10.2.4.6

Kamranzad, F., Mohasel Afshar, E., Mojarab, M., & Memarian, H. (2016). Landslide Hazard Zonation in Tehran Province Using Data-Driven and AHP Methods. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, *25*(97), 101-114. [In Persian] https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41372

Kang, T. (2009). Homeland Re-Territorialized: Revisiting the Role of Geographical Places in the Formation of Diasporic Identity in the Digital Age. *Information, communication & society*, 12(3), 326-343. https://doi.org/10.1080/13691180802635448

Karimi Sengchini, I., Ong, M., & Saaduddin, A. (2016). Landslide Hazard Management for Two Normal and Critical Scenarios in the Chehel - Chay Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Resarch*. *7*(13), 181-173. [In Persian] https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.181 (2011). -

Kashi, H., & Bonyadi, N. (2013). Stating the Model of Identity of Place-Sense of Place and Surveying its Constituents (Case Study: Pedestrian Passage of Shahre Rey). *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, *18*(3), 43-52. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jfaup.2013.51317

Khodaie R., & Jafari, G.H. (2022). Morphometry and Reconstruction of the Moallem-Kalaye Landslide. *Journal of Natural Environment Hazards*, 12(35), 59-78. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/1146073/en

Khodaei Geshlag, L., Roostaei, S., Mokhtari, D., & Valizadeh Kamran, K. (2021). Application of the Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR) in Monitoring and Evaluating Landslides (Case Study: Ahar-Varzeghan Region). *Journal of Geography and Planning*, *25*(75), 113-126 [In Persian] https://doi.org/10.22034/gp.2021.10847

Klarstaghi, A., Habibnejad, M., & Ahmadi, H. (2008). A Study of Landslide Occurrence in Relation to Land Use Changes and Road Construction Case Study Tadjan Watershed, Sari. *Geographical Research Quarterly*, *40*(1), 81-91. [In Persian] https://jrg.ut.ac.ir/article_19191.html?lang=en

Knight, D. B. (1982). Identity and Territory: Geographical Perspectives on Nationalism and Regionalism. Annals of the Association of American Geographers, 72(4), 514-531. https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1982.tb01842.x

Lee, S., Ryu, J.H, Won, J.S, & Park, H.J. (2004). Determination and Application of the Weights for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial Neural Network. *Engineering Geology*, *71*,289-302. https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00142-X

Madi, H., Beh Afrid, A. B., Asadiha, A., & Tehranchi, N. (2014, February). Locating and Organizing Tourism Service Centers in the Ovan Lake Basin with a Sustainable Development Approach. Paper presented at the Urban Planning and Sustainable Development, the First National Conference on Geography, Urban Planning and Sustainable DevelopmenT (Iran), Tehran (pp. 1-13). [In Persian] https://civilica.com/doc/265732

Malamud B D, Turcotte D L, Guzzetti F, Reichenbach, P. (2004). Landslide Inventories and their Statistical Properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6),687-711. https://doi.org/10.1002/esp.1064

Masso, A. (2010). Geographical Perspective on Identity Construction: Identification Strategies of Russian Youth in Estonia. *International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, *5*(6), 51-62. https://doi.org/10.18848/1833-1882/CGP/v05i06/51763

Memarian, H., & Sayarpour, M. (2006). Errors Introduced by Slope Gradient in Landslide Hazard Zonation Mapping. Journal of Faculty of Engineering (University of Tehran), 40(1 (95), 105-113. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/14546/en

Mogimi, I. (1385). Wind Dynamics and System Based on Compression and Erosion Patterns in Lot Pain. *Desert*, 11(1), 177-186. https://sid.ir/paper/5286/fa

- Moghimi, E., Alavi Panah, K., & Jafari, T. (2008). Evaluation and Zonation of Effective Factors on Landslide Occurrence of Aladagh Northern Slopes. *Physical Geography Research*, *40*(64), 53-75. [In Persian] https://jphgr.ut.ac.ir/article_26906.html?lang=en

Mohibian, Sh., Ghazanfari, P., & Ahankar, A. (2011, November). Lake Evan Geotourism. Paper presented at the 5th National Geological Conference of Payam Noor University (Iran). Zanjan - Abhar(pp.1-6). [In Persian] https://civilica.com/doc/194008

Mokaram, M., & Shaygan, Mehran (2018). Landslide risk assessment and its relationship to the type of landform in the GIS. *Quantitative Geomorphological Research*, *6*(4), 17-31. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.6.4.2.9

Monavari, M., Shariat, M., Dashti, S., & Sabzghabaei, G.R. (2009). Environmental Potential Evaluation of Zakherd Watershed for Urban Development Through GIS [Special Issue]. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1), 199-208. [In Persian] https://sid.ir/paper/87128/en

Mousapour M Y. (2018). Rethinking of the Ornament in rural house (Case study: Ovan village in Qazvin). *Journal of Housing and Rural Environment*. *37*(162), 3-20. https://doi.org/10.22034/37.162.3

Nazari, H., Ritz, J.F., Salamati, R., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, J.L. & Ghorashi, M. (2009). Morphological and Palaeoseismological Analysis Along the Taleghan Fault (Central Alborz, Iran). *Geophysical Journal International*, *178*,1028-1041. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04173.x

Panchal, S, & Shrivastava, A.K. (2022). Landslide Hazard Assessment Using Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study of National Highway 5 in India. *Ain Shams Engineering Journal*, 13,101626. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.021

Pasban, E., Khodabakhsh, S., Garibreza, M., Kabiri, S., & Bahiraei, N. (2018). A Quantitative Study on Channel-Bed Changes of the Alamut and Shahrud Rivers (N Qazvin) in 1981-2015 Period Times. *Scientific Semiannual Journal Sedimentary Facies*, *11*(1), 15-34. [In Persian] https://doi.org/10.22067/sed.facies.v11i1.64450

Paasi, A. (1997). Geographical Perspectives on Finnish National Identity. *GeoJournal*, 43, 41-50. https://doi.org/10.1023/A:1006885503314

Rajabi M, Rezaei Moghadam M H, & Takzare A. (2022). Quantitative Analysis of Landslide Risk and Its Zoning in Alamut River Basin Using Logistic Regression Method. *Journal of Geographic Space*, 22(77), 1-14. [In Persian] http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3407-en.html

Ramesht, M.H. & Babajamali, F. (2021). *Iran's Analytic Geomorphology*. Tehran: Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Samt). [In Persian]

Ramezani, B., & Ebrahimi, H. (2010). Landslide and its Stabilization. *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh)*, 2(7), 129-139. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/130428/en

Refahi, H. (2003). *Water Erosion and Its Control* (4th ed). Tehran: Publishing and Printing Institute of Tehran University. [In Persian]

Roostaei Sh. , & Ahmadzadeh, H. (2012). Landslide Hazard Zonation in the Tabriz-Marand Road Using RS and GIS. *Quantitative Geomorphological Researches*, 1(1). [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1391.1.1.4.6

Safari, S., Askaripour, N., Roshan Ara, S., Adavodi, R., Taheripour, N., & Bayat Dashlibron, F. (December, 2016). An Analysis of Environmental Characteristics of Avan Negin Abi Lake, Qazvin Plain. Paper Pesented at the 15th Iranian Hydraulics Conference(Iran), Qazvin, 1-8. [In Persian] https://en.civilica.com/l/7007/

Sepahvand, S., & Ramesht, M. H. (2022). Space Identity and Psychosomatic. *Geography and Development*, *20*(69), 1-15. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2022.7268

Shano, L., Raghuvanshi, T.K., & Meten, M. (2022). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*, 4, 83-101. https://doi.org/10.1007/s10706-021-01873-1

Valdés Carrera A.C., Mendoza M.E., Allende, T.C., & Macías J.L. (2021). A Review of Recent Studies on Landslide Hazard in Latin America. *Physical Geography*, 44(3), 243-286. https://doi.org/10.1080/02723646.2021.1978372

Van Westen, C. J., Seijmonsbergen, A. C., & Mantovani, F. (1999). Comparing landslide hazard maps. *Natural hazards*, *20*(2), 137-158. https://doi.org/10.1023/A:1008036810401

Yar Ahmadi, J., & Roostaei, S. (2018). *Quantitative Geomorphological Research*, *2*(2), 119-133. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1392.2.2.6.7

Yavari Ramshe., S., & Ataei Ashtiani, B., & Najafi Jilani, A. (2009). Numerical Simulation of Impulsive Wave Caused by Landslides at Maku Dam Reservoir. Journal of Civil Engineering Islamic Azad University, 1(3), 10-20. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/199460/fa

Vol.13, No2, Summer 2024, pp.210-239 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83917.1404 Open access

Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province

Morteza Akbari*[a], Mahboobeh Sarbazi[b], Ali Sibevei[c], Somayeh Fadaie[d]

[a] *Associate Professor in Desertification, Desert and Arid Zones Management Department, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran*
[b] *PhD in Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*
[c] *Assistant Professor in Department of Agricultural Economics, University of Torbat Heydarieh, Iran*
[d] *PhD Candidate in Industrial Management, Department of Management,Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 13 August 2023 ***Revised: 30 August 2023*** ***Accepted: 10 September 2023***

Abstract

Desertification is the greatest environmental challenge that serious threats to food security and biodiversity. This research was conducted with the aim of evaluating the risk of desertification and providing management plans using the DPSIR-M conceptual model in Khorasan Razavi province and in 4 steps. These steps include; - Collecting data and preparing basic maps, - Choosing a model to prepare a desertification intensity map, - Assessing the risk of desertification and finally, providing management plans based on the conceptual approach of DPSIR-M. The results showed that more than 30% of the study area are located in the relatively critical to severe desertification class. In terms of fragility, about 59% of the areas of Khorasan Razavi province are in relatively fragile to very fragile environmental conditions, and about 7% have the potential of fragility. The results of the desertification risk map showed that more than 98% of the regions are in the high and very high desertification risk class, and only 2% of the areas are in the moderate to very low classes. This issue can be a serious warning of the land degradation for the officials and executives of Khorasan Razavi province. Therefore, based on the intensity and risk maps of desertification and using the DPSIR-M model, six policies and 46 strategies and action plans were proposed for optimal land management. The proposed programs are in the form of preventive, corrective and rehabilitation programs. Therefore, it is suggested that the results obtained from this research be used by managers and experts of executive departments.

Keywords: Desertification, DPSIR-M model, Land degradation, Soil erosion, Land management, Desertification risk

*. Corresponding author: Morteza Akbari Email: m-akbari@um.ac.ir Tel:+989155183055

How to cite this Article: Akbari, M., Sarbazi, M., Sibevei, A., & Fadaei, S. (2022). Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 210-239.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۳۹-۲۱۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83917.1404 دسترسی آزاد

ارزیابی خطر بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی

مرتضی اکبری[1]- دانشیار بیابان زدایی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محبوبه سربازی- دکترای بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

علی سیبویه- استادیار دانشکده اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

سمیه فدایی- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی،دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۵/۲۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۶/۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۶/۱۹

چکیده

بیابان‌زایی بزرگ‌ترین چالش محیطزیستی است که امنیت غذایی و تنوع زیستی را تهدید می‌کند. هدف این پژوهش ارزیابی شدت و خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی و ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل مفهومی DPSIR-M است؛ بنابراین، در ابتدا نقشه حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با مدل جهانی ESAs به دست آمد و سپس با استفاده از مدل ریسک، نقشه خطر بیابان‌زایی تعیین شد. نتایج نشان داد بیش از ۳۰ درصد از منطقه موردمطالعه در کلاس بیابان‌زایی نسبتاً بحرانی تا شدید قرار دارد. از نظر شکنندگی، حدود ۵۹ درصد از مناطق استان خراسان رضوی در شرایط محیطی نسبتاً شکننده تا بسیار شکننده قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی هستند که در صورت بدتر شدن وضعیت از نظر شرایط محیطی، این میزان به کلاس شکننده اضافه خواهد شد. نتایج نقشه خطر بیابان‌زایی بیانگر آن است که بیش از ۹۸ درصد مساحت منطقه موردمطالعه در کلاس خطر بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد قرار داشته و تنها ۲ درصد از مناطق در کلاس متوسط تا خیلی کم قرار دارند. بر اساس نقشه‌های شدت و خطر بیابان‌زایی و با استفاده از مدل DPSIR-M، ٦ سیاست و ٤٦ استراتژی و برنامه عملیاتی برای مدیریت بهینه اراضی استان خراسان رضوی پیشنهاد شد. همچنین پیشنهاد می‌شود نتایج به دست آمده از این پژوهش مورداستفاده مدیران و کارشناسان ادارات اجرایی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بیابان‌زایی، مدل DPSIR-M ، تخریب سرزمین، فرسایش خاک، مدیریت اراضی، خطر بیابان‌زایی

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۱۸۳۰۵۵ Email:m-akbari@um.ac.ir

مقدمه

بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، گسترش شدت تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، امنیت غذایی و محیط‌زیست را با مشکلات زیاد و تهدید جدی روبرو ساخته است. به‌نحوی‌که پیش‌بینی می‌شود در ۲۵ سال آینده به میزان ۱۲ درصد از تولید محصولات غذایی در جهان کاسته شود (UNCCD, 2020). از سوی دیگر تا سال ۲۰۳۰، نیز روندهای جهانی همچون پویایی جمعیت، افزایش تقاضا برای مصرف انرژی، غذا و آب، فشار قابل‌ملاحظه‌ای را بر منابع طبیعی تحمیل خواهد نمود که نتیجه آن تخریب شدید اراضی است(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018; 2021). در حال حاضر، گزارش‌های رسمی بیانگر آن است که بیش از دو میلیارد هکتار از اراضی که قبلاً توان تولیدی داشته‌اند، تخریب شده و بیش از ۷۰ درصد اکوسیستم‌های طبیعی دگرگون شده‌اند. تا سال ۲۰۵۰ نیز این میزان تخریب می‌تواند به ۹۰ درصد برسد (FAO, 2020). کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل به دلیل اهمیت موضوع، بیابان‌زایی را تخریب سرزمین در اراضی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب توسط عوامل مختلف اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تعریف نموده است (United Nations Conference on Environment and Developmen, 1992). به‌طوری‌که امروزه، بیابان‌زایی به‌عنوان یک مخاطره محیطی به همراه سایر مخاطرات همچون تغییر اقلیم موجب آواره شدن بیش از ۱۷ میلیون نفر انسان از خانه‌های خود شده است. بر اساس تخمین بانک جهانی، اقتصاد جهانی سالانه ۵۲۰ میلیارد دلار را به دلیل وقوع مخاطرات محیطی از دست می‌دهد (UNCCD, 2020).

عوامل زیادی ازجمله؛ استمرار خشک‌سالی، تغییر پارامترهای اقلیمی، فرسایش خاک، تخریب پوشش‌گیاهی، جنگل‌زدایی، تغییر کاربری اراضی، معدن‌کاوی، رشد جمعیت، بهره‌برداری بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی، فرونشست زمین و غیره در شدت تخریب سرزمین و گسترش بیابان‌زایی نقش دارند (Akbari, Jarari shalamzari, Gholami, Memarian 2020; Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, & Noughani, 2020; Akbari, et al., 2020; Jiang et al., 2019; Bastas & Abdelrahim, 2019). در حال حاضر، برای ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی، مدل‌ها، معیارها و شاخص‌های متعددی وجود دارند. برای مثال می‌توان به مدل‌های جهانی FAO-UNEP, [1]ESAs, LADA[2] و روش ترکمنستان اشاره نمود (Salvati & Bajocco, 2011; Baartman, Van Lynden, Reed, Ritsema, & Hessel, 2007; Kairis, Karavitis, Salvati, Kounalaki, & Kosmas, 2015). به‌طوری‌که، نتایج این ارزیابی‌ها می‌تواند راهنمای مفیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیران برای مدیریت مخاطرات باشد.

1 - Sensitivity Areas Assessment of Desertification, ESAs
2 - Land Degradation Assessment in Drylands, LADA

مدیریت خطر[1] (ریسک)، بر اساس تحلیل عدم قطعیت‌ها و یک رویکرد سیستماتیک برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری محیطی است (Akbari, 2016; Ammann, 2016). مدیریت خطر، فرآیند پیچیده‌ای است که مدیران را قادر می‌سازد تا استراتژی‌های خاصی مانند؛ اقدامات کنترلی برای کاهش اثر مخاطرات را اجرا نمایند (Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019; Davari, Rashki, Akbari, & Talebanfard, 2017; Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022). در این راستا، رویکرد و مدل مفهومی DPSIR[2] (محرک‌ها، فشارها، حالت‌ها، اثرات و پاسخ‌ها/واکنش‌های مدیریتی)، یک رویکرد جامع برای ارزیابی سیستماتیک خطر بوده که روابط بین سیستم‌های محیطی و انسانی را در نظر می‌گیرد (Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011; Sekovski, Newton, & Dennison, 2012). این مدل، یک روش ساده و علمی برای ارزیابی تخریب سرزمین در مقیاس محلی تا جهانی است (Zhang, Zhang, Wu, Ma, & Yang, 2016; Bizikova, Metternicht, & Yarde, 2018). رویکرد نوین DPSIR یا همان DPSIR-M[3] به دلیل اتخاذ تصمیمات مهم اجرایی، مبتنی بر واقعیت میدانی و نظرات کارشناسی برای کاهش اثرات مخاطرات محیطی، امکان بهتر و عملیاتی شدن استراتژی‌ها و راهبردهای مدیریتی را فراهم می‌سازد(Zhang, Zhang, Wu, Ma, & Yang, 2016; Bizikova, Metternicht, & Yarde, 2018)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد برای کنترل، کاهش و به حداقل رساندن اثرات تخریب اراضی، یک رویکرد و سیاست یکپارچه با اهداف روشن، در ارزیابی خطر بیابان‌زایی ضروری است.

پژوهش‌های انجام شده در خراسان رضوی نشان می‌دهند بیابان‌زایی در این منطقه گسترش یافته و مشکلات محیط‌زیستی و اجتماعی–اقتصادی ایجاد نموده است (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022; Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022; Akbari, Neamatollahi, Noughani, & Memarian, 2022; Khashtabeh, Akbari, Kolahi, & Talebanfard, 2020). لذا، با وجود علائم مختلف بیابان‌زایی و شدت تخریب اراضی در استان، فقدان برنامه‌های مدیریتی مناسب و جامع برای جلوگیری از فرآیندهای مخرب آن مشهود است.

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، پاسخ به سؤالات زیر است؛ آیا بیابان‌زایی بر اساس مدل جهانی ESAs در استان خراسان رضوی رخ داده است؟ در صورت وقوع این پدیده، درصد آسیب‌پذیری محیطی تا چه حد بوده است؟ و اینکه چگونه می‌توان اثرات مخرب این فرآیند را با مدیریت مناسب (مدیریت مبتنی بر احتمال وقوع خطر)، کنترل، کاهش و متوقف نمود؟ در این پژوهش سعی شده است علاوه بر تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی، عناصر در معرض خطر، آسیب‌پذیری محیطی و پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی، راهبردها، استراتژی‌ها و برنامه‌های پیشنهادی کنترل و کاهش خطر بیابان‌زایی در سطح و مقیاس استان خراسان رضوی، بر اساس

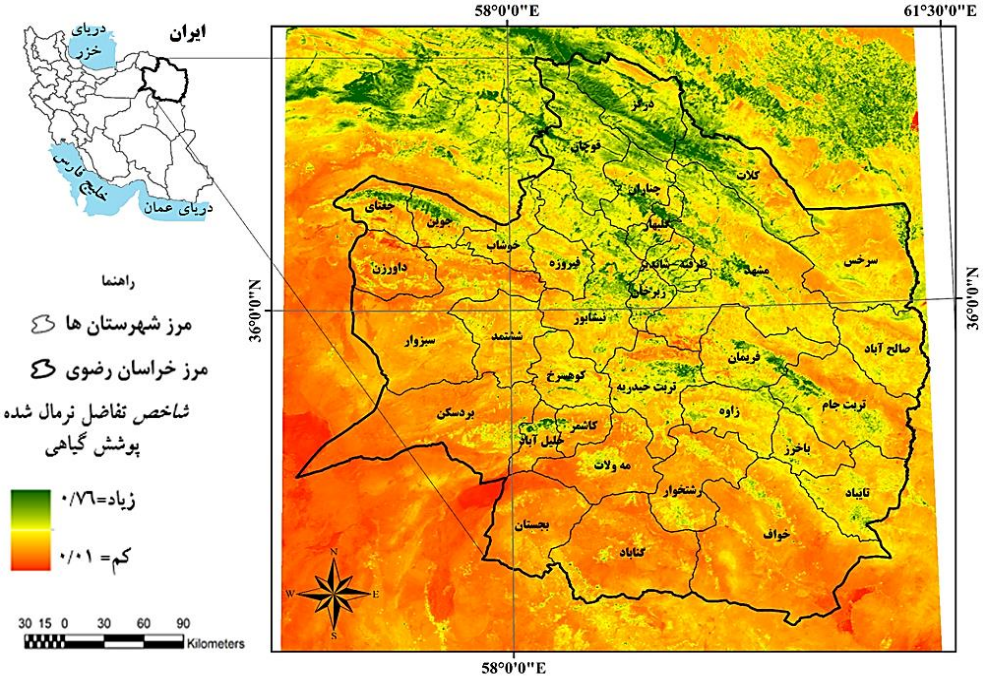
1- Risk Management
2 - Driver-Pressure-State-Impact-Response Framework, DPSIR
3- Driver-Pressure-State-Impact-Response- Managment Framework, DPSIR-M

نظرات کارشناسان و خبرگان عرصه بیابان و طبق دستور کار سال ۲۰۳۰ سازمان ملل برای توسعه پایدار و مبتنی بر یک مدل مدیریتی مانند DPSIR-M ارائه گردد. لازم به توضیح است که تاکنون تنها تعداد محدودی مطالعه در برخی از مناطق کشور، با هدف نقشه خطر بیابان‌زایی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

استان خراسان رضوی با مساحتی در حدود ۱۱۸ هزار کیلومترمربع، در شمال شرقی ایران قرار دارد. گزارش‌ها نشان می‌دهند بیش از ۷۵ درصد از مساحت این استان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن تحت حاکمیّت اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, & Noughani, 2020; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b). میزان بارش منطقه موردمطالعه از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد. از نظر دمایی نیز استان خراسان رضوی دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد بوده و میانگین سالانه دما ۱۵/۹ درجه سلسیوس است که از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این استان از لحاظ پوشش گیاهی جزء نواحی ایرانی-تورانی بوده و بخش‌های شمالی آن از تنوع زیستی بیشتری در مقایسه با اکوسیستم‌های شکننده و حساس به فرسایش بخش‌های جنوبی برخوردارند (Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b) وضعیّت اقلیمی و بارش کم استان موجب شده که اکوسیستم حاکم بر منطقه از یک شرایط حساس و شکننده برخوردار باشد (Feyzi Koushki, Akbari, Memarian, & Azamirad, 2019; Memarian & Akbari, 2021). استان خراسان رضوی به دلیل اقلیم خشک، نزولات آسمانی اندک، خاک نامساعد، موقعیت استراتژیک مرزی، تغییر کاربری غیر اصولی، فرونشست زمین، گسترش بیابان‌زایی و فرسایش بادی و گردوغبار، نیازمند یک برنامه مدیریت جامع خطر بیابان‌زایی در راستای اهداف توسعه پایدار است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی

(تصویر NDVI در پس‌زمینه نقشه، مربوط به ماهواره استر سنجنده مودیس سال ۲۰۲۰ میلادی است).

Fig.1. Geographical location map of Khorasan Razavi province

روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر در چهار گام و مرحله انجام شد.

گام اول، جمع‌آوری داده‌ها و تهیه نقشه‌های پایه: داده‌های موردنیاز برای انجام این پژوهش شامل؛ نقشه‌های توپوگرافی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام سازمان نقشه‌برداری کشور)، آمار ایستگاه هواشناسی (تعداد ۱۳ ایستگاه سینوپتیک و استخراج اطلاعات آماری متوسط دما و بارندگی سالانه)، نقشه زمین‌شناسی و واحد قابلیت اراضی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، نقشه پوشش گیاهی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، نقشه مناطق چهارگانه محیط‌زیست استان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ام)، تصاویر ماهواره‌ای استر مربوط به سنجنده مودیس (جهت استخراج NDVI از محیط گوگل ارتز انجین) و گزارش طرح‌های اجرایی انجام شده سال ۱٤۰۰، ادارات و سازمان‌های مربوطه مانند گزارش طرح‌های مربوط به احیاء اراضی بیابانی و طرح‌های بیابان‌زدایی اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی، می‌باشند. جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نسخه ۱۰.۸.۲ انجام شد.

گام دوم، انتخاب مدل جهت تهیه نقشه شدت خطر بیابان‌زایی: مدل، ابزاری برای تحلیل رفتار پدیده‌ها و ساده کردن پیچیدگی‌های موجود در جهان واقعی است و هدف آن، افزایش دریافت ما درباره واقعیت‌ها و فرآیندها

در جهان می‌باشد (Khajeddin, Akbari, Karimzadeh, & Eghbal, 2008; Rasmy, Gad, Abdelsalam, & Siwailam, 2010). در این پژوهش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در خراسان رضوی از مدل جهانی ESAs استفاده شد. پویایی مدل در وزن‌دهی و میانگین هندسی شاخص‌ها و همچنین استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در تجزیه‌وتحلیل مکانی پارامترها از دلایل اصلی استفاده از مدل ESAs در این پژوهش بوده است. بر اساس مدل ESAs و با توجه به شرایط جغرافیایی و محیطی خراسان رضوی، تعداد ٤ معیار و ۱۹ شاخص مؤثر در بیابان‌زایی ازجمله؛ بافت خاک، عمق خاک، شیب زمین، زهکشی خاک، بارندگی، تبخیر و تعرق، خشکی، تراکم پوشش‌گیاهی، محافظت از فرسایش، خطر آتش‌سوزی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، تراکم دام سبک، تراکم جمعیت انسانی و طرح‌های اجرایی تعیین و در ۵ گروه تحت عنوان معیارهای کیفیت خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش خاک (فرسایش آبی و بادی) و کیفیت مدیریت انسانی طبقه‌بندی شدند(Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022). وزن‌دهی و کمّی نمودن هر شاخص، طبق جدول استاندارد مدل ESAs انجام شد (جدول ۱). سپس با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های هر معیار و با استفاده از رابطه ۱، مقدار ارزش کیفیت هر معیار در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. پس از روی‌هم‌گذاری لایه اطلاعاتی معیارها در ماژول‌های آنالیز فضایی-مکانی GIS (Kosmas, Kirkby, & Geeson, 1999; Kosmas, Tsara, Moustakas, Kosma, & Yassoglou, 2006; Lahlaoi, Rhinane, Hilali, Lahssini, & Moukrim, 2017; Lamqadem, & Rahimi. 2018)، حساسیت اراضی خراسان رضوی به بیابان‌زایی تهیه شد. در این پژوهش، جهت انجام آنالیزهای و الگوریتم‌های تحلیل مکانی-فضایی و تهیه نقشه‌های ترکیبی رستری (سلولی)، از سیستم اطلاعات جغرافیایی نسخه ۱۰.۸.۲ استفاده شده است.

جدول ۱- ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های مؤثر بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل (ESAs)

(Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024)

Table1- The weighted value of the effective criteria and indicators of Khorasan Razavi desertification based on ESAs model

معیار	شاخص	ویژگی شاخص‌ها	ارزش وزنی
خاک	بافت	لومی-سیلتی لوم-ماسه ای لومی-لومی ماسه ای-رسی لومی	۱
		ماسه‌ای رسی – سیلتی لوم – سیلتی رسی لوم	۱/۲
		سیلتی – رس– رسی سیلتی	۱/٦
		ماسه‌ای	۲
	عمق	عمق عمیق (>۷۵)	۱
		عمق متوسط (۳۰ – ۷۵)	۱/۲
		کم عمق (۱۵ – ۳۰)	۱/٦
		خیلی کم عمق (<۱۵)	۲
	شیب	خیلی ملایم تا مسطح (٦ >)	۱
		ملایم (۱۸ – ٦)	۱/۲
		زیاد (۳۵ – ۱۸)	۱/۵
		خیلی زیاد (۳۵ <)	۲

	سنگ و سنگریزه	کاملاً پوشیده از سنگ و سنگ‌ریزه	۱
		دارای سنگ و سنگ‌ریزه (متوسط)	۱/۳
		فاقد سنگ و سنگ‌ریزه سطحی	۲
	مواد مادری	شیل- شسیت-بازیک- اولترا بازیک- کنگلومرا	۱
		سنگ آهک-مارن- گرانیت- ریولیت-گنیس- ماسه سنگ	۱/۷
		مارن- پیروکلیست	۲
	زهکشی خاک	خوب	۱
		ناقص	۱/۲
		ضعیف	۲
اقلیم	بارندگی	> ۳۰۰	۱
		۳۰۰ – ۲۰۰	۱/۲
		۲۰۰ – ۱۵۰	۱/۵
		۱۵۰ – ۱۰۰	۱/۷
		< ۱۰۰	۲
	جهات شیب	NW-NE-E-W-N	۱
		S-SW-SE	۲
	خشکسالی	(۰/۲۰ – ۰/۵۰) نیمه‌خشک	۱/۵
		(۰/۰۳ – ۰/۲۰) خشک	۱/۸
		(۰/۰۳ >) خیلی خشک	۲
پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	٪٤٠<	۱
		٪١٠–٤٠	۱/۸
		٪ ١٠>	۲
	مقاوم به فرسایش	بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۳
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/٦
		فاقد پوشش (لخت)	۲
	مقاومت به خشکسالی	بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۲
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۷
		فاقد پوشش گیاهی (بایر و بدون پوشش)	۲
	خطر آتش‌سوزی	فاقد پوشش گیاهی	۱
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۵
		بوستان‌ها و باغات میوه – مراتع همیشه‌سبز	۲
فرسایش	فرسایش آبی	کم	۱
		متوسط	۱/٤
		زیاد	۱/۷
		خیلی زیاد	۲
	فرسایش بادی	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۱/۸

		خیلی زیاد	۲
مدیریتی (مدیریت انسانی)	تغییر کاربری اراضی	شدت کم	۱
		شدت متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	توسعه معدنی	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	مناطق حفاظت شده	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۲
	تعداد و تراکم دام	۵۰ – صفر	۱
		۱۰۰ – ۵۰	۱/۲
		۲۰۰ – ۱۰۰	۱/٤
		۳۰۰ – ۲۰۰	۱/۷
		۳۰۰ <	۲
	طرح‌های اجرایی	دارای طرح مدیریتی و اجرا شده	۱
		دارای طرح، اجرا نشده	۱/۵
		فاقد طرح مدیریتی، اجرا نشده	۲

پس از محاسبه ارزش هر معیار و با محاسبه میانگین هندسی معیارها، ارزش وزنی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی (شدت بیابان‌زایی)، استان خراسان رضوی یا ESAI[1] محاسبه گردید (جدول ۲).

$$ESAS = (SQI \times CQI \times VQI \times EQI \times MQI)^{1/5}$$ **رابطه ۱**

در رابطه ۱؛ SQI معیار خاک، CQI معیار اقلیم، VQI معیار پوشش گیاهی، EQI معیار فرسایش و MQI معیار مدیریتی (مدیریت انسانی) می‌باشند (Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022; Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024). لازم به توضیح است که میانگین هندسی هر معیار نیز بر اساس شاخص‌های آن معیار و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

1- Environmentally Sensitive Area Index

جدول ۲- طبقه‌بندی حساسیت اراضی (شدت) بیابان‌زایی

(Kosmas, Tsara, Moustakas, Kosma, & Yassoglou, 2006)

Table2-Classification of land sensitivity (severity) of desertification

نماد کلاس	کلاس/ طبقه حساسیت اراضی	دامنه تغییرات هر طبقه در ESAI
C3	بحرانی شدید	> 1.53
C2	بحرانی متوسط	1.42-1.53
C1	نسبتاً بحرانی	1.38-1.41
F3	خیلی شکننده	1.33-1.37
F2	شکننده	1.27-1.32
F1	نسبتاً شکننده	1.23-1.26
P	دارای پتانسیل شکنندگی	1.17-1.22
N	بدون تأثیر	< 1.17

گام سوم، برآورد خطر (ریسک) بیابان‌زایی

به‌منظور برآورد خطر بیابان‌زایی، ابتدا عناصر در معرض خطر شناسایی و با تعیین درجه آسیب‌پذیری آن‌ها و همچنین نقشه شدت بیابان‌زایی، نقشه خطر بیابان‌زایی طبق رابطه ۲ (مدل جهانی ریسک) به دست آمد (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018)

$$Risk\ assessment = H * E * V$$ **رابطه ۲**

در رابطه فوق H[1]، بیانگر شدت و تداوم خطر است که بر اساس مدل ارزیابی شدت بیابان‌زایی ESAs به دست آمد. پارامتر E[2]، عناصر در معرض خطر است و شامل تمامی عناصر زیستی و فیزیکی ازجمله؛ مراکز مسکونی و جمعیّتی، اراضی جنگلی و مرتعی، اراضی کشاورزی، زیرساخت‌های فیزیکی مانند؛ راه‌ها و خطوط ارتباطی، رفاهی، معادن و منابع آبی مانند چاه‌ها و قنوات خواهد بود که در هنگام وقوع تخریب زمین و پدیده بیابان‌زایی، خساراتی را از بُعد طبیعی و انسانی ایجاد می‌کنند. این عناصر، با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، توپوگرافی و همچنین بازدید میدانی به دست آمد. منظور از V[3] نیز درجه آسیب‌پذیری محیطی است که تابعی از درجه پایداری و ناپایداری محیطی است (Salvati & Toward, 2014).

1- Desertification Hazard
2 -Value at risk (Exposure)
3 -Vulnerability

تهیه نقشه عناصر در معرض خطر (E)

پس از مشخص شدن طبقه‌های شدت بیابان‌زایی و شناسایی عناصر طبیعی و انسانی در پهنهٔ طبقه‌های خطر، با بهره‌گیری از نظرات کارشناسی و واقعیّت‌های میدانی، طبقه‌های آسیب‌پذیری عناصر، با توجه به نوع طبقه شدت خطر تعیین شد. جدول ۳ طبقه‌های عناصر در معرض خطر را نشان می‌دهد.

جدول ۳- کلاس‌های عناصر زیستی-فیزیکی در معرض خطر استان خراسان رضوی

(Akbari, Ownegh, Asgari, Sadoddin, & Khosravi, 2016)

Table3-Classes of biological-physical elements at risk of Khorasan Razavi province

ردیف	کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر
۱	I	خیلی کم	≤۲
۲	II	کم	۳
۳	III	متوسط	٤
٤	IV	زیاد	٥
٥	V	خیلی زیاد	٦

محاسبه آسیب‌پذیری محیطی عناصر در معرض خطر (V)

برای محاسبه ارزش کمّی آسیب‌پذیری محیطی، نقشه شدت بیابان‌زایی و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیک مد نظر قرار گرفته شده است. عناصری که در طبقهٔ خطر بالاتری قرار دارند از آسیب-پذیری بیشتری نیز برخوردار خواهند بود. جدول ٤ ارزش کیفی صفات هر عنصر در معرض خطر و جدول ٥ رتبه و عدد آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر را نشان می‌دهد. این ارزش‌گذاری، بر اساس نظرات کارشناسان ادارات اجرایی مرتبط و با توجه به شرایط استان انجام شده است که می‌تواند در مناطق مختلف، ارزش‌هایی متفاوت نیز داشته باشند. محاسبه طبقه آسیب‌پذیری، طبق رابطه ۳ محاسبه شد:

رابطه ۳ $\text{عدد آسیب‌پذیری} = (A*a)+(A*b)+(A*c)+(A*d)$

در رابطه ۳، A= طبقه خطر است. a,b,c,d = به ترتیب ارزش کیفی عناصر در معرض خطر موجود است، که طبق جدول ٤ ارزش‌گذاری می‌شوند.

جدول ٤- ارزش صفات عناصر در معرض خطر

(Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table4- The value of traits of elements at risk

عناصر زیستی و غیر زیستی	عامل	ارزش آسیب‌پذیری
مراتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
جنگل‌ها	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
اراضی کشاورزی	هر چه گیاه آسیب‌پذیرتر و شدت خطر افزایش پیدا کند با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳ – ۱۵
چشمه، چاه، قنات	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
اماکن مسکونی	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند.	۳ – ۱۵
تأسیسات/نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها	با افزایش رتبه خطر، با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.	۲ – ۱۰
جاده‌ها و زیرساخت‌ها	جاده‌های درجه‌یک در اولویت بالاتری نسبت به جاده‌های درجه ۲ و ۳ قرار دارند و با افزایش رتبه خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کنند.	۲ – ۱۰

جدول ٥- رتبه و عدد آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

(Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table5- Vulnerability rank and number of elements at risk

کلاس آسیب‌پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب‌پذیری
I	خیلی کم	۰ –١٦
II	کم	١٧ –٣٢
III	متوسط	٣٣ –٤٨
IV	زیاد	٤٩ –٦٤
V	خیلی زیاد	٦٥ –٨٠

در انتها از حاصل‌ضرب نقشه‌های شدت بیابان‌زایی (H)، نقشه عناصر در معرض خطر (E) و نقشه درجه آسیب‌پذیری عناصر (V) با یکدیگر در محیط GIS، نقشه خطر یا همان ریسک بیابان‌زایی (R) محاسبه شد (جدول ٦).

جدول ٦- رتبه و عدد خطر (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022).

Table6- Risk rating and number

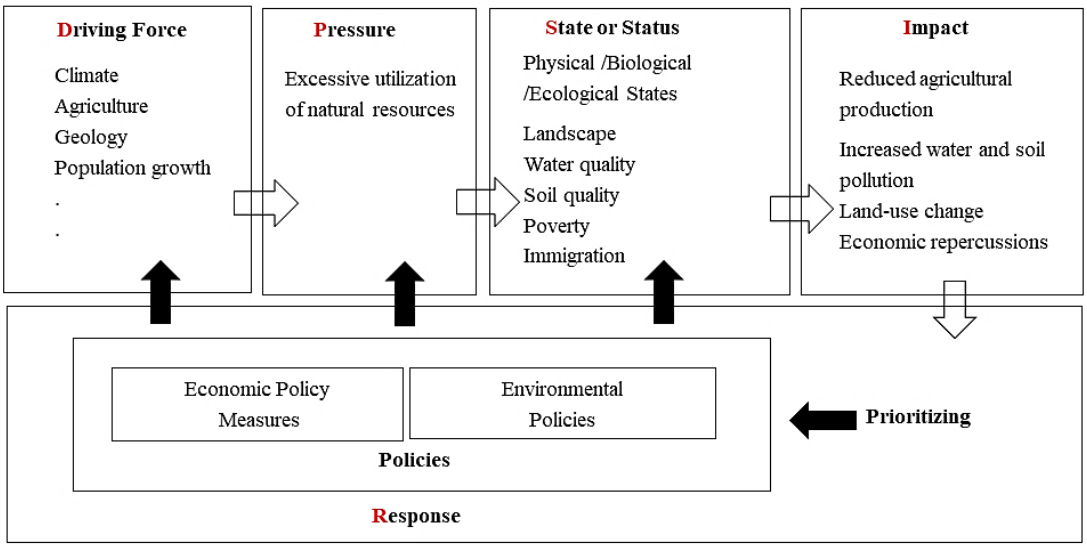
کلاس خطر	طبقات کیفی	عدد خطر
I	خیلی کم	٨–٠
II	کم	٩ – ١٥
III	متوسط	١٦ – ٣٥
IV	زیاد	٣٦ – ٨٠
V	خیلی زیاد	٨٠ – ١٣٦

گام چهارم، ارائه برنامه‌های مدیریتی بر اساس رویکرد مفهومی DPSIR-M: برای بررسی و تحلیل مسائل مربوط به سیستم‌های اکولوژیکی (نظام محیطی) و اجتماعی-اقتصادی (نظام انسانی) که در ارتباط با هم پدیده بیابان‌زایی را به وجود می‌آورند در درجه اول نیاز به یک چارچوب فکری است که مسائل و مشکلات را طبقه‌بندی نموده و در مراحل بعد، امکان مدل‌سازی را فراهم نماید. در این پژوهش، برای تحلیل مسئله و مدیریت بیابان‌زایی برای اولین بار از چارچوب DPSIR-M استفاده شد. در واقع این چارچوب مقدمه‌ای برای پویایی سیستم فضایی مدل است. مدل مفهومی DPSIR-M رویکردی جامع برای ارزیابی علل، عواقب و پاسخ به تغییرات محیطی است که توسط آژانس زیست‌محیطی اروپا در سال ۱۹۹۹ توسعه یافته است. در درک و تجزیه‌وتحلیل روابط علت و معلولی و مدیریت اطلاعات بین اجزای متقابل سیستم‌های پیچیده اجتماعی-اقتصادی و محیط طبیعی نقش دارد (Kristiansen, 2004; Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011; Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, Noughani, 2020). این مدل از پنج جزء اصلی تشکیل شده است.

مدل مفهومی DPSIR (مدل محرک‌ها، فشارها، حالت‌ها، اثرات و پاسخ‌های مناسب مدیریتی) یک رویکرد ارزیابی سیستماتیک است که روابط بین سیستم‌های محیطی و انسانی را در نظر می‌گیرد (سکووسکی و همکاران ۲۰۱۲). این روش روابط علت و معلولی را مفهوم‌سازی می‌کند، یعنی اینکه چگونه فعالیت‌های انسانی (علل) فشارهایی را بر محیط تحمیل می‌کنند که منجر به تغییرات عمیق کیفی و کمی (پیامدها) می‌شود. در واقع، در مطالعات و پژوهش‌های مبتنی بر مدل مفهومی DPSIR، می‌توان مستقیماً تأثیرات هر عامل را بررسی نمود و راه‌حل‌های مدیریتی مناسب نیز ارائه کرد (European Environment Agency, 1995, 1999, 2003). چارچوب DPSIR از طریق ارتباط متقابل بین سیستم‌های طبیعی و اجتماعی شکل می‌گیرد (Carr, et al., 2007). در کاربرد رویکرد DPSIR، باید به ویژگی‌های اساسی سیستم و همچنین پیچیدگی‌ها و متغیرهای آن پایبند باشیم (Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011). در این راستا، مدل DPSIR-M، یک زنجیره علت و معلولی ساخته شده است که از نیروهای محرک شروع شده و به واکنش/استراتژی و راهبرد ختم می‌شود. در چارچوب DPSIR-M، پاسخ‌ها (سیاست‌ها/راهبردها و استراتژی‌ها) شامل؛ استراتژی‌هایی (برنامه‌های اقدام عمل[1]) می‌باشند که به‌عنوان راهنما برای ذینفعان، گروه‌های محلی و یا دولت‌ها عمل می‌کنند. پاسخ‌ها، تلاش‌هایی برای جلوگیری، جبران، و بهبود تغییرات در محیط یا انطباق با آن‌ها هستند (آژانس محیط‌زیست اروپا، ۲۰۰۳). برای مثال، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای جلوگیری از تغییرات آب و هوایی (Shahsavari & Akbari, 2018) و یا استفاده از آب مغناطیسی برای افزایش شاخص‌های رشد پوشش‌گیاهی در احیاء مناطق بیابانی (Mohammadi, Dastorani,

1 -Action Plan

(Akbari, & Ahani, 2019) نمونه‌هایی از پاسخ‌ها و راه‌حل‌های پیشگیرانه و مبتنی بر مدیریت خطر بیابان‌زایی به شمار می‌آیند. شکل ۲، طرح شماتیکی از رویکرد مفهومی DPSIR را نشان می‌دهد.



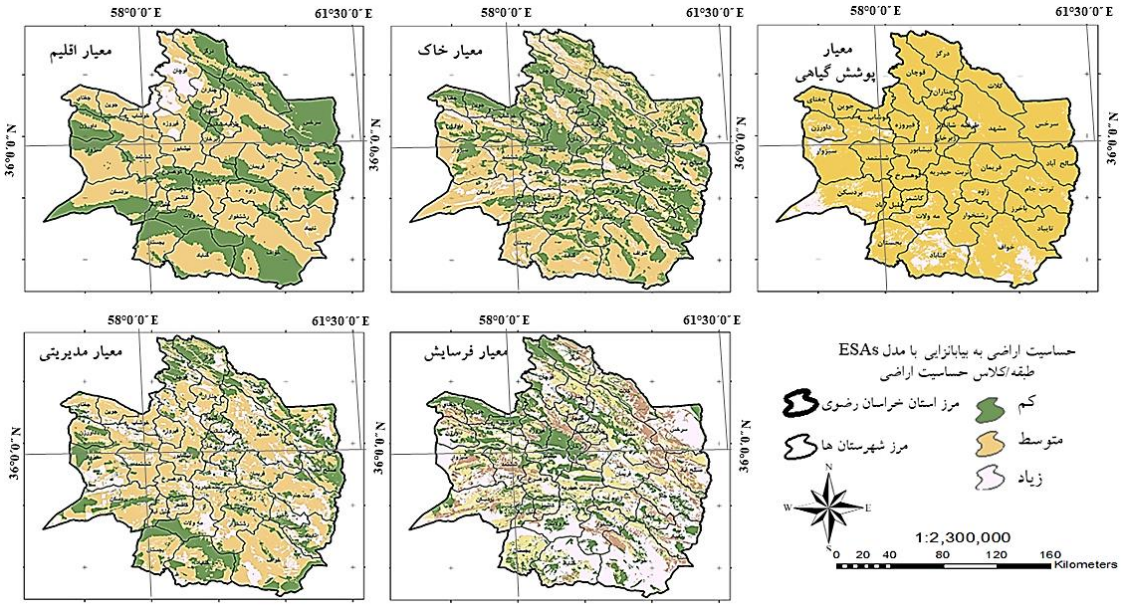
شکل ۲- چارچوب DPSIR و راهکارها (Kristiansen, 2004; Atkins, Burdon, Elliott, & Gregory, 2011).

Fig.2. DPSIR framework and solutions

تاکنون پژوهش‌های مختلفی با استفاده از مدل DPSIR در مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی انجام شده است. برای مثال، می‌توان به مطالعه مداخلات انسانی در مدیریت زمین و محیطزیست (Magdy, El-Salam, & Elhakem, 2016)، برنامه‌ریزی جهت توسعه پایدار (Ale-Mohammad, Yavari, Salehi, & Zebardast, 2014)، تدوین شیوه‌های مدیریت پایدار خاک برای جلوگیری از تخریب سرزمین (Kairis, Karavitis, Salvati, Kounalaki, & Kosmas, 2015) و در ایران به مطالعات (Akbari, Feyzi Koushki, Memarian, Azamirad, Noughani, 2020)، در استان گلستان جهت تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در روند بیابان‌زایی و ارائه راهکارهای پیشنهادی مقابله با آن اشاره نمود.

نتایج و بحث

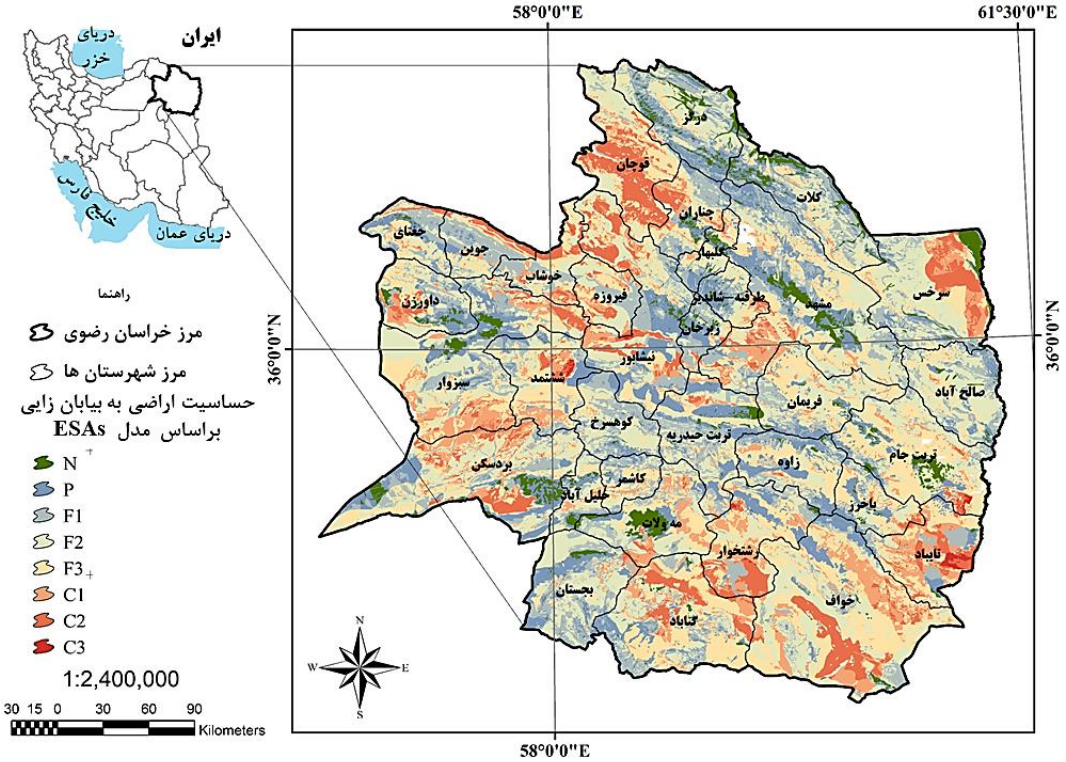
همان‌طور که در بخش روش کار نیز اشاره شد، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل جهانی ESAs و با استفاده از پنج معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش (آبی و بادی) و همچنین مدیریت انسانی، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیارهای پوشش‌گیاهی، خاک، اقلیم، فرسایش و مدیریت انسانی برگرفته از پژوهش(Akbari,Talebanfard, Pakdin, & Shahrokhi, 2024)

Fig.3. Desertification intensity map based on the criteria of vegetation, soil, climate, erosion and human management

نتایج ارزیابی شدت بیابان‌زایی نشان داد که نواحی مرکزی، جنوبی، جنوب شرق استان خراسان رضوی در وضعیت بحرانی و شکننده قرار دارند. به‌طوری‌که بیش از ۳۰ درصد اراضی در کلاس نسبتاً بحرانی تا بحرانی شدید واقع شده است. از نظر وضعیت شکنندگی در حدود ۵۹ درصد اراضی استان در شرایط نسبتاً شکننده تا خیلی شکننده قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی می‌باشند که در صورت بدتر شدن شرایط از نظر عوامل محیطی و انسانی، این مقدار نیز به کلاس شکننده اضافه خواهد شد (شکل ٤).



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی خراسان رضوی بر اساس مدل ESAs

Fig.4. Desertification intensity zoning map of Khorasan Razavi based on ESAs model

نتایج پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی استان خراسان رضوی نشان داد که معیار کیفیت پوشش‌گیاهی و شاخص‌هایی همچون کاهش پوشش‌گیاهی، افزایش خطر آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌های تنک و بیابانی (به دلیل خشکسالی‌های مستمر نزدیک از دو دهه گذشته تاکنون) و افزایش شدت فرسایش بادی و آبی به دلیل کاهش پوشش‌گیاهی، دارای بیشترین اهمیت در گسترش بیابان‌زایی خراسان رضوی بوده‌اند. پس از آن، معیارهایی همچون فعالیت‌های انسانی (معیار مدیریت انسانی)، اقلیم، فرسایش و خصوصیات خاک به ترتیب بیشترین تأثیر و نقش را در حساسیت اراضی به بیابان‌زایی این استان داشته‌اند. با توجه به روند تغییر پارامترهای اقلیمی، وضعیت بارش، میزان بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی، چرای بیش از ظرفیت مراتع توسط دام، شدت فرسایش بادی و آبی را در این نواحی از استان رقم زده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش، با نتایج پژوهش انجام شده در منطقه خشک استان اصفهان (Khajeddin, Akbari, Karimzadeh, & Eghbal, 2008) و نتایج مطالعات(Davari, Rashki, Akbari, & Talebanfard, 2017) و (Feyzi Koushki, Akbari, Memarian, & Azamirad, 2019) در استان خراسان رضوی همخوانی دارد. به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات کاهش پوشش گیاهی به دلیل استمرار خشک‌سالی، آتش‌سوزی، فرسایش خاک و توسعه فعالیت‌های انسانی مانند؛ تغییر کاربری اراضی (FAO., 2015) و افزایش شدت چرای دام در

مراتع را عامل اصلی گسترش بیابان‌زایی معرفی نموده‌اند. نقش فعالیت‌های انسانی در کاهش و تخریب پوشش‌گیاهی و گسترش بیابان‌زایی (Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022)، در پژوهش در حوضه کویر نمک خراسان رضوی نیز مورد تأکید قرار گرفته است. وجود املاح و شوری در بخش‌های جنوبی استان مانند؛ شهرستان‌های گناباد، خواف، بجستان، خلیل‌آباد و بردسکن عمدتاً منجر به کاهش تراکم پوشش گیاهی و شدت فرسایش بادی در این اراضی شده است. به‌طوری‌که در برخی از مطالعات نیز به افزایش شدت فرسایش بادی در نتیجه کاهش پوشش گیاهی اشاره شده است (Akbari, Jafari Shalamzari,Memarian, & Gholami 2020; Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022).

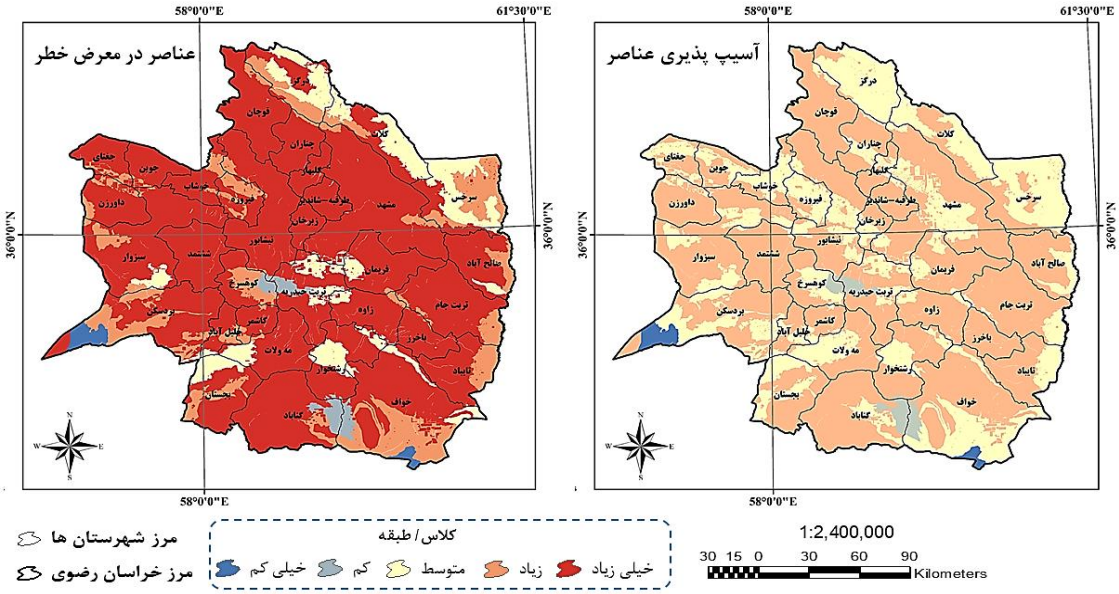
نتایج نشان داد که در بخش‌هایی از استان که در حال حاضر تحت کشت کشاورزی آبی (فاریاب) هستند، وضعیت بیابان‌زایی طبق مدل ESAs بحرانی نبوده است. هرچند به دلیل استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها، عدم رعایت الگوی کشت، افت سطح آب‌های زیرزمینی و تبدیل کاربری اراضی، همواره این اراضی با خطر بیابان‌زایی روبرو بوده و در صورت عدم مدیریت درست و بهینه در آینده، این اراضی نیز دچار درجاتی از بیابان‌زایی خواهند شد (جدول ۷). در برخی از مطالعات انجام شده به نقش توسعه اراضی کشاورزی و تبدیل کاربری اراضی در بخش‌هایی از شمال و جنوب استان و گسترش شدت بیابان‌زایی اشاره شده است (Khashtabeh, Akbari, Kolahi, & Talebanfard, 2020; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020 a,b; Nasrian, Akbari, Faridhosseini, & Neamatollahi, 2018; 2019) .

جدول ۷- مساحت و درصد مساحت کلاس شدت بیابان‌زایی استان خراسان رضوی بر اساس مدل ESAs

Table7- The area and percentage of the area of desertification intensity class of Khorasan Razavi province based on ESAs model

کلاس/ طبقه حساسیت اراضی به بیابان‌زایی	کد کلاس/طبقه	میانگین وزنی هر طبقه	مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
بحرانی شدید	C3	۱/۱۱۵	۳۹۱۲۲۹	۳/۳٦
بحرانی متوسط	C2	۱/۱۹۵	۱۵۲۰۷۱٦	۱۳/۰۵
نسبتاً بحرانی	C1	۱/۱٤۵	۱۸۹۷۷۰۱	۱٦/۱۹
خیلی شکننده	F3	۱/۱۹۵	۳۲۷۱٤۷۵	۲۸/۰۸
شکننده	F2	۱/۳۵۰	۲٤٦۵۵۲۳	۲۱/۱۷
نسبتاً شکننده	F1	۱/۳۹۵	۱۱۰۳۹٤٤	۹/٤۸
دارای پتانسیل شکنندگی	P	۱/٤۷۵	۸٦٦۳٤۰	۷/٤٤
بدون تأثیر	N	۱/۵۹۵	۱۳۱٦۷۰	۱/۱۳

نتایج ارزیابی خطر بیابان‌زایی که از حاصل‌ضرب نقشه شدت بیابان‌زایی، عناصر در معرض خطر و نقشه آسیب‌پذیری محیطی در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد نشان داد بخش عمده‌ای از عناصر زیستی و غیر زیستی استان خراسان رضوی در معرض خطر بیابان‌زایی هستند (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه پهنه‌های فراوانی عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی در استان خراسان رضوی

Fig.5. Map of abundance zones of elements at risk and environmental vulnerability in Khorasan Razavi province

علاوه برآن، از بُعد آسیب‌پذیری محیطی نیز در حدود ۹۷ درصد مناطق استان از آسیب‌پذیری بالایی برخور بوده و ۸۸ درصد عناصر زیستی و فیزیکی در معرض خطر بیابان‌زایی قرار دارند (جدول ۸). این نتایج با مطالعات (Sarbazi, Talebanfard, Akbari, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022) در شهرستان سرخس، (Davari, Rashki, Akbari, & Azami rad, 2022) در حوضه کویر نمک استان خراسان رضوی، Talebanfard, 2017 در شهرستان بجستان و نتایج پژوهش Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019 در شهرستان گناباد خراسان رضوی همخوانی و انطباق دارد.

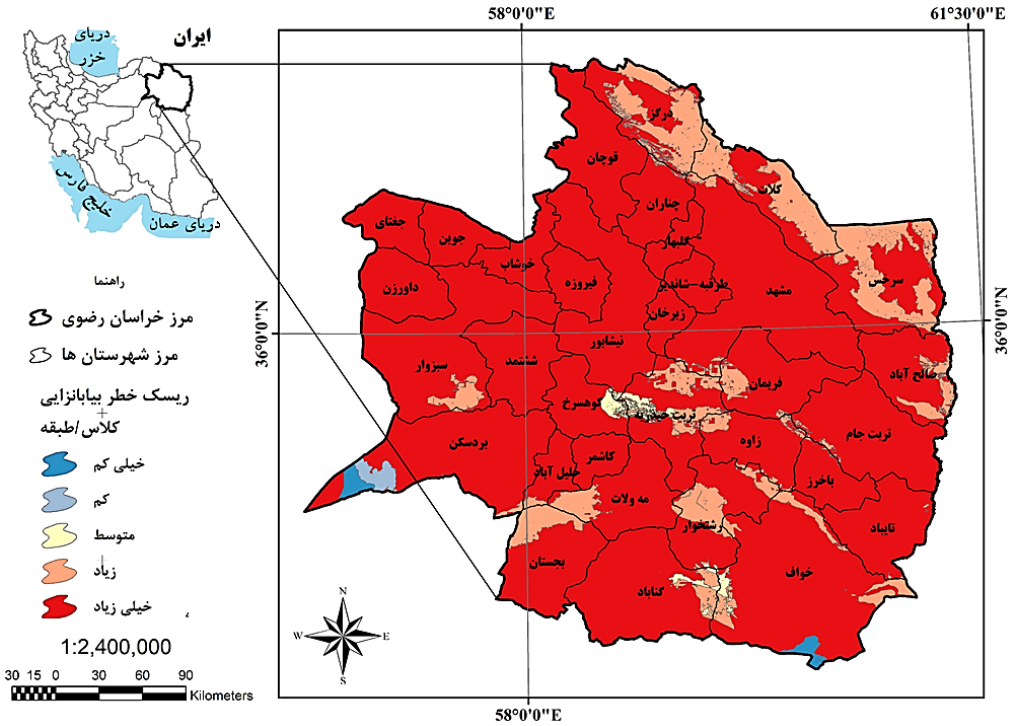
جدول ۸- مساحت و درصد مساحت کلاس عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری محیطی خراسان رضوی

Table8- The area and percentage of the area of the class of elements at risk and environmental vulnerability of Khorasan Razavi province

کلاس/طبقه	کد کلاس	عناصر در معرض خطر		آسیب‌پذیری عناصر	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
خیلی کم	۱	۹٤۰۳٦	۰/۸۱	۹٤۰۳٦	۰/۸۱
کم	۲	۱۵۸۳۲۹	۱/۳٦	۱۸٤۵٤٤	۱/۵۸
متوسط	۳	۱۱۰۹۳۸۲	۹/۵۲	۳۷۲۸۷۱٤	۳۲/۰۱
زیاد	٤	۱٦٤۷۲۹۱	۱٤/۱٤	۷٦٤۱۳۰٦	٦۵/٦۰
خیلی زیاد	۵	۵٦۳۹۵٦۲	۷٤/۱۷	-	-

نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی خراسان رضوی نشان داد تقریباً تمامی مناطق در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها در بخش‌های بسیار کمی خطر بیابان‌زایی کم و ناچیز بوده است. با توجه به

اینکه نقشه خطر، احتمال وقوع بیابان‌زایی را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد، می‌تواند هشدار قابل‌توجهی را به کارشناسان، پژوهشگران و مدیران ادارات اجرایی در مدیریت استان اعلام دارد. شکل ٦ نقشه خطر بیابان‌زایی استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی خطر (ریسک) بیابان‌زایی استان خراسان رضوی

Fig.6. Desertification risk zoning map of Khorasan Razavi province

علاوه برآن، بررسی کمی نقشه خطر نیز نشان داد که بیش از ۹۸ درصد اراضی در کلاس و طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها ۲ درصد اراضی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم واقع شده‌اند (جدول ۹). با توجه به اینکه مطالعات مشابهی تا کنون در مقیاس استان خراسان رضوی در ارتباط با نقشه خطر بیابان‌زایی تهیه نشده است، نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمای مفیدی برای تصمیم‌گیری مدیران ارشد و با رویکرد آمایش سرزمین باشد. نتایج منطقه‌ای و محلی که در ارتباط با خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی و یا برخی از استان‌های دیگر با اقلیم خشک و بیابانی صورت گرفته است نیز شرایط بسامانی را از سرزمین ایران نشان نمی‌دهد (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian Behbahani, & Akbari, 2022; Jafari, Akbari, Kashki, & Badiee Nameghi, 2019 Talebanfard, Akbari, & Azami rad, 2022).

جدول ۹- مساحت و درصد مساحت کلاس خطر بیابان‌زایی استان خراسان رضوی

Table9- The area and percentage of the area of the desertification risk class of Khorasan Razavi province

کلاس/ طبقه	کد کلاس	مساحت و درصد مساحت خطر	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت (٪)
خیلی کم	۱	۵۳۰۸۰	۰/٤٦
کم	۲	۳۹۹٦۰	۰/۳٤
متوسط	۳	۸۱۳۰۹	۰/۷۰
زیاد	٤	۱۳۱٤٤٤۸	۱۱/۲۸
خیلی زیاد	٥	۱۰۱٥۹۸۰٤	۸۷/۲۲

تحلیل مدل مفهومی DPSIR-M در استان خراسان رضوی و ارائه راه‌کارهای مدیریتی

در تحلیل ساختار مدل DPSIR-M ابتدا به نیروهای پیشران به‌عنوان نیروی محرکه در گسترش بیابان‌زایی، فشارها و وضعیت به وجود آمده از آن‌ها و تأثیراتی منفی که در طبیعت برجای می‌گذارد، پرداخته شد (ساختار DPSI) و سپس واکنش‌های مدیریتی (رفتارهای پیشگیرانه، اصلاحی و احیایی) ارائه گردید (ساختار R-M). اثرات و وضعیت حاصل از فرآیند نیروهای پیشران، که همان پنج معیار اصلی مدل ESAs می‌باشند، در جدول (۱۰) نشان داده شده است. در حقیقت عامل طبیعی غالب مانند؛ اقلیم و عامل انسانی مؤثر مانند؛ مدیریت، بر روی پوشش‌گیاهی، خاک و شدت فرسایش آبی و بادی تأثیر می‌گذارند. عوامل و نیروهای پیشران، بر پارامترهای اکولوژیکی و زیستی فشار مازاد ایجاد نموده و در نتیجه این فشار، وضعیت مورفولوژی و ریخت‌شناسی زمین تغییر نموده و نتیجه این تغییر، تأثیرات منفی زیستی-محیطی و گسترش بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی بوده است. برای نمونه تغییر کاربری اراضی (Memarian & Akbari, 2021)، گسترش اراضی شهری و صنعتی در نتیجه افزایش جمعیت (Sarbazi, Ownegh, Mohammadian & Behbahani, 2022)، توسعه اراضی کشاورزی (Nasrian, Akbari, Faridhosseini, Neamatollahi 2019; Nabati, Nezami, Neamatollahi, & Akbari, 2020)، افزایش تعداد دام مازاد بر ظرفیت مراتع و بهره‌برداری بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی(Jiang et al., 2019) ، منجر به تخریب سرزمین، فرسایش خاک و کاهش سطح پوشش‌گیاهی(Magdy, El-Salam, & Elhakem, 2016) ، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی و افزایش زمین‌های بایر شده است. نتیجه این وضعیت، تأثیراتی همچون کاهش کیفیت آب‌وخاک، افزایش شوری آب‌وخاک در بخش‌های مرکزی، شمال شرقی و شرق استان، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و اراضی طبیعی در مناطق شمالی، شمالی غربی و مرکزی، افزایش شدت فرسایش آبی در بخش‌های شمالی و شمال غربی، افزایش شدت فرسایش بادی در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی استان و افزایش مهاجرت، فقر و مشکلات اقتصادی را به همراه داشته است.

جدول ۱۰-ساختار مدل DPSI (نیروهای پیشران، فشارها، وضعیت و اثرات) در گسترش بیابان‌زایی خراسان رضوی

Table10- The structure of the DPSI model (driving forces, pressures, status and impacts) in the expansion of desertification in Khorasan Razavi

نیروهای پیشران	فشارها	وضعیت	اثرات (منفی)
پوشش گیاهی	- بهره‌برداری بی‌رویه از پوشش-گیاهی	- کاهش گونه‌های گیاهی ارزشمند، افزایش گونه‌های مهاجم، تخریب زمین	- فقر پوشش‌گیاهی در سطح خاک، حذف گونه‌های بومی
مدیریت انسانی	- توسعه شهری و صنعتی (افزایش جمعیت) - بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی - تبدیل غیراصولی کاربری اراضی - بهره‌برداری نادرست و بیش‌ازحد از اراضی کشاورزی - تبدیل اراضی، شخم غلط، کاربرد ماشین‌های نامناسب و مواد شیمیایی (سموم، کود و آفت‌کش‌ها) - افزایش دام، عدم تعادل بین دام و مرتع، بوته‌کنی مراتع جهت تعلیف دام	- تخریب سرزمین و بیابان‌زایی - افت سطح آب زیرزمینی - رها نمودن اراضی کشاورزی کم بازده - تغییر و تخریب اراضی - افزایش فرسایش بادی و آبی و هدر رفت خاک -کاهش کیفیت آب‌وخاک -فشردگی خاک سطحی	- مهاجرت، مشکلات اقتصادی و فقر - کاهش کیفیت آب، شور شدن آب‌وخاک -فرونشست زمین و افزایش پدیده شق - کاهش عملکرد تولیدات کشاورزی و باغی، واردات نهاده‌های کشاورزی - افزایش شدت فرسایش آبی - کاهش درآمد و افزایش هزینه‌ها - کم بازده شدن مراتع و نیاز به واردات نهاده‌های دامی -افزایش واردات گوشت -افزایش فرسایش خاک (سطحی و شیاری)
اقلیم	- افزایش دما، استمرار خشکسالی و فشار بر منابع آبی - کمبود بارش -تغییر نوع بارش	- تخریب پوشش‌گیاهی و گسترش بیابان‌زایی - کاهش کمیت و کیفیت منابع آب‌وخاک - افزایش شدت فرسایش آبی و بادی -آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها	- کاهش زیستگاه و کاهش تنوع گیاهی و جانوری - کمبود علوفه و افزایش گونه‌های مهاجم -تخریب زیستگاه حیات‌وحش کاهش تنوع زیستی و انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی
خاک	-سازند زمین‌شناسی حساس به فرسایش -فرسایش‌پذیری خاک	-شور و قلیا شدن خاک -تخریب سرزمین و کاهش مواد آلی خاک -افزایش شدت فرسایش آبی و بادی	-کاهش پوشش گیاهی و افت کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی -کاهش توان اکولوژیکی سرزمین -فرسایش و آلودگی خاک
فرسایش (آبی و بادی)	-کاهش پوشش گیاهی -افزایش میزان رسوبات آبی و بادی -حرکت تپه‌های ماسه‌ای	-تخریب پوشش گیاهی -کاهش کیفیت منابع آب‌وخاک -کاهش توان اکولوژیکی سرزمین -تخریب خاک‌های اقتصادی	-مهاجرت و افزایش فقر و کاهش درآمد -کاهش عملکرد محصولات زراعی و مرتعی -تخریب سازه‌ها، زیرساخت‌ها و راه‌های ارتباطی

در راستای دستورالعمل برنامه‌های اقدام عمل کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی و کاهش خشکسالی سازمان ملل (۱۹۹۲)، تعدادی راهبرد مدیریتی به همراه استراتژی‌های اجرایی که نتیجه بررسی طرح‌های اجرایی و مطالعاتی انجام شده در مناطق مختلف خراسان رضوی، نظرات خبرگان عرصه اجرا، متخصصان مراکز

دانشگاهی و همچنین کارشناسان ادارات اجرایی بوده است، متناسب با شرایط استان ارائه گردید. برنامه‌های پیشنهادی در قالب برنامه‌های پیشگیرانه، اصلاحی و احیایی می‌باشند. در حال حاضر برخی از این راه‌کارهای مدیریتی در برخی از استان‌های خراسان رضوی انجام و یا در حال انجام است. برای مثال می‌توان به طرح‌های احیاء مناطق بیابانی، فرسایش بادی و تثبیت ماسه‌های روان در شهرستان‌های سرخس، گناباد، بجستان، سبزوار و نیشابور اشاره نمود. علاوه برآن می‌توان طرح‌های مقابله با آتش‌سوزی مراتع در اراضی مرتعی شمالی استان، طرح‌های مقابله با فرسایش بادی و احیای پوشش‌گیاهی در مناطق شرقی، مرکزی و جنوبی، توسعه کشاورزی محافظتی و گلخانه‌ای و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری در اراضی جنوبی و جنوب شرقی استان خراسان رضوی را می‌توان نام برد. راهکارهای مدیریتی (R-M)، در قالب ٦ راهبرد و ٤٦ استراتژی و برنامه اقدام عمل و متناسب با نقشه‌ها و پهنه‌های شدت و خطر بیابان‌زایی ارائه شده است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- ارائه راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی (واکنش مدیریتی R-M) جهت کنترل و کاهش خطر بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی

Table11- Providing management strategies and strategies (R-M management response) to control and reduce the risk of desertification in Khorasan Razavi province

شماره	واکنش‌های مدیریتی (پیش‌گیرانه، اصلاحی و احیایی)	
	راهبردها	استراتژی‌ها و اقدامات عمل (عملیات‌های اجرایی)
۱	**تدوین، اصلاح و اجرای درست قوانین و مقررات منابع طبیعی**	–استفاده از شیوه‌های مناسب و اقدامات حفاظتی در پهنه‌های با خطر بحرانی و شکننده به بیابان‌زایی خراسان رضوی؛ مانند؛ نظارت بر رعایت اصول محیط‌زیستی در مناطقی با قابلیت توسعه معدن‌کاری –تدوین و اصلاح قوانین مقابله با مخاطرات طبیعی و محیطی مانند آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها، گسترش آفات گیاهی و جانوری، بیابان‌زایی، سیل، فرونشست زمین و زمین‌لغزش با تعیین کارگروه‌های تخصصی جهت برنامه‌ریزی و انجام اقدامات لازم برای مقابله مخاطرات و کاهش خسارت‌های مالی و جانی ناشی از آن‌ها – نظارت بر اجرای درست طرح‌های مدیریت سرزمین مانند؛ پروژه‌های احیاء بیابان، طرح‌های بیابان‌زدایی و آبخیزداری در خراسان رضوی با در نظر گرفتن نظام محیطی و انسانی – نظارت بر اجرای درست قوانین و مقررات در خصوص حفاظت مؤثر اراضی منابع طبیعی خراسان رضوی – تأمین تجهیزات لازم و ادوات موردنیاز برای شناسایی تخریب عرصه‌های طبیعی و حمایت‌های قانونی و قضایی در برخورد با متخلفین – برخورد قانونی و بازدارنده با متخلفین و متجاوزین به عرصه‌های طبیعی استان خراسان رضوی – ملزم نمودن مجریان طرح‌های عمرانی و توسعه‌ای به رعایت نکاتی که بر میزان تخریب سرزمین و فرسایش خاک تأثیرگذار است.
۲	**آموزش، ترویج و فرهنگ‌پروری در استفاده از دانش بومی**	– توانمندسازی جوامع محلی از طریق تشکیل گروه‌های مردمی و صندوق‌های توسعه‌ای مانند؛ پروژه‌های منابع و ترسیب کربن، بنگاه‌های اقتصادی زودبازده و تقویت تعاونی‌های روستایی –استفاده از ظرفیت زنان روستایی به‌عنوان پیش‌گامان حفاظت از اراضی و مشارکت در پروژه‌های احیاء بیابان – به‌کارگیری دانش بومی در فعالیت‌های حفاظت و احیاء اراضی تخریب شده – آموزش و توسعه مشاغل اقتصادی با هدف کاهش خسارت به اراضی طبیعی استان خراسان رضوی –انجام اصلاح روش‌های صحیح بهره‌برداری از منابع طبیعی استان خراسان رضوی

		– توانمندسازی جوامع محلی و روستائیان با مشاغلی که وابستگی کمتری به زمین داشته باشد – افزایش آگاهی بهره‌برداران و جوامع روستایی با اثرات انواع مخاطرات محیطی و کاهش اثرات مخرب آن‌ها –آموزش همگانی از طریق رسانه‌ها، شبکه‌های اجتماعی و فضای مجازی –استفاده از ظرفیت سمن‌ها و سازمان‌های مردم نهاد در توسعه فرهنگ منابع طبیعی و محیط‌زیست –استفاده از ظرفیت‌های مبلغان مذهبی در ترویج و آموزش فرهنگ حفاظت از اراضی منابع طبیعی
۳	**مدیریت و کنترل دام**	– اعمال مدیریت و کنترل دام از طریق اجرا و بازنگری طرح‌های تعادل دام و مرتع – بررسی اصولی فعالیت‌های انسانی در عرصه‌های طبیعی استان با روش ارزیابی و تحلیل مدل مدیریتی SWOT (بررسی نقاط ضعف، قوت، فرصت‌ها و تهدیدها در راستای پایداری بهینه محیط‌زیست) – تدوین و اجرای دستورالعمل‌ها و مقررات ویژه برای حفاظت از اراضی، متناسب با شرایط خشکسالی یک دهه گذشته – بازنگری طرح‌های بهره‌برداری از مراتع و جنگل‌ها متناسب با شرایط محیطی و اقلیمی حاکم در خراسان رضوی – کنترل دام و ممانعت از ورود دام به مناطق بحرانی حساس به وقوع سیل، فرونشست زمین و زمین‌لغزش با ایجاد تمهیدات و مشوق‌های لازم
٤	**مدیریت حفاظت اراضی و جلوگیری از فرسایش خاک**	– استفاده از روش‌های نوین بیولوژیکی برای مدیریت و تثبیت کانون‌های فعال فرسایش بادی استان خراسان رضوی – اجرای عملیات تثبیت و کنترل فرسایش بادی از طریق اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی و احیاء پوشش گیاهی – جلوگیری از هرگونه اقدام و تأثیرات منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی که موجب بروز یا تشدید فرسایش خاک می‌گردد. –برخورد مسئولانه متولیان منابع طبیعی و سایر دستگاه‌های اداری و آحاد مردم نسبت به خط رجدی و تهدید زیست‌بوم‌های جهانی با گسترش بیابان‌زایی، فرسایش بادی و افزایش گردوغبار در استان همسو و با سیاست‌های جهانی سازمان ملل –تدوین برنامه مدیریت جامع کنترل گردوغبار و بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی –انجام اقدامات «بازدارنده» شامل جلوگیری از بوته‌کنی، چرای مفرط، تغییر کاربری اراضی و اعمال مدیریت در نحوه‌ی استفاده از اراضی. انجام اقدامات «اصلاحی» شامل آموزش و ترویج، اصلاح روش‌های بهره‌برداری از اراضی، احداث بادشکن و سایر اقداماتی که کمک به احیای بیابان می‌کند و انجام اقدامات «احیایی» شامل بذرکاری و نهال‌کاری – استفاده از روش‌های نوین مانند؛ شخم مناسب، استفاده بهینه از کودهای آلی و معدنی و حاصلخیز کننده‌ها و مالچ‌پاشی و حفظ کاه و کلش، کشاورزی–جنگلداری (آگروفارستری)، کشت کنتوری –مدیریت عرصه‌های طبیعی و بیابانی استان همچون پلایاها –طراحی و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه بیابان‌زایی، سیل و تخریب سرزمین تحت وب در خراسان رضوی به‌منظور مدیریت خطر به جای مدیریت بحران –استفاده از پهپاد برای پایش زمانی–مکانی عرصه‌های طبیعی برای جلوگیری از خسارات احتمالی مانند آتش‌سوزی
۵	**مدیریت منابع آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی)**	–تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و تحلیل خطر خسارت ناشی از سیل برای مناطق در معرض سیلاب و فرسایش آبی – اجرای طرح‌های مناسب آبخیزداری به همراه شیوه‌های جدید احیایی و عملیات بیولوژیکی در محدوده‌ها و پهنه‌های دارای پتانسیل و شکننده به بیابان‌زایی – مدیریت جامع منابع آبی از طریق کشت گونه‌های گیاهی کم آب طلب و سازگار به خشکی و خشکسالی – اجرای روش‌های توسعه‌ای (استفاده از آب مغناطیسی، روش‌های جمع‌آوری آب باران، جمع‌آوری مه و شبنم، باران مصنوعی)، و روش‌های حفاظتی منابع آب (توسعه کشت حفاظتی و گلخانه‌ای، جلوگیری از تبخیر و تعرق آب از سطوح آبی و خاکی) در جهت افزایش بهره‌وری از منابع آب‌وخاک. – مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی – استفاده مطلوب از آب‌های نامتعارف در احیاء اراضی بیابانی و تخریب شده، کشاورزی و توسعه باغات مانند؛ آب‌های شور–لب شور و دارای املاح، زه آب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی

٦	**مدیریت پایدار پوشش گیاهی جهت احیاء اراضی طبیعی، کشاورزی و باغی**	–کاشت گونه‌های گیاهی مرتعی و جنگلی سازگار با شرایط خشکی و شوری اراضی همراه با روش‌های مکانیکی – توسعه پوشش گیاهی با مشارکت ذینفعان و بهره‌برداران (گرودارن) و جوامع محلی – حفاظت از پوشش گیاهی موجود و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی با روش‌های قانونی – نهالکاری، بذرکاری و بذرپاشی در دامنه‌ها و مناطق حساس به فرسایش آبی مانند شهرستان‌های کلات، درگز، تایباد، قوچان و چناران – کاشت گونه‌های گیاهی مرتعی، درختی و زراعی کم آب طلب در عملیات احیایی و توسعه کشاورزی – برنامه‌ریزی جهت احیاء، اصلاح و تقویت پوشش گیاهی در مناطق دارای پتانسیل بیابان‌زایی – برنامه‌ریزی برای احیاء پوشش گیاهی سازگار به خشکی و شوری در عرصه‌های با وضعیت بحرانی بیابان‌زایی – شناسایی عوامل مهم خسارت‌زا و بیولوژی جنگل‌های دست کاشت و طبیعی مانند ملخ کوهان‌دار، شپشک و ارلئ ه راه‌های مناسب جلوگیری و کاهش اثرات عوامل خسارت‌زا با کمترین میزان آلودگی محیطی

* لازم به توضیح است که برخی از استراتژی‌های پیشنهادی در جدول فوق از پژوهش اکبری و همکاران (۲۰۲٤) اقتباس شده است.

نتیجه‌گیری

در حال حاضر به موضوعاتی همچون شدت و خطر بیابان‌زایی یا به‌درستی پرداخته نشده و یا اگر پژوهشی انجام شده به‌صورت منطقه‌ای و با تعداد معدودی معیار و شاخص بوده است. در این پژوهش برای اولین بار نقشه شدت (مبتنی بر شدت/نوع) و خطر بیابان‌زایی (مبتنی بر احتمال خطر یا ریسک) استان خراسان رضوی تهیه شد. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی بیانگر آن است که بیش از ۳۰ درصد اراضی استان در کلاس نسبتاً بحرانی تا بحرانی شدید بیابان‌زایی واقع شده‌اند. از نظر وضعیت شکنندگی در حدود ۵۹ درصد منطقه موردمطالعه در شرایط نسبتاً شکننده تا خیلی شکننده محیطی قرار داشته و در حدود ۷ درصد نیز دارای پتانسیل شکنندگی می‌باشند که در صورت بدتر شدن وضعیت از نظر شرایط محیطی و انسانی، این مقدار نیز به کلاس شکننده اضافه خواهد شد. در استان خراسان رضوی عوامل طبیعی و انسانی مهم در وقوع و گسترش بیابان‌زایی را می‌توان تغییر پارامترهای اقلیمی و استمرار خشک‌سالی، تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش‌گیاهی و آتش‌سوزی در اراضی مرتعی و جنگلی، افزایش شدت فرسایش آبی و بادی و شوری آب‌وخاک نام برد. نتیجه تأثیر این عوامل، کاهش توان اکولوژیکی سرزمین، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی، بیابان‌زایی و فرونشست زمین بوده است. نقشه خطر بیابان‌زایی خراسان رضوی نیز نشان داد که بیش از ۹۸ درصد اراضی استان در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد بیابان‌زایی قرار دارند و تنها ۲ درصد از اراضی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم واقع شده‌اند. در این پژوهش راهکارهای پیشنهادی مدیریتی بر اساس مدل و چارچوب مفهومی DPSIR-M، نظر خبرگان، کارشناسان و مدیران اجرایی و همچنین بازدیدهای مکرر میدانی و نتایج موجود در طرح‌های مطالعاتی و اجرایی انجام شده در منطقه، شامل ٦ راهبرد مدیریتی ازجمله؛ تدوین، اصلاح و اجرای درست قوانین و مقررات منابع طبیعی، آموزش، ترویج، فرهنگ‌پروری و استفاده از دانش بومی، مدیریت و کنترل دام (نوع دام، تعداد و چرا)، مدیریت حفاظت

اراضی و جلوگیری از فرسایش خاک، مدیریت منابع آبی و همچنین مدیریت پایدار پوشش گیاهی جهت احیاء اراضی طبیعی، کشاورزی و باغی، و همچنین ٤٦ استراتژی و برنامه‌های عملیاتی مانند؛ استفاده از شیوه‌های مناسب و اقدامات حفاظتی در پهنه‌های دارای خطر بحرانی و شکننده به بیابان‌زایی خراسان رضوی در اراضی با کلاس خطر F و C، استفاده از ظرفیت زنان روستایی به‌عنوان پیش‌گامان حفاظت از اراضی و مشارکت در پروژه‌های احیاء بیابان، استفاده از ظرفیت‌های مبلغان مذهبی در ترویج و آموزش فرهنگ حفاظت از اراضی منابع طبیعی، استفاده از روش‌های نوین مانند؛ شخم مناسب، استفاده بهینه از کودها آلی و معدنی و حاصلخیز کننده‌ها و مالچ‌پاشی و حفظ کاه و کلش، کشاورزی–جنگلداری (آگروفارستری)، کشت کنتوری، استفاده از پهپاد برای پایش زمانی–مکانی عرصه‌های طبیعی برای جلوگیری از خسارات احتمالی مانند آتش‌سوزی، استفاده مطلوب از آب‌های نامتعارف در احیای اراضی تخریب شده، کشاورزی و توسعه باغات مانند؛ آب‌های شور–لب شور و دارای املاح، زه آب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی، و همچنین برنامه‌ریزی جهت احیای پوشش گیاهی سازگار به خشکی و شوری در عرصه‌های بحرانی استان خراسان رضوی به بیابان‌زایی (اراضی با کلاس خطر C3, C2, C1) ارائه شد.

برخی از پیشنهادهای اجرایی و علمی دیگر می‌تواند انجام پژوهش‌های تکمیلی در زمینه سیستم‌های هشدار اولیه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، بررسی اثرات اجتماعی–اقتصادی ناشی از رخداد برخی از مخاطرات محیطی همچون فرونشست زمین، تغییر اقلیم و خشک‌سالی، زمین‌لغزش، معدن کاری و شوری و آلودگی منابع آب‌وخاک باشد. متأسفانه در حال حاضر این‌گونه مطالعات بسیار کم بوده است. لذا، پیشنهاد می‌شود نتایج این پژوهش توسط پژوهشگران، مدیران و کارشناسان ادارات اجرایی بررسی، مطالعه و متناسب با مناطق مختلف به کار گرفته شود. علاوه بر آن، استفاده از نظرات خبرگان در قالب نشست‌های تخصصی مانند؛ روش دلفی و استفاده از برنامه‌ریزی سناریو و آینده‌پژوهشی، می‌تواند در بهبود روش‌های مؤثر مدیریت سرزمین و جلوگیری از گسترش بیابان‌زایی مؤثر و کارآمد باشد.

قدردانی و تشکر

این پژوهش ارائه نتایج بخشی از طرح پژوهشی در گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه فردوسی مشهد، با کد ۵۸۸٤۳ بوده است. صمیمانه از همکاری و حمایت تمام کسانی که ما را در به سرانجام رساندن این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

References

Acheampong, E.O., Macgregor, C.J., Sloan, S., & Sayer, J. (2019). Deforestation is Driven by Agricultural Expansion in Ghana's Forest Reserves. *Scientific African*, *5*, e00146. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00146

Agyemang, I., McDonald, A., & Carver, S. (2007). Application of the DPSIR Approach to Environmental Degradation Assessment in Northern Ghana. *Natural Resources Forum*, *31*, 212–225. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2007.00152.x

Akbari, M. (2016). Proposing an Early Warning System for Desertification Hazard (Case Study: Semi Desert Region of the Gorgan Plain, Golestan Province, Iran). Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Iran. 403 p. [In Persian]

Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Noughani, M. (2020a). Prioritizing Effective Indicators of Desertification Hazard Using Factor-Cluster Analysis, in Arid Regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(8), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9

Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H., & Gholami, A. (2020b). Monitoring Desertification Processes Using Ecological Indicators and Providing Management Programs in Arid Regions of Iran. *Ecological Indicators*, *111*, 106011. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106011

Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Desertification Risk Assessment and Management Program. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *2*(4), 365-380. https://doi.org/10.22034/gjesm.2016.02.04.006

Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., & Zakeri, D. (2020c). Prioritizing Policies and Strategies for Desertification Risk Management Using MCDM–DPSIR Approach in Northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 2503–2523. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00684-3

Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M.A., & Memarian, H. (2022). Spatial Distribution of Soil Erosion Risk and Its Economic Impacts Using an Integrated CORINE-GIS Approach. *Environmental Earth Sciences*, *81*, 287. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10405-w

Akbari, M., Talebanfard, A., Pakdin, M., & Shahrokhi, M. (2024). Developing and Prioritizing Desertification Risk Management Strategies Using Scenario Planning in Khorasan Razavi Province. *Desert Ecosystem Engineering*, *12*(39), 1-22. [In Persian] https://doi.org/10.22052/deej.2024.253646.1023

Ale-Mohammad, S., Yavari, A.R., Salehi, S., & Zebardast, L. (2014). Using the Strategic Environmental Assessment for Compilation Polices of Sustainable Development Plan in Lake Urmia. *International Journal of Environment Studies*, *40*, 645-667. [In Persian] https://doi.org/ 10.22059/jes.2014.52211

Ammann, W. (2016, February). *Early Warning in Disaster Risk Reduction- Needs and Potential*. Paper Presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Integrated Natural Disaster Management (Iran), Tehran (pp.15-16).

Anagnostopoulos, A. (2006, February). A Brief Report on Research Needs for Natural Hazards. Based on the Recent Workshop "*Climate Change-Research Challenges*", Brussels in Memory of Anver Ghazi.

Atkins, J.P., Burdon, D., Elliott, M., & Gregory, A.J. (2011). Management of the Marine Environment: Integrating Ecosystem Services and Societal Benefits with the DPSIR Approach in a Systems Approach. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 215–226. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.012

Baartman, J.E.M., Van Lynden, G.W.J., Reed, M.S., Ritsema, C.J. & Hessel, R. (2007, November). Desertification and land degradation: origins, processes, and solutions, a literature review (Report No. 4). Scientific reports, ISRIC, Netherlands.

Bastas, M., & Abdelrahim, A.A. (2019). Awareness of desertification of arable land among university students in Libya. Religación. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*,4(14),136–147. https://www.redalyc.org/journal/6437/643768221017/html/

Bizikova, L., Metternicht, G., & Yarde, T. (2018). Environmental Mainstreaming and Policy Coherence: Essential Policy Tools to Link International Agreements with National Development—A Case Study of the Caribbean Region. *Environment, Development and Sustainable*, *20*, 975–995. http://doi.org/10.1007/s10668-017-9924-x

Carr, E.R., Wingard, P.M., Yorty, S.C., Thompson, M.C., Jensen, N.K., & Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to Sustainable Development. *International Journal of Sustainable Development*, *14*, 543–555. https://doi.org/10.1080/13504500709469753

Davari, S., Rashki, A., Akbari, M., & Talebanfard, A. (2017). Assessing Intensity and Risk of Desertification and Management Programs (Case Study: Ghasemabad Plain of Bajestan, Khorasan Razavi Province). *Desert Manage*, *5*(1), 91-106. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.27855.

EEA. (1995). Europe's Environment: The Dobris Assessment. European Environment Agency Report, Copenhagen.

EEA. (1999). Environmental Indicators: Typology and Overview (Unpublished Technical Report No. 25). European Environment Agency, Copenhagen.

EEA. (2003). Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. European Environment Agency Report, Copenhagen.

Fan, M., Shibata, H., & Chen, L. (2017). Assessing High Impacts of Climate Change: Spatial Characteristics and Relationships of Hydrological Ecosystem Services in Northern Japan (Teshio River Watershed). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *23*(4), 525-552. https://doi.org/10.1007/s11027-017-9748-x

Fang, L., Bai, Z., Wei, S., Yanfen, H., Zongming, W., Kaishan, S., Dianwei, L., & Zhiming, L. (2008). Sandy desertification change and its driving forces in western Jilin province, north China. *Environmental Monitoring and Assessment*, *136*, 379–390. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9693-3

FAO. (2020). Healthy Soils Are the Basis for Healthy Food Production (Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 1–4. Retrieved 2020, Aug.1, from https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/277682/

Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H., & Azamirad, M. (2019). Identifying and Ranking Important Factors of Desertification in Khorasan Razavi Province using Delphi Method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *8*(3), 205-225. https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.84127. [In Persian]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). IPCC Special Report: Global Warming of 1.5 °C, https://www.ipcc.ch/sr15/.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Jafari, H., Akbari, M., Kashki, M.T., & Badiee Nameghi, S.H. (2019). An Efficiency Comparison of the IMDPA and ESAs Models on Desertification Risk Management in Arid Regions of Southern Khorasan Razavi, Iran. *Arid Biome*, *9*(1), 39–54. https://aridbiom.yazd.ac.ir/article_1542.html?lang=en. [In Persian]

Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., & De Maeyer, P. (2019). Monitoring the Long-term Desertification Process and Assessing the Relative Roles of its Drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, *195*–208. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.067

Kairis, O., Karavitis, C., Salvati, L., Kounalaki, A., & Kosmas, K. (2015). Exploring the Impact of Overgrazing on Soil Erosion and Land Degradation in a Dry Mediterranean Agro-Forest Landscape (Crete, Greece). *Arid Land Research and Management*, 29(3), 360-374. http://dx.doi.org/10.1080/15324982.2014.968691

Khajeddin, S.J., Akbari, M., Karimzadeh, H.R., & Eghbal, M.K. (2008). Detecting desertification processes using TM and ETM+ data, north of Isfahan, Iran. *Chinese Journal of Plant Ecology*, *32*(2), 328-335. https://doi.org/10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.009

Khashtabeh, R., Akbari, M., Kolahi, A., & Talebanfard, A. (2020). Assessing the Effects of Desertification Control Projects Using Socio-Economic Indicators in the Arid Regions of Eastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 10455–10469. https://doi.org/10.1007/s10668-020-01065-6

Klomp, J., & Hoogezand, B. (2018). Natural disasters and agricultural protection: A panel data analysis. World Development 104, 404-417. https://doi.org/ 10.1016/j.worlddev.2017.11.013

Kosmas C., Kirkby M., & Geeson N. (1999). The Medalus Project, Mediterranean desertification and land use. European Commission. European Union 18882, 66–73. https://catalogue.unccd.int/629_Medalus_ESA_%20Manual.pdf

Kosmas, C., Tsara, M. Moustakas, N. D. Kosma, D. & Yassoglou, N. (2006). Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification. In: Kepner, W.G., Rubio, J.L., Mouat, D.A., Pedrazzini, F. (eds) Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. NATO Security Through Science Series, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org.10.1007/1-4020-3760-0_25

Kristiansen, P. (2004, September). The DPSIR Approach, Paper Presented at the Workshop on a Comprehensive/Detailed Assessment of the Vulnerability of Water Resources to Environmental Change in Africa Using River Basin Approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.

Lahlaoi, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Moukrim, S. (2017). Desertification Assessment Using MEDALUS Model in Watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences*, *7*(50), 1-16. https://doi.org/10.3390/geosciences7030050

Lamqadem, P., & Rahimi. S. (2018). Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, *Morocco Sensor*, 18(7), 2230. https://doi.org/10.3390/s18072230

Magdy, M., El-Salam, A., & Elhakem, A.H. (2016). Desertification and Its Effect on the Erosion of Vegetation in the South-Western Region of Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188* (3), 164-173. https://doi.org/ 10.1007/s10661-016-5164-z

Memarian, H., Komeh, Z., Tavasoli, A., Tajbakhsh, M., Abbasi, A., & Parsayi, L, (2016). Health and Environmental Considerations of Rooftop Catchment Systems (Case study: Aq Gala, Golestan Province, Iran). *Water Harvesting Research*, *1*, 1-11. https://doi.org/ 10.22077/JWHR.2017.372

Memarian, H., & Akbari, M. (2021). Prediction of Combined Effect of Climate and Land Use Changes on Soil Erosion in Iran Using GloSEM Data. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *8*(2), 513-534. [In Persian]. https://doi.org.10.22059/ije.2021.320754.1482

Mohammadi, R., Dastorani, M.T., Akbari, M., & Ahani, H. (2019). The Impacts of Magnetized Water Treatment on Different Morphological and Physiological Factors of Plant Species in Arid Regions. *Water Supply*, *19*(6), 1587-1596. https://doi.org/10.2166/ws.2019.027

Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020a). GIS-Based Agro-Ecological Zoning for Crop Suitability Using Fuzzy Inference System in Semi-Arid Regions. *Ecological Indicators*, *117*, 106646. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646

Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020b). An Integrated Approach Land Suitability for Agroecological Zoning Based on Fuzzy Inference System and GIS. *Environment, Development and Sustainability*, *25*, 2316-2338. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02127-7 ·

Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., & Neamatollahi, E. (2018). Spatio-Temporal Monitoring of Groundwater Changes on Desertification Intensity in Agricultural Areas in Dargaz Plain, Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *7*(21), 75-90. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112660_en.html?lang=en

Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., Neamatollahi, E., & davari, S. (2019). Quantitative Assessment of Desertification Intensity Indices in the Agricultural Lands of Dargaz Plain, Khorasan Razavi Province. *Desert Management*, *7*(13), 149-170. https://doi.org.10.22034/jdmal.2019.36537 [In Persian]

Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., & Siwailam, M. (2010). A Dynamic Simulation Model of Desertification. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, *13*, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.03.001

Salvati, L., & Bajocco, S. (2011). Land Sensitivity to Desertification Across Italy: Past, Present, and Future. *Applied Geography*, *31*, 223–231. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.04.006

Salvati, L., & Toward, A. (2014). Toward a 'Sustainable' Land Degradation? Vulnerability Degree and Component Balance in a Rapidly Changing Environment. *Environment, Development and Sustainability*, *16*, 239–254. https://doi.org/10.1007/s10668-013-9463-z

Sarbazi, M., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., & Akbari, M. (2022). Quantitative Assessment of the Desertification Intensity and Risk: A Case Study of Sarakhs City. *Desert Ecosystem Engineering*, *10*(31), 15-30. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112736.html?lang=en [In Persian]

Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of Solar Energy in Developing Countries for Reducing Energy-Related Emissions. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *90*, 275–291. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065

Sekovski, I., Newton, A., & Dennison, W.C. (2012). Megacities in the Coastal Zone: Using a Driver-Pressure-State-Impact-Response Approach to Address Complex Environmental Problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *96*, 48-59. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.011

Talebanfard, A. A., Akbari, M., & Azami rad, M. (2022). Sensitivity Areas Assessment of Desertification Using ESAs Model and Prioritizing Management Strategies (Case study: Kavir-e- Namak Basin, Khorasan Razavi Province). *Desert Management*, *10*(2), 1-20. https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.549710.1377 [In Persian]

UNCED. (1992, June). Managing Fragile Ecosystems: Combating Desertification and Drought. United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, Brazil.

UNCCD. (2020). Desertification – Coping with today's global challenges in the context of the strategy of the United Nations Convention to combat desertification, Unites Nations Convention to Combat Desertification. Report on the HighLevel Policy Dialogue. Bonn, Germany.

Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q., & Yang, J. (2016). Ecosystem Health Assessment Based on DPSIRM Framework and Health Distance Model in Nansi Lake, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*, 1235–1247. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1109-2.

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.240-262 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83023.1385 Open access

Explaining the economic resilience of touristic villages against the disease of Kovid-19 (case study: villages of Rasht County)

Shiva Ganjian[a], Nasrollah Molaei Hashjin*[b], Atosa Bigdeli [c]

[a] *PhD Candidate of Geography and Rural Planning, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran*
[b] *Professor of Geography Department, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran*
[c] *Assistant Professor of Geography Department, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran*

Received: 12 May 2023 ***Revised: 21 June 2023*** ***Accepted: 4 July 2023***

Abstract

The current research aims to investigate the economic resilience of the touristic villages of Rasht County against the Covid-19 disease. The current research is applied according to its purpose and the study method is descriptive-analytical according to the method and nature of the research. To collect information, library methods, documents, direct observation methods and field methods have been used. And in order to analyze the data, SPSS software, GIS and Mamdani and Dimtel fuzzy models have been used. Based on the data analysis, the economic resilience of touristic villages in Rasht County against the corona disease is very low. And based on the results of Detmel's model; The indicators (job and activity flexibility, having economic and financial support, having economic and financial capability, flexibility against shocks and finally economic innovation and creativity) are placed in the positive half of the diagram of causal factors. which shows the high influence of these indicators and the indicators (psychological flexibility, solution-seeking, low economic vulnerability, adaptability and adaptability, financial management) are placed in the negative half of the chart of disabled factors which shows the high effectiveness of these indicators. Based on this, it was determined that among the cause indicators, in order: economic innovation and creativity, having economic and financial support, having economic and financial capability, job and activity flexibility, having support economic and financial), have the most and the least influence on the longevity of people in the tourism sector. In the following, the results of the spatial analysis of the villages of Rasht County based on their economic resilience against Corona showed that more than half of the studied villages have economic resilience against Corona in the range of (low and high) is low).

Keywords: Economic resilience, Rural tourism, COVID-19, Spatial analysis, Fuzzy models, Rasht County

* .Corresponding author: Nasrollah Molaei Hashjin Email: nmolaeih@iaurasht.ac.ir Tel: +989111311751

How to cite this Article: Gamjian, S., Molaei Hashjin, N., & Bigdeli, A. (2024). Explaining the economic resilience of touristic villages against the disease of Kovid-19 (case study: villages of Rasht County). *Journal of Geography and Environmental Hazards, 13*(2), 240-262.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۶۲-۲۴۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83023.1385 دسترسی آزاد

تبیین تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر بیماری کووید-۱۹ (موردمطالعه: روستاهای شهرستان رشت)

شیوا گنجیان- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

نصرالله مولائی‌هشجین[1] -استاد گروه جغرافیا،واحد رشت ،دانشگاه آزاد اسلامی،رشت،ایران

آتوسا بیگدلی-استادیار گروه جغرافیا ،واحد رشت ،دانشگاه آزاد اسلامی ،رشت،ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۲/۲۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۳/۳۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۴/۱۳

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تبیین تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر بیماری کووید ۱۹، پرداخته شده است. تحقیق حاضر بر حسب هدف، کاربردی و شیوه مطالعه بر حسب روش و ماهیت تحقیق توصیفی-تحلیلی است. برای گردآوری اطلاعات از روش‌های کتابخانه‌ای، اسنادی، روش مشاهده مستقیم و روش‌های میدانی استفاده شده است و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات از نرم‌افزار SPSS، GIS و مدل‌های فازی ممدانی و دیمتل استفاده شده است. برآیند تحلیل اطلاعات نشان داد، میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در شهرستان رشت در برابر بیماری کرونا بسیار کم است و بر اساس نتایج مدل دیتمل، شاخص‌های (انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها و درنهایت نوآوری و خلاقیت اقتصادی) در نیمه مثبت نمودار عوامل علی قرار گرفته‌اند که نشان از تأثیرگذاری بالای این شاخص‌ها است و شاخص‌های (انعطاف‌پذیری روانی، چاره‌جویی، آسیب‌پذیری اقتصادی کم، قابلیت تطبیق و سازگاری، مدیریت مالی) در نیمه منفی نمودار عوامل معلول قرار گرفته‌اند که نشان از تأثیرپذیری بالای این شاخص‌ها دارد. بر این اساس، از بین شاخص‌های علت به ترتیب: نوآوری و خلاقیت اقتصادی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، بیشترین و کمترین میزان تأثیرگذاری را بر ماندگاری افراد در شغل بخش گردشگری را به خود اختصاص داده‌اند. در ادامه نیز نتایج تحلیل فضایی روستاهای شهرستان رشت بر اساس میزان تاب‌آوری اقتصادی در برابر کرونا نشان داد، بیش از نیمی از روستاهای موردمطالعه، میزان تاب‌آوری اقتصادی‌شان در برابر کرونا در حد (کم و بسیار کم) است.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری اقتصادی، گردشگری روستایی، کووید-۱۹ ، تحلیل فضایی ،مدل های فازی، شهرستان رشت.

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۳۱۱۷۵۱ Email:nmolaeih@iaurasht.ac.ir

مقدمه

فعالیت گردشگری بسیار شکننده است و به پدیده‌ها و تغییرات بیرونی بسیار حساس است و به‌نوعی می‌توان گفت گردشگری فعالیتی شیشه‌ای و شکننده است (Buckle, Marsh, & Smale, 2001) و در مواجهه با بحران‌های موجود به‌شدت متأثر می‌شود. شاید بتوان گفت یکی از دلایل اساسی در آسیب‌پذیری بالای این فعالیت؛ آمیختگی و هم پیوندی محصول گردشگری و سفر است که حاصل تعامل و همکاری بخش‌های مختلف ازجمله حمل‌ونقل، اقامت، پذیرایی و غیره است. بر این اساس، مقاصد و جوامع تلاش دارند تا اثرات منفی ناشی از بحران‌های مختلف را به حداقل رسانده و زمینه را برای بازیابی توان سیستم گردشگری مقصد و کسب‌وکارهای مرتبط با آن را پس از فروکش کردن بحران‌ها فراهم سازند (Ziaee, Hassan Pour, & Parsa Shakib, 2021). در این راستا، بحران ناشی از ویروس کووید -۱۹ در سه سال اخیر تأثیر قابل‌توجهی در توسعه اقتصادی در سراسر جهان داشته است. برای مقابله با این بحران اعمال قرنطینه‌های بزرگ، محدودیت‌های سفر و فاصله‌گذاری اجتماعی افت شدید را در مصرف و هزینه‌های تجاری باعث شد. این وضعیت موجب رکود اقتصادی در سطح جهان شده است (Bakar & Rosbi, 2020). با توجه به آخرین اطلاعات، می‌توان گفت در طی قرن گذشته، جهان با چنین بیماری همه‌گیر روبرو نشده است. با توجه به این که فعالیت‌های گردشگری و سفرها در سطح بین‌المللی انجام می‌شوند، همه کشورها برای جلوگیری از شیوع این ویروس، فعالیت‌های گردشگری و جابجایی‌های بین‌المللی را محدود کردند. به‌طوری‌که برخی کشورها مرزهای خود را کاملاً بسته و برخی دیگر گذرگاه‌های مرزی را محدود کردند و کشورها به شهروندان خود هشدار دادند جز در موارد ضروری سفر نکنند (Günay, Bayraktaroğlu, & Özkul, 2020). بحران ناشی از شیوع ویروس کووید -۱۹ به دلایل مختلفی چون همه‌گیر بودن آن، طولانی و نامشخص بودن مرحله گذار از این بحران و نیز به دلیل اثرات تجمعی ناشی از هم‌زمانی این بحران با بحران‌های اجتماعی و اقتصادی، از بحران‌هایی که تاکنون تجربه شده‌اند متمایز است. طبق گزارش UNWTO سفر و گردشگری در جهان با کاهش ۷٤ درصدی گردشگران بین‌المللی بدترین دوران خود را در سال ۲۰۲۰ گذرانده است. مقصدها در سراسر جهان با کاهش ۱ میلیاردی گردشگران ورودی در سال ۲۰۲۰ در مقایسه با سال ۲۰۱۹ روبرو بوده‌اند که این کاهش در مقایسه با بحران جهانی سال ۲۰۰۹، ٤ درصد کمتر است. طبق بارومتر گردشگری UNWTO، کاهش سفرهای بین‌المللی در سطح جهان برابر با از دست دادن ۱/۳ تریلیون دلار درآمد حاصل از صادرات است. بحران کووید ۱۹ حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلیون از مشاغل مستقیم گردشگری را در معرض خطر قرار داده است که بسیاری از آن‌ها در دسته شرکت‌های کوچک و متوسط قرار دارند. (Ziae et al., 2021)؛ بنابراین، پژوهش‌های در همین راستا صورت گرفته است که به چند مورداشاره می‌گردد:

Ziae et al., 2021، در پژوهشی تحت عنوان، توسعه‌ی الگوی مدیریت بحران در صنعت گردشگری موردمطالعه: بحران همه‌گیری ویروس کووید ۱۹، به این نتایج دست یافتند، اهداف و راهبردهای مناسب در سه مرحله این پژوهش به ترتیب شامل: مرحله‌ی پیش از بحران، هدف پیشگیری و راهبردهای آن آمادگی و توانمندسازی، مرحله حین بحران، هدف مدیریت اثرات و راهبردهای آن راهبردهای کنشی/ واکنشی و کاهش خسارات و مرحله‌ی پس از بحران نیز هدف احیا و ارتقا و راهبردهای مناسب آن نیز بازنگری بازاریابی، مدیریت مالی/کارایی عملیات و تاب‌آوری کسب‌وکار است.

Bahmani & Nazoktabar, 2021، در پژوهشی تحت عنوان، بررسی تأثر سرمایه‌های معیشتی بر بهبود تاب‌آوری روستاییان در همه‌گیری کرونا، تبیین نقش میانجی بهزیستی اجتماعی، به این نتایج دست یافتند، سرمایه معیشتی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تاب‌آوری روستاییان در مقابل همه‌گیری کرونا دارد. همچنین نتایج نشان داد که سرمایه معیشتی تأثیر معناداری بر بهزیستی اجتماعی دارد و درنهایت بهزیستی اجتماعی بر بهبود تاب‌آوری اهالی روستا تأثیر معناداری دارد.Dadvarkhani, & Mousavi, 2022 ، در پژوهشی تحت عنوان، تحلیل پیامدهای همه‌گیری کرونا بر اقتصاد روستایی، به این نتایج دست یافتند، هزینه‌های تحمیل شده در اثر اپیدمی کرونا و همچنین کاهش تولید و عرضه در سطح داخلی و خارجی با تأثیر بر زنجیره تأمین، تقاضا و نقدینگی بر بنگاه‌ها و با تأثیر بر عرضه نیروی کار، مصرف کالاها و خدمات و به‌ویژه با کاهش درآمد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، گردشگری، صنایع‌دستی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر اقتصاد روستا تأثیرگذار است. Azizi, Hosseinpour, & Jamshidi, 2022، در پژوهشی تحت عنوان، الگوی احیای کسب‌وکارهای کوچک و متوسط روستایی آسیب‌دیده در بحران کووید ۱۰ (موردمطالعه: کسب‌وکارهای روستایی استان کرمانشاه)، به این نتایج دست یافتند، دو عامل مالی، تسهیلاتی و خدماتی، حمایتی موجب توانمندسازی کسب‌وکار شده و این عامل به‌نوبه خود می‌تواند منجر به زمینه‌سازی برای اخذ تصمیم‌هایی با محوریت مشتری، بازار و بازاریابی باشد. Lomboy et al., 2019، در پژوهشی تحت عنوان، ایجاد تاب‌آوری اقتصادی برای تأمین آینده خانواده‌های ماهیگیران، ساکن در ساحل فیلیپین، به این نتایج دست یافتند، بهبود شرایط اقتصادی خانواده‌ها و افزایش دارایی‌های آنان، از طریق حفاظت و تسهیل روابط متقابل بین تنوع زیستی و معیشت ماهیگیران، تأثیر بسزایی در کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی و افزایش تاب‌آوری اقتصادی ماهیگیران دارد. Haque, & Haque, 2018، در پژوهشی تحت عنوان، تأثیرات کووید ۱۹ بر صنعت گردشگری چین، به این نتایج دست یافتند که بسیاری از خطوط هواپیمایی داخلی و بین‌المللی آژانس‌ها و مراکز اقامتگاهی به دلیل کاهش تعداد و یا عدم وجود گردشگران با مشکلات اقتصادی عدیده‌ای روبرو شده‌اند و صنعت گردشگری در این کشور به بن‌بست رسیده است و رکود در این صنعت اثرات قابل‌توجهی بر اقتصاد کل کشور گذاشته است.Lusk, & Anderson, 2020 ، در پژوهشی تحت عنوان، تأثیرات کووید ۱۹ بر اقتصاد

روستایی، به این نتایج دست یافتند که بیماری کووید ۱۹، موجب وقفه در تولیدات و فعالیت‌های اقتصادی در سراسر جهان شده است. دولت‌ها از طریق اعطای وام و حقوق و دستمزد و اداره نمودن کسب‌وکارهای کوچک قادر هستند تا میزان ضرر و زیان وارده را جبران نمایند.Skare et al., 2021 ، در پژوهشی تحت عنوان، اثرات کووید ۱۹ بر صنعت سفر و گردشگری، به این نتایج دست یافتند، سیاست‌گذاران این صنعت باید مکانیسم جدیدی برای آمادگی با بحران توسعه دهند، زیرا این همه‌گیری تأثیرات منفی بلندمدتی را بر اقتصاد و صنعت گردشگری گذاشته است که به طرز قابل‌توجهی از همه‌گیری‌های پیشین بیشتر است. Ngoc Ngo, (2022)، در پژوهشی تحت عنوان، مبانی تاب‌آوری روستایی: آمریکا در طول همه‌گیری COVID-19، به مسیرهای مفهومی و تجربی برای حمایت توسعه اقتصادی و اجتماعی در مناطق روستایی آمریکا با ورود ویروس کرونا ارائه داده است.

اصطلاح تاب‌آوری دارای سابقه طولانی است و کاربرد آن حداقل به یک قرن قبل از میلاد برمی‌گردد (Alexander, 2013). این واژه اولین بار در فیزیک و ریاضیات در جهت تشریح قابلیت برخی از مواد خاص برای برگشت به شکل عادی خود، هنگام جابجایی، مورداستفاده قرار گرفت (Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche, & Pfefferbaum, 2008)؛ اما مفهوم تاب‌آوری در دوران مدرن دهه ۷۰ به نظریه تئوری سیستمی بر می‌گردد و اولین بار با کار کرافورد استنلی هولینگ آغاز شد (Holling, 1973). اگرچه مفهوم تاب‌آوری اولین بار در علوم و مهندسی مصالح استفاده شد؛ اما بعدازآن در زمینه‌های محیط‌زیست (Holling, 1973)، مدیریت بحران (Pasban, 2004; Rose, 2007; Blackman, Nakanishi, & Benson, 2017) استفاده شد. تاب‌آوری به شکل امروزی به‌عنوان یک مفهوم با یک تعریف بیان شود، به‌عنوان شیوه تفکر شناخته شده است و ارائه راه‌حل و نتیجه مطلوب برنامه‌ریزی است که با رشته‌ای مختلف ترکیبی نو از تاب‌آوری حوزه برنامه‌ریزی با جهت‌گیری‌های مختلف (اجتماعی، اقتصادی، کالبدی، مدیریتی، سیاسی، فرهنگی، زیست‌محیطی و ...) شده است و اکتشافات کاهش خطرات زیست-محیطی مانند زلزله، سیل، طوفان، گرم شدن کره زمین و شیوع بیماری واگیر کرونا ۱۹ ذهن برنامه‌ریزان به z سمت تاب‌آوری اختصاص یافته است.

در ادبیات اقتصادی، دیدگاه دیگری نیز در مورد تاب‌آوری اقتصادی مطرح است، برخی از پژوهشگران نظیر Barthel & Isendahl, 2013 و Tidball & Stedman, 2013 معتقدند تاب‌آوری اقتصادی به دولت‌ها کمک می‌کند که به شرایط یک یا چند بخش اقتصادی خاص کشور به‌طور دقیق‌تر بپردازد و آن را از دیدگاه‌های مختلف بررسی کنند (Morkūnas, Volkov, & Pazienza, 2018). برخی از محققان نظیر؛ Maler, 2008 و Baumgartner & Strunz, 2014، تاب‌آوری اقتصادی را به‌عنوان یک سیاست بیمه در مسیر تکامل اقتصاد مطرح می‌کنند. در این دیدگاه تاب‌آوری اقتصادی صرفاً یکی از ویژگی‌های نظام اقتصادی مطرح شود. در سال‌های اخیر، تاب‌آوری اقتصادی به‌عنوان یکی از نشانه‌های موفقیت نظام اقتصادی در چهار حوزه اصلی سازگاری، توانایی رسیدن به تعادل

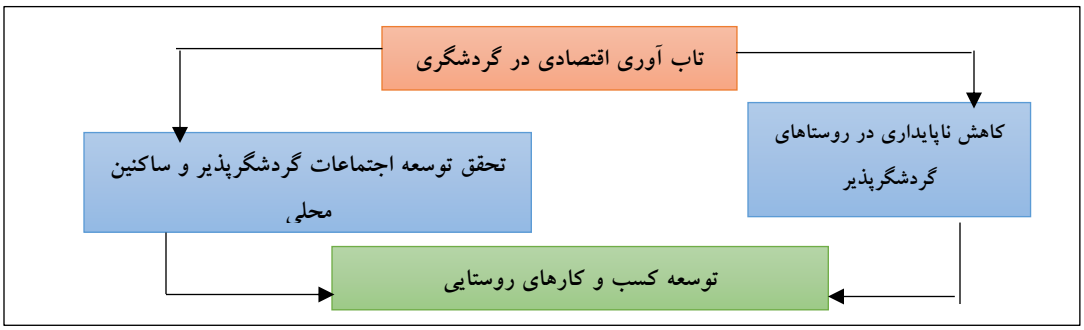
بهینه، همگرایی و انعطاف‌پذیری شناخته شده است (Christopherson, Michie, & Tyle, 2010) در این راستا، کسب‌وکارهای روستایی نیز یکی از کسب‌وکارها را تشکیل می‌دهد که امروزه با توجه به بازساخت الگوهای کارکردی بسیاری از نواحی روستایی، طراحی کسب‌وکارهای جدید گردشگری در نواحی روستایی یکی از پویاترین ابعاد کارآفرینی را تشکیل می‌دهد. فعالیت‌هایی که در مقاصد گردشگری با اهدافی نظیر بهبود معیشت و رفاه اقتصادی شکل می‌گیرد. هم‌راستا با سایر نقاط جهان با سطوح مختلفی، از تهدیدات و ریسک مخاطرات گوناگون نظیر گرمایش جهانی، کاهش تنوع جاذبه‌های گردشگری، تراکم جمعیت انسانی، کاهش خدمات قابل‌عرضه، عدم تعادل‌های مالی در منطقه، نابرابری درآمدها و نابرابری‌های اجتماعی مواجه است (Davidson, 2010). تاب‌آوری کسب‌وکارها و برنامه‌ریزی تاب‌آوری، رهیافتی مؤثر برای تحقق توسعه اجتماعات گردشگرپذیر و کاهش احتمال ناپایداری ناشی از رخداد شرایط مختل‌کننده در روند عادی این کسب‌وکارها است. رایج‌ترین چشم‌انداز تاب‌آوری در گردشگری بر بازاریابی صنعت گردشگری و شمار گردشگران ورودی به مقصد به‌تبع تغییر سریع متغیرهای ناشی از رخدادهای غیرمنتظره و یا قابل پیش‌بینی و تأثیر آن بر اقتصاد و کسب‌وکارهای گردشگری است. در واقع ممکن است تاب‌آوری گردشگری بر تغییر متغیرهای اجتماعی، محیطی و اقتصادی سازنده گردشگری به‌طور یکپارچه توجه نماید اما هدف نهایی از توجه به آن، ایجاد تاب‌آوری کسب‌وکارهای مرتبط با این متغیرها در برابر رخدادهای شکننده بیرونی است.

در کشور ایران نیز با شیوع ویروس کرونا، شمار گردشگران ۹۰ درصد نیز نسبت به سال‌های گذشته با کاهش روبه‌رو شده است. گردشگری در همه‌ی شهرها و روستاهای ایران در دوران کرونا خسارت‌های جبران‌ناپذیر زیادی را به بار آورده است که بیشترین برآورد خسارات به روستاهای گردشگرپذیر بوده است. در این راستا، آنچه در مبحث کووید -۱۹ در بخش گردشگری قابل‌توجه و اهمیت است، تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر این بحران است.

تاب‌آوری اقتصادی در برابر ویروس کووید-۱۹ بسیار مهم بوده و تحقق رشد شتابان و پایدار مستلزم ارتقای سطح تاب‌آوری مردم و نواحی روستایی است. در این رویکرد، آسیب‌های ناشی از بحران ویروس کووید -۱۹ و تأثیر آن بر مردم روستایی در سطوح مختلف متفاوت است. اغلب تحقیقات نشان می‌دهد که مردم محلی و روستاییان به دلیل اقتصاد ضعیف از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار هستند (Costin, 2014)، لذا با توجه به آن‌که اقتصاد روستاییان روستاهای گردشگرپذیر دارای آسیب‌پذیری بالایی است و با کوچک‌ترین تغییرات دچار مشکلات اقتصادی و اجتماعی متعددی می‌شوند (Sejasi Khidari, Khoob, Hosseini Kohnuj, & Moradi, 1397). افزایش تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر بحران ویروس کووید -۱۹، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود وضعیت

اقتصادی روستاییان، بهبود کیفیت زندگی آنان، توسعه پایدار روستایی، تقویت مشارکت و درنهایت رشد و توسعه اقتصادی داشته باشد.

در این بین، روستاهای شهرستان رشت همچون سایر روستاهای ایران، ساکنینشان ویروس کووید -۱۹ را تجربه کرده‌اند، روستاهای این شهرستان به دلیل برخورداری از آب‌وهوای مساعد و تنوع منابع و جاذبه‌های گردشگری و به‌ویژه گردشگری طبیعت مبنا از مطلوبیت بالایی در زمینه گردشگری برخوردار می‌باشند، به‌طوری‌که سالانه پذیرای زیادی از گردشگران در روستاها هستند، شیوع ویروس کرونا موجب خسارات اقتصادی در سطح روستاهای این شهرستان شد، به‌نحوی‌که بسیاری از کسب‌وکارهای خرد و کوچک حاصل از گردشگری منحل و یا رو به تعطیل شد، ولی آنچه دراین‌بین اهمیت فراوانی دارد، بررسی میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای این شهرستان در مقابل ویروس کرونا است، در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال بررسی و تبیین تاب‌آوری اقتصادی روستاهای شهرستان رشت در مقابل ویروس کووید -۱۹ است.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

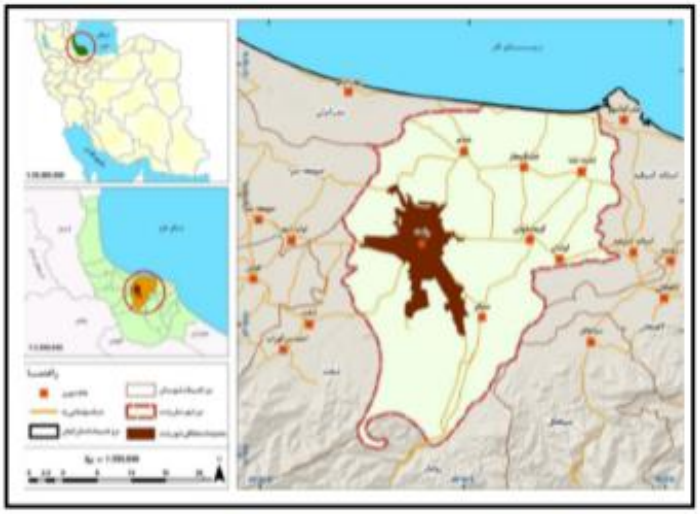
Fig.1. Conceptual model of research

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهرستان رشت در شمال ایران و مرکز استان گیلان است. مرکز این شهرستان یعنی شهر رشت همچنین بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهرستان شمال ایران در بین سه استان ساحلی دریای خزر(گیلان، مازندران و گلستان) محسوب می‌شود. همچنین شهرستان رشت قرار دارد. این شهرستان شامل ٦ بخش با نام‌های بخش مرکزی شهرستان رشت (دهستان پسیخان، دهستان پیربازار، دهستان حومه، دهستان لاکان)، بخش خشکبیجار (دهستان حاجی بکنده خشکبیجار، دهستان نوشر خشکبیجار)، بخش سنگر (دهستان اسلام‌آباد، دهستان سراوان، دهستان سنگر)، بخش کوچصفهان (دهستان بلسبنه، دهستان کنارسر، دهستان لولمان)، بخش لشت نشا (دهستان جیرهنده لشت نشا،

دهستان علی‌آباد زیباکنار، دهستان گفشه لشت نشا)، بخش خمام[1] (دهستان چوکام، دهستان چاپارخانه، دهستان کته سرخمام) می‌باشد.



شکل ۲- نقشه موقعیت سیاسی شهرستان رشت بر حسب بخش و دهستان

Fig.2. Map of the political situation of Rasht County by district and Rural district

روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف در گروه تحقیقات کاربردی قرار دارد و از لحاظ ماهیت و روش‌شناسی در گروه پژوهش‌های توصیفی – تحلیلی است، با توجه به موضوع تحقیق، از روش‌های کتابخانه‌ای- اسنادی و همچنین از روش میدانی استفاده شده است. ابزار تحقیق پرسشنامه است، ابعاد و شاخص‌های موردمطالعه با استفاده از مبانی نظری و پیشینه تحقیق تنظیم شد و در قالب پرسشنامه منعکس شد. جدول (۱). همچنین در پژوهش حاضر، از دو بخش جامعه نمونه بهره گرفته شد که به شرح ذیل است:

- جامعه آماری کلیه افراد در حوزه کسب‌وکارهای گردشگری در روستاهای گردشگرپذیر در شهرستان رشت در بخش‌های (مرکزی، خشکبیجار، لشت نشاء، کوچصفهان، سنگر، خمام) می‌باشد که در موقعیت طبیعی جلگه‌ای، کوهپایه‌ای، ساحلی، قرار گرفته‌اند که اندازه آن‌ها در مقیاس‌های (کوچک، متوسط و بزرگ)، تقسیم‌بندی شده‌اند. به‌منظور تعیین حجم نمونه از نمونه‌گیری در دسترس استفاده شد. بر این

[1] از سال ۱۴۰۰ بخش خمام از شهرستان رشت منتزع و با دو بخش مرکزی و چوکام و چهار دهستان (فرشکی، چوکام، چاپارخانه و کته سرخمام) به شهرستانی به همین نام ارتقائ یافته است ودر تحقیق حاضر در قالب شهرستان رشت با توجه به زمان انجام پژوهش آورده شده است.

اساس تعداد (۱۷۰) نفر به تفکیک هر یک از روستاها بر اساس اندازه وسعت و جمعیتشان به مشخص شد.

- در بخش دوم، مدیران روستاهای گردشگرپذیر (دهیاران، اعضای شورای روستاها)، می‌باشند. حجم نمونه اعضای نمونه بر اساس نمونه‌گیری در دسترس انجام شده است که درنهایت تعداد (۳۷)، نفر تعیین شد.

درنهایت به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات نیز از نرم‌افزار SPSS و GIS و مدل‌های (فازی ممدانی و دیمتل) استفاده شده است.

جدول ۱- شاخص‌ها و گویه‌های تاب‌آوری اقتصادی

Table1- Indicators and subjects of economic resilience

ابعاد تاب‌آوری	شاخص	گویه
اقتصادی	انعطاف پذیری شغلی و فعالیتی	تنوع شغلی و درآمدی
		تعداد شاغلان در خانواده
		کاهش افراد بیکار در خانواده
		امکان راه‌اندازی فعالیت‌ها اقتصادی جدید
	حمایت اقتصادی و مالی	برخورداری از حمایت‌های بیمه در صورت خسارت دیدن
		برخورداری از حمایت‌های مالی دولتی
		اعطای یارانه توسط دولت به کسب‌وکارها
		کاهش مالیات توسط دولت
		برخورداری از حمایت مالی خانواده
		امکان دریافت سریع تسهیلات بانکی
	توانمندی اقتصادی و مالی	امکان بازگشت به کسب‌وکار در زمینه گردشگری
		امکان جبران تلفات احتمالی در کسب‌وکار مربوط به گردشگری
		آگاهی از ریسک‌های اقتصادی مرتبط با کسب‌وکارهای گردشگری
		توانایی برگشت دوباره به کسب‌وکار گردشگری
		داشتن مهارت‌های کاری مختلف
		برخورداری از پس‌انداز اقتصادی کافی
		داشتن ثبات درآمدی
	انعطاف پذیری در برابر شوک و انعطاف پذیری روانی و تحمل-های شوک‌ها	توانایی تحمل شرایط نامطلوب گردشگری در زمان کرونا
		تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری
		توانایی انطباق با بحران پیش آمده
		توانایی بازگشت به شرایط مطلوب
		اعتقاد به گذرا بودن شرایط نامطلوب اقتصادی
		نگاه مثبت به آثار و پیامدهای بحران‌های اقتصادی

ابعاد تاب‌آوری	شاخص	گویه
		داشتن احساس توانایی نسبت به کنترل زندگی
		امیدواری به شرایط بهتر اقتصادی در آینده
		داشتن روحیه تلاشگر اقتصادی
		تجربه مواجه و مقابله با مشکلات اقتصادی پیش روی آمده
	چاره‌جویی و آسیب‌پذیری اقتصادی کم	توانایی یافتن راه‌حل‌های سریع و درست
		آگاهی و دسترسی به مراجع حمایتی
		اتخاذ تصمیمات درست و منطقی
		تأثیرپذیری کم زندگی از تغییرات درآمدی
		وابستگی کم به منابع درآمدی شغل مربوط به گردشگری
	نوآوری و خلاقیت اقتصادی	توانایی ایجاد راهکارهای جدید برای مقابله با وضعیت پیش روی آمده
		داشتن ایده‌ها و راهکارهای جدید شغلی
		داشتن شغل جایگزین برای کسب‌وکار گردشگری پیش آمده
		امکان راه‌اندازی کسب‌وکار جدید
	قابلیت تطبیق و سازگاری و مدیریت مالی	توانایی سازگاری با شرایط بحرانی
		توانایی تطبیق فعالیت‌های اقتصادی با شرایط بحرانی کرونا
		توانایی برگشت دادن کسب‌وکارهای مربوط به گردشگری به شرایط مطلوب
		توانایی تأمین منابع مالی موردنیاز
		توانایی استفاده مطلوب از منابع مالی موجود
		توانای کاهش هزینه‌های غیرضروری در فعالیت اقتصادی

نتایج و بحث

قبل از بررسی میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر بیماری کووید ۱۹، به نرمال بودن شاخص‌ها پرداخته شده است. مطابق جدول (۲)، نتایج به دست آمده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف حاکی از این واقعیت می‌باشد که همه شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند. نتایج به دست آمده نشان داد، مقدار سطح معناداری در همه شاخص‌ها بزرگ‌تر از مقدار خطا (۰/۰۵) است؛ بنابراین در سطح معناداری ۹۵ درصد توزیع این نمونه نرمال است.

جدول ۲- نتایج آزمون کولموگروف اسمیرونوف برای تاب‌آوری اقتصادی

Table2- The results of the Kolmogorov Smironov test for economic resilience

شاخص	سطح معناداری	میزان خطا	آماره کولموگروف اسمیرونوف	نتیجه‌گیری
انعطاف پذیری شغلی و فعالیتی	۰/۲۴۴	۰/۰۵	۱/۱۸۷	نرمال
برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی	۰/۲۵۶	۰/۰۵	۱/۱۵۵	نرمال
داشتن توانمندی اقتصادی و مالی	۰/۲۶۶	۰/۰۵	۱/۱۵۴	نرمال
انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها ازجمله کرونا	۰/۲۵۴	۰/۰۵	۱/۱۷۳	نرمال
انعطاف‌پذیری روانی و تحمل شوک	۰/۲۷۶	۰/۰۵	۱/۱۸۳	نرمال
چاره‌جویی	۰/۲۶۶	۰/۰۵	۱/۱۸۴	نرمال
آسیب‌پذیری اقتصادی کم	۰/۲۶۱	۰/۰۵	۱/۱۶۶	نرمال
نوآوری و خلاقیت اقتصادی	۰/۲۷۸	۰/۰۵	۱/۱۶۲	نرمال
قابلیت تطبیق و سازگاری	۰/۲۶۶	۰/۰۵	۱/۶۶۹	نرمال
مدیریت مالی	۰/۲۶۶	۰/۰۵	۱/۶۶۹	نرمال

در ادامه نیز، به‌منظور بررسی میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر بیماری کووید ۱۹، از آزمون T تک نمونه‌ای استفاده شده است. نتایج حاصله از آزمون به تفکیک هر یک از شاخص‌ها و گویه‌های آن، در جداول شماره ۲ تا ۹ آورده شده است.

جدول ۳- وضعیت گویه‌های شاخص انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی

Table3- The status of indicators of occupational and activity flexibility

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۰/۹۵	
				بالا	پایین
تنوع شغلی و درآمدی	۲/۱۳	۲۴/۱۳۲	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰۳
تعداد شاغلان در خانواده	۲/۲۰	۲۴/۲۲۳	۰/۰۰۰	۲/۳۲	۲/۱۰
کاهش افراد بیکار در خانواده	۲/۱۱	۲۴/۱۱۲	۰/۰۰۰	۲/۱۵	۲/۰۰
امکان راه‌اندازی فعالیت‌ها اقتصادی جدید	۲/۲۴	۲۴/۲۲۳	۰/۰۰۰	۲/۳۵	۲/۱۱

مطابق جدول (۳)، مقدار میانگین به دست آمده پایین‌تر از حد متوسط عدد (۳)، در گویه‌های (تنوع شغلی و درآمدی، تعداد شاغلان در خانواده، امکان راه‌اندازی فعالیت‌های اقتصادی جدید و کاهش افراد بیکار در خانواده)، گویای میزان انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی کم روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر کووید ۱۹، است.

جدول ٤- وضعیت گویه‌های شاخص برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی

Table4- The status of economic and financial support indicators

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۹۵/ ۰ بالا	پایین
برخورداری از حمایت‌های بیمه در صورت خسارت دیدن	۲/۳۳	۲٤/۲۲۱	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰۳
برخورداری از حمایت‌های مالی دولتی	۲/۱٤	۲٤/۱۳۲	۰/۰۰۰	۲/۳۲	۲/۱۰
اعطای یارانه توسط دولت به کسب‌وکارها	۲/۰۰	۲٤/۰۱۲	۰/۰۰۰	۲/۱۱	۱/۸۹
کاهش مالیات توسط دولت	۲/۱۱	۲٤/۱۱۲	۰/۰۰۰	۲/۲۵	۲/۰۰
برخورداری از حمایت مالی خانواده	۲/۲۱	۲٤/۱۷۸	۰/۰۰۰	۲/۳۵	۲/۱٦
امکان دریافت سریع تسهیلات بانکی	۲/۰۳	۲٤/۰۱۸	۰/۰۰۰	۲/۱۵	۱/۹۰

همان‌طور که در جدول (٤) ملاحظه می‌گردد، وضعیت گویه‌های شاخص برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، با مقدار ۲/۳۳ در گویه برخورداری از حمایت‌های بیمه در صورت خسارت دیدن، برخورداری از حمایت‌های مالی و دولتی با مقدار ۲/۱٤، اعطای یارانه توسط دولت به کسب‌وکارها با مقدار ۲/۰۰، کاهش مالیات توسط دولت با مقدار ۲/۱۱، برخورداری از حمایت مالی خانواده با مقدار ۲/۲۱، امکان دریافت سریع تسهیلات بانکی با مقدار ۲/۰۳، گویای تاب‌آوری اقتصادی کم افراد کسبه در شاخص (برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی) در برابر بیماری کووید ۱۹ می‌باشد.

جدول ۵- وضعیت گویه‌های شاخص داشتن توانمندی اقتصادی و مالی

Table5- The status of indicators of economic and financial capability

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۹۵/ بالا	پایین
امکان بازگشت به کسب‌وکار در زمینه گردشگری	۲/۱۵	۲٤/۱۳٦	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۱۰
امکان جبران تلفات احتمالی در کسب‌وکار مربوط به گردشگری	۲/۱۱	۲٤/۱۱۲	۰/۰۰۰	۲/۱۹	۲/۰۲
آگاهی از ریسک‌های اقتصادی مرتبط با کسب‌وکارهای گردشگری	۲/۱۵	۲٤/۱۲۳	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰٤
توانایی برگشت دوباره به کسب‌وکار گردشگری	۲/۲۱	۲٤/۱۵٦	۰/۰۰۰	۲/۲۹	۲/۱۷
داشتن مهارت‌های کاری مختلف	۲/۱۷	۲٤/۱٤۳	۰/۰۰۰	۲/۲۲	۲/۱۱
برخورداری از پس‌انداز اقتصادی کافی	۲/۱۹	۲٤/۱٤۸	۰/۰۰۰	۲/۲۵	۲/۱۳
داشتن ثبات درآمدی	۲/۲۲	۲٤/۱۵۸	۰/۰۰۰	۲/۳۰	۲/۱۸

مطابق جدول (۵)، وضعیت گویه‌های شاخص (توانمندی اقتصادی و مالی)، با مقدار میانگین‌های به دست آمده پایین‌تر از حد متوسط عدد (۳)، نامطلوب ارزیابی شد. به‌عبارت‌دیگر، میزان تاب‌آوری در بین افراد کسبه روستاهای شهرستان رشت در این شاخص بسیار کم است.

جدول ٦- وضعیت گویه‌های شاخص انعطاف پذیری در برابر شوک و انعطاف پذیری روانی و تحمل‌های شوک‌ها

Table6- The status of index items of flexibility against shock and mental flexibility and tolerance of shocks

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۹۵/ بالا	پایین
توانایی تحمل شرایط نامطلوب گردشگری در زمان کرونا	۲/۱۳	۲٤/۱۳۲	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰۳
تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری	۲/۱٦	۲٤/۱٥٦	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰۹
توانایی انطباق با بحران پیش آمده	۲/۱۱	۲٤/۱۱۳	۰/۰۰۰	۲/۱۹	۲/۰۳
توانایی بازگشت به شرایط مطلوب	۲/۱۸	۲٤/۱٥۷	۰/۰۰۰	۲/۲۳	۲/۱۱
اعتقاد به گذرا بودن شرایط نامطلوب اقتصادی	۲/۱۹	۲٤/۱٥۹	۰/۰۰۰	۲/۲٦	۲/۰۸
نگاه مثبت به آثار و پیامدهای بحران‌های اقتصادی	۲/۱٤	۲٤/۱٥۲	۰/۰۰۰	۲/۱۹	۳/۰٤
داشتن احساس توانایی نسبت به کنترل زندگی	۲/۱۱	۲٤/۱۱۳	۰/۰۰۰	۲/۱۹	۲/۰۳
امیدواری به شرایط بهتر اقتصادی در آینده	۲/۲۰	۲٤/۱٥٥	۰/۰۰۰	۲/۲۸	۲/۱٦
داشتن روحیه تلاشگر اقتصادی	۲/۰۰	۲٤/۰۱۲	۰/۰۰۰	۲/۱۱	۱/۸۹
تجربه مواجه و مقابله با مشکلات اقتصادی پیش روی آمده	۲/۱۱	۲٤/۱۱۲	۰/۰۰۰	۲/۲٥	۲/۰۰

همان‌طور که در جدول (٦)، وضعیت گویه‌های شاخص انعطاف‌پذیری در برابر شوک و انعطاف پذیری روانی و تحمل‌های شوک‌ها، با مقدار ۲/۱۳ در گویه توانایی تحمل شرایط نامطلوب گردشگری در زمان کرونا، تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری با مقدار ۲/۱٦، توانایی انطباق با بحران پیش آمده با مقدار ۲/۱۱، توانایی بازگشت به شرایط مطلوب با مقدار ۲/۱۸، اعتقاد به گذرا بودن شرایط نامطلوب اقتصادی با مقدار ۲/۱۹، نگاه مثبت به آثار و پیامدهای بحران‌های اقتصادی با مقدار ۲/۱٤، داشتن احساس توانایی نسبت به کنترل زندگی با مقدار ۲/۱۱، امیدواری به شرایط بهتر اقتصادی در آینده با مقدار ۲/۲۰، تجربه مواجه و مقابله با مشکلات اقتصادی پیش روی با مقدار ۲/۱۱، گویای نامطلوب بودن این شاخص در بین افراد کسبه گردشگری در برابر بیماری کووید ۱۹ می‌باشد.

جدول ۷- وضعیت گویه‌های شاخص چاره‌جویی و آسیب‌پذیری اقتصادی کم

Table7- The status of the indicators of solution-seeking and low economic vulnerability

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۰/۹۵ بالا	پایین
توانایی یافتن راه‌حل‌های سریع و درست	۲/۲۵	۲٤/۱٦٥	۰/۰۰۰	۲/۳۲	۲/۱٥
آگاهی و دسترسی به مراجع حمایتی	۲/۱٦	۲٤/۱٥٦	۰/۰۰۰	۲/۲۱	۲/۰۹
اتخاذ تصمیمات درست و منطقی	۲/۱۹	۲٤/۱٦۱	۰/۰۰۰	۲/۲٥	۲/۰۹
تأثیرپذیری کم زندگی از تغییرات درآمدی	۲/۱۸	۲٤/۱٥۷	۰/۰۰۰	۲/۲۳	۲/۱۱
وابستگی کم به منابع درآمدی شغل مربوط به گردشگری	۲/۱۹	۲٤/۱٥۹	۰/۰۰۰	۲/۲٦	۲/۰۸

مطابق جدول (۷)، شاخص چاره‌جویی با گویه‌های (توانایی یافتن راه‌حل‌های سریع و درست با مقدار میانگین ۲/۲۵، آگاهی و دسترسی به مراجع حمایتی با مقدار میانگین ۲/۱٦، اتخاذ تصمیمات درست و منطقی با مقدار ۲/۱۹)، گویای تاب‌آوری کم روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر کرونا می‌باشد و همچنین شاخص آسیب‌پذیری اقتصادی کم با گویه‌های (تأثیرپذیری کم زندگی از تغییرات درآمدی با مقدار میانگین ۲/۱۸، وابستگی کم به منابع درآمدی شغل مربوط به گردشگری با مقدار ۲/۱۹)، نشان‌دهنده نامطلوب بودن این شاخص در روستاهای شهرستان رشت در مواجه با بیماری کرونا می‌باشد.

جدول ۸- وضعیت گویه‌های شاخص نوآوری و خلاقیت اقتصادی

Table8- The status of indicators of innovation and economic creativity

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۰/۹۵ بالا	پایین
توانایی ایجاد راهکارهای جدید برای مقابله با وضعیت پیش روی آمده	۲/۲۲	۲٤/۲۱٤	۰/۰۰۰	۲/۳٤	۲/۱۱
داشتن ایده‌ها و راهکارهای جدید شغلی	۲/۱٥	۲٤/۱۸۸	۰/۰۰۰	۲/۲۷	۲/۰۳
داشتن شغل جایگزین برای کسب‌وکار گردشگری پیش آمده	۲/۱۰	۲٤/۱۱۹	۰/۰۰۰	۲/۲٥	۲/۰۱
امکان راه‌اندازی کسب‌وکار جدید	۲/۲۲	۲٤/۲۱٤	۰/۰۰۰	۲/۳٤	۲/۱۱

همان‌طور که در جدول (۸)، ملاحظه می‌شود، وضعیت شاخص نوآوری و خلاقیت اقتصادی در گویه‌های موردمطالعه با مقدار میانگین‌های به دست آمده پایین‌تر از حد متوسط عدد (۳)، گویای این واقعیت می‌باشد که میزان تاب‌آوری روستاهای گردشگرپذیر رشت در این شاخص در برابر کووید ۱۹ بسیار کم می‌باشد.

جدول ۹-وضعیت گویه‌های شاخص قابلیت تطبیق و سازگاری و مدیریت مالی

Table9- The status of indicators of adaptability and adaptability and financial management

گویه	میانگین	T	سطح معناداری (۲ دامنه)	فاصل اطمینان تفاوت ۹۵/ بالا	پایین
توانایی سازگاری با شرایط بحرانی	۲/۳۳	۲٤/۲۱۳	۰/۰۰۰	۲/٤٥	۲/۲۱
توانایی تطبیق فعالیت‌های اقتصادی با شرایط بحرانی کرونا	۲/۲۱	۲٤/۲٤٥	۰/۰۰۰	۲/٤٤	۲/۱۱
توانایی برگشت دادن کسب‌وکارهای مربوط به گردشگری به شرایط مطلوب	۲/۱۷	۲٤/۱۹۸	۰/۰۰۰	۲/۳۱	۲/۰٦
توانایی تأمین منابع مالی موردنیاز	۲/۱۹	۲٤/۱۹۹	۰/۰۰۰	۲/۳۳	۲/۰٥
توانایی استفاده مطلوب از منابع مالی موجود	۲/۲۲	۲٤/۲٤٦	۰/۰۰۰	۲/۳٦	۲/۱۱
توانای کاهش هزینه‌های غیرضروری در فعالیت اقتصادی	۲/۳۲	۲٤/۲٦۷	۰/۰۰۰	۲/٤٥	۲/۲۱

مطابق نتایج به دست آمده در جدول (۹)، وضعیت شاخص‌های قابلیت تطبیق و سازگاری و مدیریت مالی در گویه‌های موردمطالعه با مقدار میانگین‌های به دست آمده پایین‌تر از حد متوسط عدد (۳)، گویای این واقعیت می‌باشد که میزان تاب‌آوری روستاهای گردشگرپذیر رشت در این شاخص‌ها در برابر کووید ۱۹ بسیار کم می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در گویه‌های مطرح شده در هر یک از شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی، می‌توان چنین مطرح نمود که میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر در برابر کرونا کمتر از حد متوسط بود، بر این اساس با توجه به نظرات اعضای شورا و دهیاران روستاهای شهرستان رشت، به بررسی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر یک از شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی (روابط علت و معلول)، پرداخته شد. در این راستا، از تکنیک دیمتل (DEMATEL)، استفاده شد. جدول (۱۰).

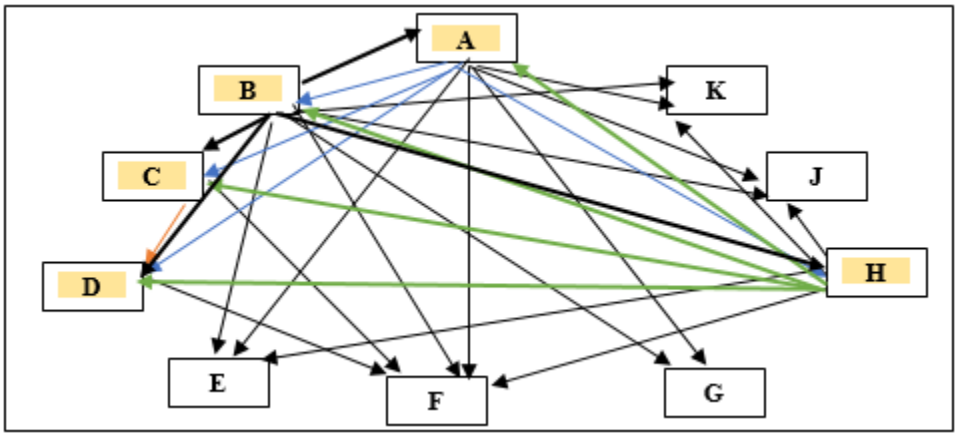
جدول ۱۰- ماتریس روابط کلی ماتریس شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی

Table10- The matrix of general relationships of the matrix of economic resilience indicators

شاخص	a	b	c	d	e	f	g	h	j	k	Ri	Pi (R+D)	EI (R-D)
A	0	۰/٤٦٣	۰/٦٧٧	۰/٦٥٧	۰/٥٩٣	۰/٦٢٣	۰/٦٢٤	۰/٥٦٧	۰/٥٧۰	۰/٤٧٦	٥/٢٥۰	۹/۳۷۷	۱/۱۲۳
B	۰/٥٥٤	0	۰/٤٤٥	۰/٥۳۳	۰/٥٦٦	۰/٥٦۷	۰/٥٥٦	۰/٥۷٦	۰/٥٦۱	۰/٥٤٤	٤/۹۰۲	۸/۳۳٤	۱/٤۷
C	۰/٦٦٤	۰/٥٥٦	0	۰/٥٥٤	۰/٦۱۱	۰/٥٦۷	۰/٥۸۱	۰/٥٥٦	۰/٥٦۷	۰/٥۷۱	٥/۲۲۷	۹/۳۱٤	۱/۱۳۹
D	۰/٥٥۱	۰/٥٦۷	۰/٦٦۱	0	۰/٥٥۸	۰/٥۱۳	۰/٥٥٤	۰/٥٦۱	۰/٥۷۸	۰/٥۳۳	٥/۰۷٦	۹/۲۱۳	۱/۰۲۹
E	۰/٤٤٥	۰/٤٤۱	۰/۳٤٥	۰/٤٤٥	0	۰/٤۱٥	۰/٥۰۰	۰/٤٤٥	۰/٤۷٦	۰/٤٤۱	۳/۹٥۳	۸/٤٤٥	-۰/٥۳۹
F	۰/٤٤٤	۰/٤۸۸	۰/٤۱۳	۰/٤۷۷	۰/٤٦۷	0	۰/٤٤٥	/٤٤٦	۰/٤٦۱	۰/٤٤۳	٤/۰۸٤	۹/۷۷٦	-۱/٦۰۸
G	۰/٤٤۳	۰/۳۳۳	۰/٤۱٥	۰/٤٤۳	۰/٤۲۱	۰/٤۳۳	0	۰/٤۱٦	۰/٤٤۳	۰/۳۸۹	۳/۷۲۹	۸/۷٦٥	-۱/۳۰۷
H	۰/٥٥٤	۰/٥٥٦	۰/٥۱٦	۰/٥٤٤	۰/٥٥٦	۰/٥۷۱	۰/٥٤٤	0	۰/٥٦۱	۰/٥۸۸	٤/۹۹	۸/۳۱٤	۱/٦٦٦
J	۰/۳۱٤	۰/۳۳٤	۰/۳۲۱	۰/۳۳٥	۰/۳٥٤	۰/۳٤٤	۰/۳٥٦	۰/٤۰۰	0	۰/۳٤۹	۳/۱۰۷	۷/٤٤٥	-۱/۲۲۱
K	۰/٤٤۳	۰/٤۱۲	۰/٤٤۳	۰/۳٥٦	۰/۳٥٦	۰/۳۳٤	۰/٤۱۲	۰/۳٦۷	۰/۳۳۱	0	۳/٤٥٤	۸/۱۲۳	-۱/۲۱٥

A: انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، b: برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، c: داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، d: انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها، e: انعطاف‌پذیری روانی، f: چاره‌جویی، g: آسیب‌پذیری اقتصادی کم، h: نوآوری و خلاقیت اقتصادی، j: قابلیت تطبیق و سازگاری، k: مدیریت مالی

درنهایت خروجی نهایی دیمتل ماتریسی است که بیانگر تمامی روابط مستقیم و غیرمستقیم بین شاخص‌هاست. پس از تعیین روابط بین شاخص‌ها، میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در قالب شکل (۳) ترسیم شده است. خروجی هر فلش از شاخص مربوطه نشان از تأثیرگذاری آن شاخص و ورودی هر فلش نیز نشان از تأثیرپذیری آن شاخص دارد.



شکل ۳- رابطه علت و معلولی شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی از نظر میزان اهمیت (Pi) و از نظر خالص تأثیرگذاری (Ei)

Fig.3. The cause-and-effect relationship of economic resilience indicators in terms of importance (Pi) and in terms of net impact (Ei)

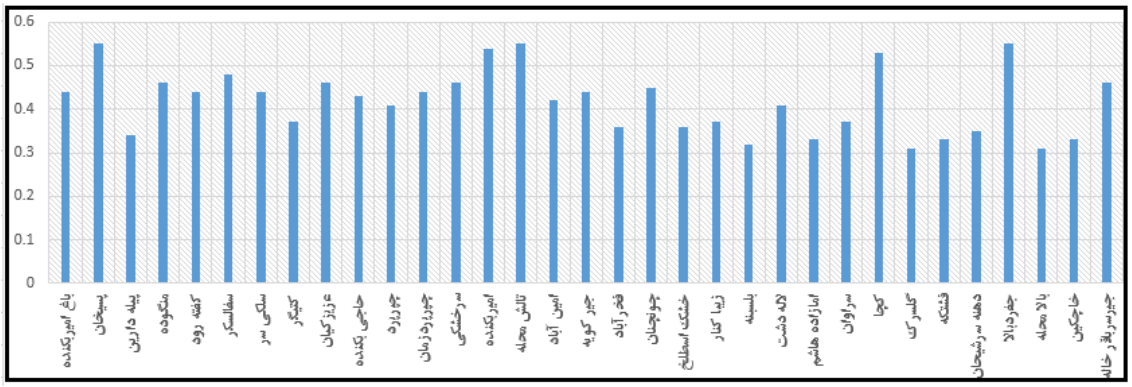
مطابق جدول (۱۱) و شکل (٤)، شاخص‌های (انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها و درنهایت نوآوری و خلاقیت اقتصادی) با مقدار EI مثبت به‌عنوان شاخص‌های تأثیرگذار تعیین شدند و شاخص‌های (انعطاف‌پذیری روانی، چاره‌جویی، آسیب‌پذیری اقتصادی کم، قابلیت تطبیق و سازگاری، مدیریت مالی) به‌عنوان شاخص‌های با مقدار EI منفی به‌عنوان شاخص‌های تأثیرپذیر تعیین شدند؛ بنابراین از بین شاخص‌های تأثیرگذار، به ترتیب: نوآوری و خلاقیت اقتصادی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی) بیشترین و کمترین میزان تأثیرگذاری را بر ماندگاری افراد در شغل بخش گردشگری را به خود اختصاص داده‌اند.

در ادامه نیز سعی برآن شد؛ به تحلیل فضایی روستاهای شهرستان رشت با تأکید بر میزان تاب‌آوری اقتصادی در برابر ویروس کووید ۱۹، پرداخته شود. دراین‌بین، برای نشان دادن تحلیل فضایی تاب‌آوری روستاها (با استفاده از مدل فازی ممدانی)، اقدام به سطح‌بندی فضایی روستاهای شهرستان رشت شده است.

جدول ۱۱- وضعیت تاب‌آوری اقتصادی در روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر کرونا

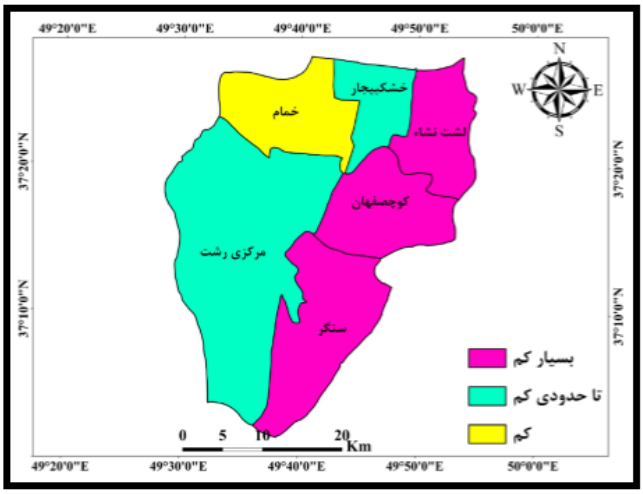
Table11- The state of economic resilience in touristic villages of Rasht County against Corona

تاب‌آوری	دهستان	روستا	تابع عضویت	وضعیت	دهستان	روستا	تابع عضویت	وضعیت
	پسیخان	پسیخان	۰/۵۵	تا حدودی کم	حاجی بکنده	امین‌آباد	۰/۴۲	کم
	پیربازار	پیله دارین	۰/۳۴	بسیار کم	نوشر	جیر کویه	۰/۴۴	کم
		منگوده	۰/۴۶	کم		فخرآباد	۰/۳۶	بسیار کم
		کفته رود	۰/۴۴	کم	علی‌آباد	چونچنان	۰/۴۵	کم
	حومه	سفالسکر	۰/۴۸	کم	زیباکنار	خشک اسطلخ	۰/۳۶	بسیار کم
اقتصادی		سلکی سر	۰/۴۴	کم		زیبا کنار	۰/۳۷	بسیار کم
		کتیگر	۰/۳۷	بسیار کم	بلسبنه	بلسبنه	۰/۳۲	بسیار کم
		عزیزکیان	۰/۴۶	کم		لاله دشت	۰/۴۱	کم
		حاجی بکنده	۰/۴۳	کم		امامزاده هاشم	۰/۳۳	بسیار کم
		باغ امیربکنده	۰/۴۴	کم				
		چپرپرد	۰/۴۱	کم	سراوان	سراوان	۰/۳۷	بسیار کم
	حاجی	چپرپردزمان	۰/۴۴	کم		کچا	۰/۵۳	تا حدودی کم
	بکنده	سرخشکی	۰/۴۶	کم		گلسرک	۰/۳۱	بسیار کم
		امیربکنده	۰/۵۴	تا حدودی کم	فرشکی	جیرسرباقر خاله	۰/۴۶	کم
		تالش محله	۰/۵۵	تا حدودی کم				
	چاپارخانه	فشتکه	۰/۳۳	بسیار کم				
		دهنه سر شیحان	۰/۳۵	بسیار کم	چوکام	بالا محله چوکام	۰/۳۱	بسیار کم
		جفردبالا	۰/۵۵	تا حدودی کم		خاچکین	۰/۳۳	بسیار کم



شکل ٤- وضعیت تاب‌آوری اقتصادی در روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت

Fig.4. The state of economic resilience in touristic villages of Rasht County



شکل ٥- وضعیت تاب‌آوری اقتصادی در بخش‌های شهرستان رشت

Fig.5. The state of economic resilience in Districts of Rasht County

مطابق نتایج به دست آمده در جدول (۱۱) و شکل (۵)، وضعیت تاب‌آوری اقتصادی در بین روستاها با سه وضعیت (تا حدودی کم، کم و بسیار کم) اندازه‌گیری شد. بر این اساس، نتایج نشان داد، بیش از نیمی از روستاهای موردمطالعه، میزان تاب‌آوری اقتصادی‌شان در برابر کرونا در حد (کم و بسیار کم) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تبیین تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر کووید ۱۹، انجام شده است. به‌منظور بررسی تاب‌آوری اقتصادی روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت در برابر بیماری کووید ۱۹، از شاخص‌های (انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها، انعطاف‌پذیری روانی، چاره‌جویی، آسیب‌پذیری اقتصادی کم، نوآوری و خلاقیت اقتصادی، قابلیت تطبیق و سازگاری، مدیریت مالی) استفاده شد. نتایج آزمون تی‌تک نمونه‌ای نشان داد که میزان تاب‌آوری اقتصادی روستاهای رشت در برابر کرونا بسیار کم بوده است. در ادامه نیز با استفاده از مدل دیمتل به بررسی علت و معلول شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی پرداخته شد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد، شاخص‌های (انعطاف‌پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌ها و درنهایت نوآوری و خلاقیت اقتصادی) به‌عنوان شاخص‌های تأثیرگذار و شاخص‌های (انعطاف‌پذیری روانی، چاره‌جویی، آسیب‌پذیری اقتصادی کم، قابلیت تطبیق و سازگاری، مدیریت مالی) به‌عنوان شاخص‌های تأثیرپذیر تعیین شدند، همچنین از بین شاخص‌های تأثیرگذار، نوآوری و خلاقیت اقتصادی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی، داشتن توانمندی اقتصادی و مالی، انعطاف-پذیری شغلی و فعالیتی، برخورداری از حمایت اقتصادی و مالی) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان اهمیت را در ماندگاری افراد در شغل گردشگری به خود اختصاص داده‌اند.

در ادامه نیز نتایج تحلیل فضایی نواحی روستایی نشان داد، بیش از نیمی از روستاهای موردمطالعه، میزان تاب‌آوری اقتصادی‌شان در برابر کرونا در حد (کم و بسیار کم) می‌باشد.

بیشتر افراد فقیر در مناطق روستایی جهان زندگی می‌کنند. از ۷۳٤ میلیون فرد فقیر پیش از بحران کووید ۱۹، ۸۰ درصد آن‌ها در مناطق روستایی سکونت داشتند. دراین‌بین، مناطق روستایی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران، برای مقابله با تأثیر مستقیم و غیرمستقیم این بحران، آمادگی کمتری داشته‌اند. در اکثر روستاهای ایران و تقریباً در تمام روستاهای گردشگرپذیر ازجمله روستاهای شهرستان رشت، بحران کرونا تأثیرات منفی زیادی در پی داشته است. ویژگی مهم گسترش کرونا در روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت از نظر اقتصادی این است که این بحران هم باعث شوک منفی عرضه و هم شوک منفی تقاضا شده است. شوک منفی عرضه به دلیل برهم خوردن زنجیره تأمین، کاهش عرضه نیروی کار رخ داده است و شوک منفی تقاضا هم ناشی از نااطمینانی سرمایه-گذاران به بخش گردشگری روستاها، کاهش مسافرت‌ها و کاهش گردشگران و به‌نوبه خود نیز کاهش قدرت خرید در بین روستاهای موردمطالعه است. در واقع کرونا در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر اقتصاد خانوارها و اقتصاد بخش گردشگری تأثیرگذار است. بازار برخی از محصولات صنایع‌دستی گردشگری استان گیلان و شهرستان رشت و

همچنین بخشی از کسب‌وکارهای مرتبط با گردشگری به‌طور مستقیم و غیرمستقیم دچار اختلال شده است. بر این اساس، میزان تاب‌آوری اقتصادی افراد در برابر بحران پیش‌روی کاهش یافته است. این موضوع به‌ویژه در روستاهایی که فاقد تنوع فعالیت‌های اقتصادی هستند، بیشتر است. به‌گونه‌ای که با کاهش میزان تنوع فعالیت‌های اقتصادی در نواحی روستایی گردشگرپذیر، تاب‌آوری اقتصادی آن‌ها در برابر بحران‌های پیش روی همانند کرونا کاهش می‌یابد. درنهایت در راستای نتایج تحقیق، راهکارهای ذیل پیشنهاد شد:

- پیشنهاد می‌گردد دیدگاه تخصصی در حوزه گردشگری در شهرستان رشت صورت گیرد و گروه‌های تحقیقاتی برای مدیریت کردن گردشگری در زمان کرونا و پس از آن تشکیل دهند. اگرچه به دلیل نبود فرهنگ ارزش سفر و جایگاه آن در زندگی ایرانی این امر کمی دور از ذهن است، اما مطالعات و بررسی‌ها حاکی از این مطلب است که دوران اکنون (پساکرونای گردشگری در روستاهای شهرستان رشت) باید جدی پنداشت و بر اساس برنامه عمل کرد.
- تأکید بر بررسی ویژگی‌های فردی افراد کسبه و نیز دارایی و امکانات آن‌ها در طرح‌های توسعه اقتصادی و اشتغالزایی روستایی برنامه ششم توسعه به‌منظور در نظر گرفتن سناریوی متناسب با فضای حاکم بر اقتصاد و معیشت آن‌ها در روستاهای موردمطالعه.
- تأسیس صندوق‌های اعتباری خرد در روستاها در قالب گروه‌های هدف مانند زنان و مردان با هدف تأمین سرمایه اولیه برای شروع به فعالیت‌های فرعی (در بخش‌های کشاورزی، دامداری و ...) که ریسک پایین‌تر و درنتیجه پذیرش بالاتری را در بین آن‌ها به همراه دارد.
- همچنین توصیه می‌گردد که دولت حمایت جدی در زمینه شرایط پیش آمده نماید. شوک فعلی ناشی از شیوع بیماری سبب شده است تا بسیاری از فعالیت‌های مربوط به گردشگری متوقف شود، در این راستا بدون حمایت از شرکت‌های خرده‌پا در نواحی روستایی می‌توان شاهد نابودی اقتصاد در روستاهای گردشگرپذیر شهرستان رشت بود؛ بنابراین باید اقداماتی برای حمایت از کسب‌وکارهای گردشگری، در این روستاها شکل گیرد.

Reference

Azizi, K., Hosseinpour, M., & Jamshidi, M. J. (2022). A Model for Revitalizing Small and Medium-sized Rural Businesses have been Seen in the covid-19 Crisis (Case Study: Rural Businesses of kermanshah Province). *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, *9*(2), 59-78. [In Persian] https://doi.org/10.22069/jead.2022.19757.1553

Alexander, D. E. (2013). Resilience and Disaster Risk Reduction: An Etymological Journey. Natural Hazards and Earth System Science, 13(11), 2707-2716. https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013

Bahmani, A., & Nazoktabar, H. (2021). Investigating the Impact of Livelihood Capital on Improving Rural Resilience in Coronavirus Epidemic, Explaining the Mediating Role of Social Well-being. *Emergency Management*, *10*(Corona Special List), 115-124. [In Persian] https://www.joem.ir/article_246947.html?lang=en

Bakar, N.A., & Rosbi, S. (2020). Effect of Coronavirus Disease (COVID-19) to Tourism Industry. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 7(4). https://doi.org/10.22161/ijaers.74.23

Barthel S, Isendahl C. (2013). Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities. Ecological Economics, 86, 224-234. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.06.018

Baumgartner S., Strunz S. (2014). The Economic Insurance Value of Ecosystem Resilience, Ecological Economics, 101, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.012.

Blackman, D., Nakanishi, H., Benson, A.M. (2017). Disaster Resilience as a Complex Problem: Why Linearity is not Applicable for Long-term Recovery. Technological Forecasting and Social Change, 121, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.018.

Buckle, P., Marsh, G., & Smale, S. (2001). Assessing Resilience and Vulnerability: Principles, Strategies and Actions. Australia: Victorian Government Publishing. https://books.google.com/books/about/Assessing_Resilience_Vulnerability.html?id=AZ70GwAACAAJ

Christopherson S., Michie, J., Tyler P. (2010). Regional Resilience: Theoretical and Empirical Perspectives. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(1), 3–10. https://doi.org/10.1093/cjres/rsq004.

Costin, L. (2014). Impact of the National Economy Restructuring on the Rural Development. In: Agrarian Economy and Rural Development – Realities and Perspectives for Romania (Vol. 5, pp. 13 -19). https://ideas.repec.org/p/pra/mprapa/61624.html

Dadvarkhani, F., & Mousavi, S. (2022). The Analysis of the effect of COVID19 on the Rural economy. *Human Geography Research*, *54*(1), 391-413. [In Persian] https:// doi.org/10.22059/jhgr.2022.336178.1008431

Davidson, D.J. (2010). The Applicability of the Concept of Resilience to Social Systems: Some Sources of Optimism and Nagging Doubts. *Society and Natural Resources*, 23(12), 1135–1149. https://doi.org/10.1080/08941921003652940

Günay, F., Bayraktaroğlu, E., & Özkul, K. (2020). Assessing the short-term impacts of COVID-19 pandemic on foreign visitor's demand for Turkey: A scenario analysis. Journal of Ekonomi, 2(2), 80-85. https://dergipark.org.tr/en/pub/ekonomi/issue/53627/726036

Haque, T.H., & Haque, M.O. (2018). The Swine Flu and its Impacts on Tourism in Brunei. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 36, 92–101. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2016.12.003

Holling, C.S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecological Systems*, 4, 1-23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245.

Lew, Alan A. 2014. Scale, Change and Resilience in Community Tourism Planning, Tourism Geographies, Vol. 16, Isse. 1, pp.14-22. https://doi.org/10.1080/14616688.2013.864325

Lomboy, C.G., Belinario, F., Pomeroy, R., Pedrajas, J., Sanchez Tirona, R., Box, S., Domondon, P.R., Kristine-Balbido, R. (2019). Building Household Economic Resilience to Secure a

Future for Near Shore Fishers in the Philippines, *Marine Policy*, 99, 334 -342. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.11.013

Lusk, J., & Anderson, J.D. (2020). Economic Impacts of COVID-19 on Food and Agricultural Markets & Consumer Behavior During the Pandemic. CAST Comment.

Maler, K.G. (2008). Sustainable Development and Resilience in Ecosystems. *Environmental and Resource Economics*, 39, 17-24. https://doi.org/10.1007/s10640-007-9175-7

Morkūnas M., Volkov, A., & Pazienza, P. (2018). How Resistant is the Agricultural Sector? Economic Resilience Exploited. *Economics and Sociology*, 11(3), 321-332. https://doi.org/10.14254/2071-789X.2018/11-3/19

Ngoc Ngo, Chirstine. (2022). Foundations of Rural Resiliency: America during the COVID-19 Pandemic. Journal of Rural Studies Volume 96, December 2022, Pages 305-315. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36320222/

Norris, F.H., Stevens, S.P. Pfefferbaum, B., Wyche, K.F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41, 127-150. https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6

Pasban f. (2004). The Effect of Oil Price Fluctuations on the Production of Iran's Agricultural Sector (Dutch disease). *Quarterly Journal of Economic Research*. 12, 117- 136.

Pasban f. (2004). Economic Resilience to Natural and Man-made Disasters: Multidisciplinary Origins and Contextual Dimensions. *Environmental Hazards*, 7(4), 383-398. https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.10.001

Rose A. (2007). Economic Resilience to Natural and Man-made Disasters: Multidisciplinary Origins and Contextual Dimensions. *Environmental Hazards*, 7(4), 383-398. https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.10.001

Sejasi Khidari H., Khoob, S., Hosseini Kohnuj, R., Moradi, K. (1397). The Effects of Diversification of Rural Economy on the Resilience of Villagers' Livelihoods in Radkan Village of Chenaran County. Space Economy and Rural Development. 7(24), 41-70. [In Persian]. https://serd.khu.ac.ir/article-1-3094-fa.html

Škare, M., Soriano, D.R., & PoradaRochoń, M. (2021). Impact of COVID-19 on the Travel and Tourism Industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120469. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120469

Tidball K., & Stedman R. (2013). Positive Dependency and Virtuous Cycles: From Resource Dependence to Resilience in Urban Socialecological Systems. *Ecological Economics*, 86, 292-299. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.10.004.

Ziaee, M., Hassan Pour, M., & Parsa Shakib, S. (2021). Tourism industry crisis management model Development Case study: Pandemic crisis of Covid-19 virus. *Journal of Tourism Planning and Development*, *10*(37), 65-97. [In Persian] https://tourismpd.journals.umz.ac.ir/article_3407.html

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.263-291 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.83326.1392 Open access

The pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change

Ali Mokhtari Karchegani*[a], Ali Khodadadi[a], Mortaza Tavakoli [b]

[a] *Ph.D.student in geography and rural planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor of Geography and Rural Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

Received: 9 July 2023 ***Revised: 16 August 2023*** ***Accepted: 10 September 2023***

Abstract

Today, the livelihood of the villagers is strongly tied to climate change; So that with the increase of these changes, their livelihood stability is facing a crisis. This issue will show how these societies adapt to these changes. Therefore, the aim of the current research is to identify the pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change. The study method is among applied studies, which is done in a quantitative and qualitative framework in terms of descriptive-explanatory purpose. The statistical sample of this research is purposeful, and to collect secondary data, the documentary method and primary data are used from the field method (Q questionnaire). Questionnaires were sent electronically to 20 experts (academic community). Q factor analysis method was used to analyze the collected data. The results of the research indicate that the bottom-up model will be a central strategy in the livelihood adaptation of rural communities against climate change. On the other hand, two compatibility factors "environmental and social" were recognized as the most important livelihood strategies for rural communities in Iran. that this pattern of compatibility can be implemented in the form of executive programs such as: teaching compatible behavioral patterns; promoting social support; To realize ways of saving water consumption and sharing local knowledge of rural communities in the face of climate change. Also, for the sustainability of villagers' livelihoods in the face of climate events, domestic and foreign institutions can achieve adaptation policies by taking advantage of local knowledge capacities.

Keywords: Livelihood adaptation, Climate change, Bottom-up approach, Indigenous knowledge, Rural communities, Environmental adaptation

* .Corresponding author: Ali Mokhtari Karchegani Email: ali_mokhtari@modares.ac.ir Tel:+989140691469

How to cite this Article: Mokhtari Karchegani, A., Khodadadi, A & Tavakili, M. (2022). The pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 263-291.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۹۱-۲۶۳ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.83326.1392 دسترسی آزاد

الگوی سازگاری معیشت جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی

علی مختاری کرچگانی[1] – دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

علی خدادادی– دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مرتضی توکلی– دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۴/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۵/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۶/۱۹**

چکیده

امروزه معیشت روستائیان به‌شدت با تغییرات اقلیمی گره‌خورده است؛ به‌طوری‌که با افزایش این تغییرات وضعیت پایداری معیشتی آنان با بحران مواجه است. این مسئله نشان از چگونگی الگوی سازگاری این جوامع در برخورد با این تغییرات دارد؛ بنابراین، هدف پژوهش حاضر شناسایی الگوی سازگاری معیشت جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی است. روش مطالعه در زمره مطالعات کاربردی است، که از نظر هدف توصیفی– تبیینی، در یک رویکرد کیفی و کمی صورت پذیرفته است. این تحقیق از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند بوده، و برای گردآوری داده‌های ثانویه از روش اسنادی و داده‌های اولیه از روش میدانی (پرسشنامه کیو) استفاده شده. جامعه موردمطالعه شامل خبرگان است؛ پرسشنامه‌ها به‌صورت الکترونیکی، برای ۲۰ نفر از کارشناسان (جامعه دانشگاهی) ارسال گردید. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده از روش تحلیل عاملی کیو استفاده شده. نتایج پژوهش حاکی از آن است که الگوی پایین به بالا به‌عنوان راهبرد محوری در سازگاری معیشتی جوامع روستایی در برابر تغییرات اقلیمی خواهد بود. از سویی دو عامل "سازگاری زیست‌محیطی" با امتیاز ۳۴.۳۷ و "سازگاری اجتماعی" با امتیاز ۲۳.۸ به‌عنوان مهم‌ترین راهبردها معیشتی برای جوامع روستایی ایران شناخته شدند که این الگوی سازگاری می‌تواند در قالب برنامه‌های اجرایی همچون: آموزش الگوی‌های رفتاری سازگار؛ ارتقاء پشتیبانی اجتماعی؛ شیوه‌های

[1] . نویسنده مسئول تلفن: ۰۹۱۴۰۶۹۱۴۶۹ Email:ali_mokhtari@modares.ac.ir

صرفه‌جویی در مصرف آب و اشتراک‌گذاری دانش بومی جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی محقق گردد. همچنین، برای پایداری معیشت روستائیان در مواجه با رویدادهای اقلیمی، نهادهای داخلی و خارجی می‌توانند با بهره‌گیری از ظرفیت‌های دانش بومی به سیاست‌های سازگاری دست پیدا کنند.

کلیدواژه‌ها: سازگاری معیشتی، تغییرات اقلیمی، الگوی پایین به بالا ،دانش بومی، جوامع روستایی، سازگاری زیست محیطی

مقدمه

تغییرات اقلیم به یک چالش مهم برای معیشت روستایی در سراسر جهان تبدیل شده است (Ateeq-Ur-Rehman, et al., 2018). شواهد قابل‌توجهی وجود دارد که پیامدهای تغییرات اقلیمی بر معیشت روستایی را نشان می‌دهد (Fussel, 2009; Smith, et al., 2009) . تغییرات اقلیمی این امکان را دارد که به‌طور قابل‌توجهی بر معیشت روستائیان که به منابع طبیعی متکی هستند، تأثیر بگذارد و نیاز به استراتژی‌های توسعه محلی دارد. در نتیجه اثرات متفاوت تغییرات اقلیمی و تنوع، فعالیت‌های معیشتی روستایی که مستقیماً به منابع طبیعی مانند کشاورزی، زمین، آب و جنگل‌ها وابسته است، در سطح جهانی تحت تأثیر نامطلوب قرار می‌گیرند (Hossain, Ahmed, Ojea, & Fernandes, 2018; Tolera & Senbeta, 2020). برخی از اثرات تغییر اقلیم و تنوع بر معیشت مبتنی بر کشاورزی عبارت‌اند از افزایش آفات و بیماری‌های محصولات کشاورزی، کاهش بهره‌وری محصول و علوفه، شکست محصول، بیماری‌های دام و مرگ‌ومیر دام. تغییرات اقلیمی می‌تواند بر سلامت اکوسیستم تأثیرگذار باشد (Lokuthula & Geoffrey, 2022) و کیفیت عرضه منابع جنگلی مانند مواد غذایی، چوب سوخت، گیاهان دارویی و سایر محصولات جنگلی غیر چوبی را کاهش دهد (Singh, et al., 2019) که فشار بیشتری را به معیشت وابسته به جنگل تحمیل می‌کند (Dhungana, et al., 2020).

همچنین، تغییرات اقلیمی و معیشت روستایی موضوع مطالعات متعددی بوده است. بااین‌حال، بیشتر این ارزیابی‌ها بر روی یک تأثیر خاص متمرکز شده‌اند، مانند امنیت غذایی(Kogo, Kumar, & Koech, 2021) ، بهره‌وری محصول (Karki, Burton, & Mackey, 2020) دام (Escarcha, Lassa, Palacpac, & Zander, 2020) و شیلات (Liu, Hultman, Eisingerich, & Wei, 2020) برخلاف اکثر بررسی‌های انجام شده، این بررسی نشان داد که ویژگی‌های مشترک و ناهمگونی در ایران و دلایل تنوع در تغییرات اقلیمی و معیشت روستایی را تشخیص می‌دهد. در این تحقیق از دید کارشناسان، به شناسایی الگوی سازگاری معیشتی جوامع

روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی پرداخته شده؛ همچنین الگوی‌های سازگاری شناسایی شده را اولویت‌بندی کرده است. به عبارتی، در این مطالعه رویکردهای معیشتی روستائیان در مواجه با تغییرات اقلیمی بررسی شده است.

بااین‌حال، رابطه پیچیده بین تغییرات اقلیم و معیشت روستایی نیاز به بررسی بیشتر دارد. ادبیات در این مورد بسیار زیاد است؛ بنابراین، به دلیل تنوع روابط بین این دو در نقاط مختلف جهان، کاوش مداوم در این منطقه موردنیاز است (Abdulai, Ziemah, & Akaabre, 2017). تجلی تغییرات اقلیمی متفاوت است، ازجمله اینکه چگونه بر معیشت افراد تأثیر می‌گذارد و چگونه مردم با تغییرات اقلیمی کنار می‌آیند و با آن سازگار می‌شوند نیز متفاوت است. در این مطالعه از دید کارشناسان، به شناسایی الگوی سازگاری معیشتی جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی پرداخته شده؛ همچنین الگوهای سازگاری شناسایی شده را اولویت‌بندی کرده است. به عبارتی، در این مطالعه رویکردهای معیشتی روستائیان در مواجه با تغییرات اقلیمی بررسی شده است.

سازگاری و تغییرات اقلیمی

سازگاری در واقع تغییری در پاسخ به شوک‌ها یا عوامل استرس‌زا خارجی است. هدف سازگاری کاهش آسیب‌پذیری و افزایش ظرفیت سازگاری در برابر شوک‌های آینده است (Wichern, Hammond, van Wijk, Giller, & Descheemaeker, 2023). تغییرات اقلیمی و محیطی به‌عنوان محرک‌های بیرونی عمل می‌کنند که باعث سازگاری جوامع می‌شوند. سازگاری با تغییرات اقلیمی را به‌عنوان تعدیل با اقلیم واقعی یا مورد انتظار و اثرات آن، با هدف به حداقل رساندن آسیب و استفاده از مزایای بالقوه تعریف می‌کند (IPCC, 2014). سازگاری موفقیت‌آمیز می‌تواند به بهبود تاب‌آوری منجر شود. درحالی‌که مطالعات نشان می‌دهد که سازگاری اغلب به‌عنوان یک اقدام مثبت در نظر گرفته می‌شود؛ در برخی موارد، اقدامات سازگاری تک‌بعدی نیز می‌تواند پیامدهای نامطلوبی داشته باشد، این به‌عنوان ناسازگاری نامیده می‌شود. به‌عنوان‌مثال، یک اقدام سازگاری ممکن است در کوتاه‌مدت مفید باشد و راهی برای مقابله داشته باشد، اما ممکن است در درازمدت مضر باشد، یا ممکن است به نفع یک گروه یا سیستم باشد اما به گروه دیگر آسیب برساند (Neumeier, 2017). بدین ترتیب، تعریف امروزه بینش‌ها نسبت به سازگاری تغییر کرده است. به‌نحوی‌که سازگاری با تغییرات اقلیمی را نمی‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای از فعالیت‌های ثابت برای بهبود شرایط موجود تعریف کرد. بلکه، سازگاری را باید عنوان یک پاسخ سیستماتیک با هدف افزایش تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری تعریف کرد که جوامع را قادر می‌سازد به شرایط محیطی و اجتماعی در حال تغییر واکنش نشان دهند. به گفته اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت در نظر گرفتن اطلاعات محلی هنگام چارچوب‌بندی استراتژی‌های سازگاری

برای مقابله با تأثیرات بالقوه چندبخشی تغییرات اقلیمی بسیار مهم است. هر استراتژی واکنش به تغییرات اقلیمی تنها در صورتی مؤثر خواهد بود که شامل دو حوزه سازگاری و توسعه همراه با درک صحیح از سیاست‌های یکپارچه برای حفظ نیازهای محلی باشد (Byers, et al., 2018 Francioni, et al., 2022.,)

سازگاری معیشتی جوامع روستایی با تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی و محیطی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی سیستم‌های معیشتی روستایی را که برخی از فقیرترین و آسیب‌پذیرترین گروه‌ها به آن وابسته هستند، مختل کند. این تغییرات عمدتاً از طریق خشکسالی، موج گرما، بارندگی‌های سیل‌آسا و طغیان رودخانه‌ها، باعث از دست دادن تنوع زیستی، خاک یا تخریب زمین‌های مناطق روستایی شود. این پیامدها معمولاً در ترکیب با یکدیگر، معیشت روستایی را تحت شعاع قرار می‌دهند. به‌نحوی‌که خدمات اکوسیستمی که طبیعت از دسترس روستائیان خارج می‌کند. به‌عنوان‌مثال، Lokuthula & Geoffrey, (2022) نشان دادند که تغییر کیفیت دسترسی به خدمات اکوسیستمی روستایی همچون خدمات تنظیم‌کننده (مانند تنظیم آب‌وهوا، گرده‌افشانی)، حمایت (مانند تشکیل خاک، چرخه مواد مغذی) و تأمین (مانند منابع ژنتیکی، آب) ناشی از تحولات اقلیمی، مستقیماً سیستم‌های معیشتی کشاورزان روستایی را مختل کرده است. ازاین‌رو، تأثیر منفی تغییرات اقلیمی و محیطی بر خدمات اکوسیستم، پیامدهای مهمی برای پایداری معیشت روستایی دارد.

مطالعات نشان می‌دهد که بسیاری از جوامع روستایی رفتار و محیط خود را برای سازگاری با شرایط اقلیم محلی خود تغییر داده‌اند (Son & Kingsbury, 2020). به‌عنوان‌مثال، در آلونا، پاپوآ گینه‌نو، خانوارهای روستایی تفاوت‌هایی را در الگوهای مصرف مواد غذایی در دوره‌های خشکسالی و غیر خشکسالی شناسایی کردند (Gwatirisa, Pamphilon, & Mikhailovich, 2017). برخی از شیوه‌های در حال تغییر عبارتند از استفاده از بیوگاز به جای هیزم و تغییر از محصولات غذایی سنتی به محصولات و سبزیجات چندمنظوره (Adhikari, Baral, & Nitschke, 2018) بااین‌حال، اطلاعات کمی در مورد این‌که چگونه این اقدامات مقابله‌ای سنتی به سازگاری با تغییرات بلندمدت ترجمه می‌شوند و تا چه اندازه پاسخ‌های تحول‌آفرین به تغییرات اقلیمی را محدود می‌کنند، شناخته شده است (Pandey, et al., 2018).

کشاورزی به‌عنوان یک منبع مهم در بخش روستایی است که علاوه بر امرارمعاش، منبع درآمد و اشتغال خانوارهای روستایی را نیز فراهم می‌کند. به‌عنوان‌مثال، بخش کشاورزی یک بخش مهم در کشورهای مراکش، یمن، مصر و ایران است که حدود ۲۰ تا ٤٠ درصد مردم این مناطق در بخش کشاورزی فعالیت دارند (Jobbins & Henley, 2015). نزدیک به ۸۵ درصد از زمین‌های کشاورزی در این کشورها در تصاحب خرده کشاورزان است که معیشت آن‌ها مستقیماً به منابع طبیعی وابسته است. کشاورزان کوچک به دلیل شیوع

بالای فقر و دسترسی محدود به شبکه‌های ایمنی اجتماعی و خدمات ترویجی از ظرفیت سازگاری محدودی برخوردار هستند (Lewis et al, 2018). تغییرات اقلیمی در حال حاضر به معیشت روستایی شکل می‌دهد و پیش‌بینی می‌شود این روند تشدید شود (Jungudo, 2023)؛ بنابراین، تغییرات اقلیمی می‌تواند برای کشاورزان که جزء آسیب‌پذیرترین اقشار جامعه هستند، تبدیل شود.

بدین ترتیب، با تشدید تغییرات اقلیمی، سازگاری معیشت روستایی به یک امر اجتناب‌ناپذیر برای این مناطق تبدیل می‌شود. به گفته Tanner, et al., (2015) ، در واقعیت امروز، سازگاری معیشتی به یک امر حیاتی برای جوامع روستایی تبدیل شده است که توانایی آن‌ها برای حفظ و بهبود معیشت و رفاه خود علیرغم اختلالات محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، چه از طریق اقدام فردی یا جمعی را ضروری می‌سازد. عامل اصلی سازگاری معیشت، عامل انسانی یا ظرفیت متمایز افراد برای درک ریسک و انجام اقدامات پیش بینی شده است. این مفهوم نیاز به تمرکز کمتر بر بهبودی از شوک‌ها (اقدامات واکنشی) را برجسته می‌کند و نقش استراتژی‌های سازگاری (اقدامات پیشگیرانه) را برای انعطاف‌پذیری طولانی‌مدت معیشت ترویج می‌کند.

راهبردهای سازگاری معیشتی جوامع روستایی با تغییرات اقلیمی

اثرات شدید تغییرات اقلیمی بر معیشت روستایی منجر به استراتژی‌های سازگاری شده است که هدف آن کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری است. به‌طورکلی، برای سازگاری جوامع روستایی دو راهبرد کلی و پنج رویکرد قابل‌شناسایی است که رویکردهای اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی جزء رویکردهای پایین به بالا برای تفسیر و واکنش به آنچه جوامع محلی در زمینه محیط خاص، تنوع اجتماعی و تنوع فرهنگی خود تجربه می‌کنند، مورداستفاده قرار می‌گیرد. راهبردهای نهادهای دولتی و غیردولتی به‌عنوان رویکرد از بالا به پایین جهت سازگاری معیشتی مطرح می‌شود که در ادامه هر یک تشریح می‌شوند.

رویکرد پایین به بالا به سازگاری با تغییرات اقلیمی

الف) سازگاری اکولوژیکی جوامع روستایی

سازگاری اکولوژیکی اشاره به شیوه‌های مدیریت منابع زیست‌محیطی توسط جوامع روستایی دارد که عمدتاً شامل مدیریت محصولات کشاورزی و دامی، مدیریت خاک و آب و مدیریت شیلات است. امروزه اهمیت سازگاری اکولوژیکی برای جوامع روستایی به‌اندازه‌ای است که می‌توان معیشت جوامع روستایی در سراسر جهان برمبنای اصل طبیعیت – مبنایی قرار گرفته است.

در پاسخ به تغییرات اقلیمی بر تولید محصولات کشاورزی و دامی، جوامع روستایی استراتژی‌های مدیریت محصول محلی و سازگاری مرتبط با دام را برای حفظ معیشت روستایی خود توسعه داده‌اند. به

همین خاطر، محققان برای مقابله با عدم قطعیت‌ها و خطرات احتمالی ناشی از تغییرات اقلیمی راهبردهای زیر را تأکید کرده‌اند: استفاده از محصولات مقاوم در برابر خشکسالی/سیل/ مقاوم در برابر شوری، کشت انواع محصولات زودرس؛ دانه‌های هیبرید؛ و همچنین رشد سبزیجات، رشد درختان سایه دار، انواع مختلف محصول و تغییر تاریخ کاشت، (Escarcha, Lassa, Palacpac, & Zander, 2020; Mukwada, Taylor, Manatsa, Mahasa, & Robinson, 2020). بااین‌حال، Ochieng, 2020 بیان می‌کند که تنوع‌بخشیدن به تولید محصول یک راهبرد مناسب برای همه نیست، بلکه باید خروجی‌های بالا، سیاست‌های کاربری زمین موجود و مزایای شناخته شده از گونه‌های گیاهی خاص را در نظر بگیرد.

مطالعات نشان می‌دهد که مدیریت خاک و فعالیت‌های مدیریت آب یکی دیگر از راهبردهای سازگاری اکولوژیکی جوامع روستایی است. تکنیک‌های حفظ رطوبت خاک شامل کاهش یا حذف استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها و استفاده از روش‌هایی مانند مالچ پاشی، تناوب زراعی، کشت مخلوط، استفاده از کود و استفاده از ارقام اصلاح‌شده محصول است ((Mubiru, et al., 2018; Papa, Nzokou, & Mbow, 2020. در رابطه با شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، مطالعات حفر چاه‌ها و حوض‌ها، برداشت آب در هنگام باران با استفاده از سطل، مخازن آب و فروسیمان، پمپاژ آب از مزارع و تغییر یا افزودن آبیاری را ذکر کرده‌اند. بااین‌حال، حفاری چاه‌های جدید پرهزینه است و چاه‌های زیرآب، هزینه‌ها را به پمپاژ آب اضافه می‌کنند (Sobczak-Szelc & Fekih, 2020). به‌عنوان‌مثال، مطالعه‌ای در ویتنام نشان داد که جوامع روستایی از لوله‌های بامبو برای انتقال آب برای آبیاری و مصارف خانگی استفاده می‌کردند، بنابراین هزینه‌ها و نیروی کار کمتری مورد نیاز بود ((Son & Kingsbury, 2020. جالب توجه این است که در نپال، کاشت درخت به‌عنوان استراتژی برجسته برای حفاظت از منابع آب برای مصرف و کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Dhungana, et al., 2020). این استراتژی‌های حفاظت از آب نشان می‌دهد که چگونه جوامع محلی می‌توانند به‌طور مؤثر از منابع موجود برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی استفاده کنند.

روش‌های سنتی مورداستفاده در ذخیره‌سازی غلات و نگهداری مواد غذایی برای مقابله با دوره‌های گرسنگی و تأمین بذر برای فصول زراعی متوالی پس از خشکسالی شدید استفاده می‌شود (Mubiru, et al., 2018). در پاپوآ گینه نو، جوامع روستایی درگیر روش‌های نگهداری مواد غذایی هستند و منابع کمیاب را بین خود به اشتراک می‌گذارند (Gwatirisa, Pamphilon, & Mikhailovich, 2017). مثال دیگر ناحیه بونگو، غنا است، جایی که جوامع روستایی از عصاره‌های گیاهی برای ذخیره و نگهداری غلات استفاده می‌کنند. بااین‌حال، چنین روش‌هایی در طول دوره‌های شیوع بیماری‌ها و آفات، که منجر به کمبود مواد غذایی و بذر می‌شود، کمتر مؤثر هستند (Mubiru, et al., 2018).

ب) سازگاری اجتماعی جوامع روستایی

همانطور که پیش‌بینی می‌شود با تشدید اثرات تغییرات اقلیمی، ضرورت اجرای تدابیری جهت سازگاری اجتماعی جوامع روستایی برای حفاظت از معیشت آن‌ها نیاز است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، سازگاری اجتماعی با موضوعاتی همچون سیستم دانش بومی، حواله‌های مهاجرتی، روابط اجتماعی، فعالیت‌های فرهنگی، امنیت غذایی و آب قابل بررسی است.

سیستم‌های دانش بومی[1] به‌طور گسترده توسط جوامع روستایی در مورد استراتژی‌های سازگاری برای مقابله با تغییرات اقلیمی مورد استقبال قرار گرفته است. جوامع محلی دارای دانش دقیق از محیط خود هستند که از مشاهده شخصی، فرهنگ و تجربه، ازجمله تجربه مشترک بین اعضای جامعه ایجاد شده است (Velempini, Smucker, & Clem, 2018). بر اساس مطالعات صورت گرفته، پذیرش سیستم دانش بومی به‌عنوان یکی از محوری‌ترین روش‌های از پایین به بالا برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود. علیرغم توجه گسترده به سیستم دانش بومی، هیچ نسخه واحدی برای بکارگیری آن جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی وجود ندارد. به‌عنوان‌مثال، برخی جوامع روستایی در ویتنام، برای سازگاری با سیل، تاریخ و زمان کشت را تغییر می‌دهند و برخی دیگر، نوع محصولات کشاورزی را تغییر می‌دهند (Son & Kingsbury 2020). همچنین، در غرب غنا، دامداران فولانی استراتژی‌های سازگاری بومی مانند تحرک، خوراک‌های متنوع، مدیریت استرس را برای کاهش گرما در دام و با تقسیم نیروی کار اجرا می‌کنند (Inman, Hobbs, & Tsvuura, 2020). بااین‌حال، نقش ظرفیت سیستم دانش بومی در سازگاری با تغییرات اقلیمی با افزایش خطرات اقلیمی و عوامل خارجی مانند بازارها، فناوری و حاکمیت بیش از زمانی اهمیت پیدا می‌کند (Mubiru, et al., 2018).

دسترسی به روابط اجتماعی از طریق شبکه‌ها و جوامع خانوادگی بار تغییرات اقلیمی و رویدادهای شدید آب‌وهوایی را کاهش می‌دهد (Currenti, et al., 2019). بااین‌حال، در کشورهای درحال‌توسعه، شواهد تجربی محدودی در مورد مزایای شبکه اجتماعی در سازگاری با تغییرات اقلیمی وجود دارد (Dapilah, Nielsen, & Friis, 2020). به اشتراک گذاری نیروی کار و درآمد در میان خانواده‌ها، قرض گرفتن وجوه از خانواده یا همسایگان، دریافت کمک به شکل غذا، سرپناه و نیروی کار به خانواده‌های آسیب دیده، جمع‌آوری کمک‌های مالی از جامعه برخی از فعالیت‌های روابط اجتماعی گزارش شده است. بر این اساس، شبکه‌های اجتماعی می‌توانند کمتر مؤثر باشند، به ویژه در زمان شوک‌های شدید اقلیمی مانند خشکسالی و سیل، که اکثر خانوارهای داخل منطقه به‌طور همزمان تحت تأثیر قرار می‌گیرند و قادر به کمک یکدیگر نیستند (Son & Kingsbury 2020). علاوه بر این، تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی، جوامع روستایی را

[1]- Indigenous knowledge systems (IKS)

مجبور به مهاجرت موقت یا دائمی می‌کند و در نتیجه روابط اجتماعی درون خانوارهای روستایی را از بین می‌برد. بااین‌حال، مهاجرت موقت می‌تواند فرصت مناصبی برای جوامع روستایی محسوب گردد. ایجاد حواله ناشی از مهاجرت، فرصت‌هایی برای کسب دانش در مورد تکنیک‌های جدید و شیوه‌های کشاورزی برای افزایش درآمد کشاورزی فراهم می‌کند.

از نظر امنیت غذایی و آب در برابر تغییرات اقلیمی، جوامع روستایی از راهبردهای متفاوتی برای کاهش ناامنی غذایی با تغییر رژیم غذایی، کاهش تعداد وعده‌های غذایی و مصرف کمتر غذا در روز استفاده می‌کنند. اکثر مطالعات در آفریقا و آسیا معتقد بودند که تغییر مصرف غذا یک اقدام تطبیقی برجسته برای جبران کمبود مواد غذایی ناشی از تغییرات اقلیمی است (Son & Kingsbury 2020). بااین‌حال، چنین راهبردی تأثیر منفی بر سلامت جوامع روستایی برجای می‌گذارد. ارزیابی‌های حیاتی در رابطه با این استراتژی مقابله با ناامنی غذایی نشان می‌دهد که تغییر الگوی مصرف غذایی پیامدهایی بر سلامت خانواده‌های روستایی دارد. همچنین، روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی به کار گرفته شده توسط جوامع روستایی به‌عنوان استراتژی دیگر تلقی شده است. به‌عنوان‌مثال، در طول خشکسالی در گینه نو، جوامع روستایی با حفر گودال‌هایی محصولاتی مانند سیب زمینی، موز، نیشکر و سبزیجات سبز نگهداری می‌کردند (Gwatirisa, Pamphilon, & Mikhailovich, 2017).

سازگاری اجتماعی جوامع روستایی، براساس روابط تعریف شده در شبکه‌های اجتماعی و نوآوری اجتماعی تعریف شده است. شبکه‌های ارتباطی سهم مهمی در ایجاد پل‌های ارتباطی میان جوامع محلی و خارج از آن جهت یادگیری و به اشتراک گذاری دانش و سایر منابع دارد. مهاجرت موقت روستائیان، یک نمونه از این شکل ارتباطی است که امکان انتقال دانش نوین به روستا را فراهم می‌کنند. ادغام دانش بومی با شیوه‌های نوین بهره‌برداری از زمین کشاورزی نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جوامع روستایی دارد.

ج) سازگاری اقتصادی جوامع روستایی

امروزه حیات روستاها به رونق اقتصادی وابسته است. ابداع راهبردهای سازگاری اقتصادی کمک زیادی به بقاء روستاها می‌کند. به‌طورکلی راهبردهای سازگاری اقتصادی مبتنی بر تنوع‌بخشی به درآمدهای کشاورزی و غیرکشاورزی در روستاها تأکید دارد. اجرای استراتژی‌های تنوع در خارج از مزرعه در جوامع روستایی است که به‌طور گسترده در ادبیات گزارش شده است. تنوع معیشت روستایی خارج از مزرعه می‌تواند بر اساس منابع طبیعی باشد، اما فرصت‌ها برای استفاده از آن‌ها در مقابله با تغییرات اقلیمی مخصوصاً در کشورهای درحال‌توسعه محدود است (Lokuthula & Geoffrey, 2022). در این سه موضوع دسته درآمد دستمزد، خوداشتغالی، مهاجرت مطرح می‌شود.

سازگاری بر مبنای تنوع درآمد در داخل مزرعه اشاره به اتکا به منابع مختلف درآمدی، ازجمله منابع مربوط به استفاده از منابع طبیعی دارد. به‌عنوان‌مثال می‌توان به فروش زغال چوب، چوب سوخت، دام، نی و علف کاهگلی برای ایجاد درآمد/ خرید غذا، تولید الوار، نهالستان درخت، تولید عسل و نیروی کار در مزرعه اشاره کرد ((Ombogoh, Tanui, McMullin, Muriuki, & Mowo, 2018. بااین‌حال، توجه به این نکته مهم است که اغلب این استراتژی‌های سازگاری در مزرعه به دلیل خطرات آب‌وهوایی غیرقابل‌پیش‌بینی ناکارآمد یا ناپایدار می‌شوند. در آسیا، فعالیت‌های مبتنی بر خوداشتغالی مرتبط با گردشگری، تجارت، مالکیت مغازه، وام دادن، اجاره زمین و اجاره ماشین‌آلات کشاورزی مانند پمپ‌های برق، خرمن‌کوب و تراکتور در باریسال، ویتنام، چین، بنگلادش، پاکستان و هند مشاهده شد (Khayyam & Noureen, 2020). در همین حال، در جوامع روستایی آفریقا، برخی از فعالیت‌های خوداشتغالی شامل استخراج سنگ، استخراج شن و ماسه، سنگ‌تراشی، نجاری، خیاطی، تعمیر کفش و نصب و تعمیر موتور/دوچرخه است (Amfo & Ali, 2020; Moroda, Tolossa, & Semie, 2018). در مورد کار مزدی، مطالعات فرصت‌های شغلی مانند نجار، گله‌دار و آجرکاری را که توسط جوامع روستایی انجام می‌شود برجسته می‌کند. تعداد قابل‌توجهی از مطالعات نقش فعالیت‌های خارج از مزرعه را در سازگاری اقتصادی جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی تأیید می‌کنند.

شواهد موجود نشان می‌دهد که مهاجرت یکی از استراتژی‌های خارج از مزرعه است که جوامع روستایی در مواقعی که معیشت آن‌ها به‌شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرارگرفته، اتخاذ می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، در جوامع روستایی در دلتای مکونگ، ویتنام و منطقه آل فائوار، تونس، مهاجرت موقت یا دائمی به شهرها به‌عنوان یک استراتژی سازگاری معیشتی با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته می‌شود (Sobczak-Szelc & Fekih, 2020). بااین‌حال، Sobczak-Szelc & Fekih, (2020) ، استدلال می‌کنند که مهاجرت نباید آخرین گزینه برای مهار تغییرات محیطی باشد، بلکه منابع مالی را برای سازگاری فراهم می‌کند.

رویکردهای بالا به پایین برای سازگاری با تغییرات اقلیمی

الف) سازگاری نهادهای دولتی و غیردولتی

در مطالعات در مورد اهمیت نهادها در شکل‌دهی راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی گزارش کرده‌اند. شواهد نشان می‌دهد که تعداد محدودی از مطالعات در مورد عملکرد موفقیت‌آمیز رویکردهای از بالا به پایین برای سازگاری با تغییرات اقلیمی از طریق مشارکت دولت و سایر نهادهای رسمی گزارش می‌دهند. کمک‌های دولت و سازمان‌های غیردولتی از طریق تأمین بودجه کمک‌های دولتی، کمک‌های غذایی، دریافت غرامت دولتی برای خسارات محصول، کمک‌های فنی، اسکان مجدد و ساخت خانه‌های موقت یا دائمی گزارش می‌شود (Hermans & Garbe, 2019; Kolawole, et al., 2016; Oviedo, Mitraud,

(McGrath, & Bursztyn, 2016. بااین‌حال، حمایت دولت باعث ایجاد سندرم وابستگی به رفاه اجتماعی و کاهش اتکا به خود در جوامع روستایی شده است (Son & Kingsbury 2020). اطلاعات کمی در مورد اینکه چگونه دانش محلی در حمایت خارجی از نظر سیاست‌ها، نهادها، منابع و فناوری ریشه می‌گیرد، وجود دارد.

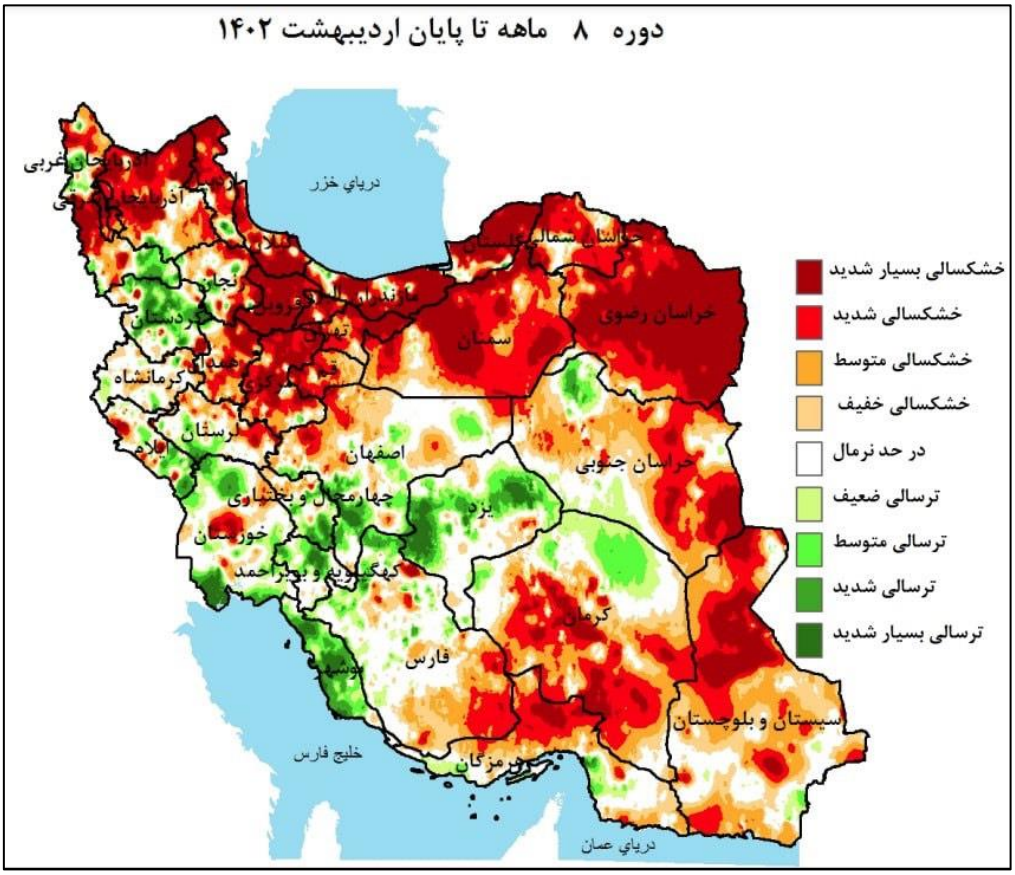
با اینکه هدف نهادهای دولتی دستیابی به پایداری سرزمینی است؛ اما مطالعه‌ای که در ایالت اوتار پرادش، هند انجام شد، نشان داد که سیاست‌ها و توصیه‌های سازمانی تجویز شده برای سازگاری با عوامل استرس‌زای اقلیمی، به‌سختی می‌توانند با نیازهای جوامع روستایی سازگار شوند (Singh, et al., 2019). نهادهای غیردولتی از این وضعیت مستثنی نیستند و گزارش مشابهی درباره منطقه ورد والی در آریزونا تهیه شد تأکید می‌کند، که اگرچه جوامع روستایی از سازمان‌های غیرانتفاعی محلی حمایت می‌شوند، تفاوت‌هایی بین برنامه‌های سازمان‌ها و نیازهای جوامع محلی وجود دارد (Douglass-Gallagher & Stuart, 2019). موارد ناسازگاری را می‌توان به عدم درک زمینه‌های اجتماعی–اقتصادی و فرهنگی محلی توسط مقامات دولتی نسبت داد (Son & Kingsbury 2020)؛ بنابراین، دولت‌ها و دستگاه‌های اجرایی باید ضرورت‌های جوامع روستایی را برای توسعه مناسب‌سازی معیشت روستایی مؤثر و پایدار در نظر بگیرند.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه موردمطالعه

ایران در مختصات جغرافیایی ۲۵ تا ٤٠ درجهٔ عرض شمالی و ٤٤ تا ٦٣ درجهٔ طول شرقی قرار دارد. به لحاظ موقعیت نسبی از شمال به آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان و دریای خزر؛ از شرق به پاکستان و افغانستان؛ از جنوب به خلیج‌فارس و دریای عمان و از غرب به ترکیه و عراق می‌رسد. دارای مساحتی به میزان ١/٦٤٨/١٩٥ کیلومترمربع است؛ که از این وسعت ٨٨ درصد آن در کمربند خشک جهانی قرار دارد. دارای منابع طبیعی فراوان بوده، و حدود ١١ درصد زمین‌های آن قابل‌کشت هستند. نفت، گاز، زغال‌سنگ، مس، سنگ‌آهن، سرب، منگنز، روی و گوگرد از دیگر منابع شناخته شده آن هستند. از سویی آمارهای اخیر نشان داده‌اند که ایران دارای ١٤٠٠ شهر و ٣٨ هزار روستا است. لیکن در سال‌های گذشته با تغییرات اقلیمی جدی مواجه بوده است. به‌طوری‌که جوامع روستایی بیشترین آسیب را از شرایط به وجود آمده، دیده‌اند. به‌نحوی‌که تغییرات اقلیمی نتایج افزایشی، کاهشی، و در کل نوسانی در بارش و دما برای دوره‌های آینده داشته و خواهد داشت. مع‌الوصف تغییرپذیری عناصر اقلیمی باعث می‌شود تا فصولی که دارای بیشترین میزان بارندگی هستند در دوره‌های آینده با کاهش بارش روبرو شوند و بالعکس (**منطقهٔ** شمال غرب)؛ در نوعی دیگر دما دارای روند افزایشی و بارش روند کاهشی داشته باشد (منطقهٔ غرب و جنوب غرب)؛ در جای دیگر دمای نسبتاً بالا و بارندگی کم ویژگی ذاتی یک منطقه شود (منطقهٔ جنوب و جنوب شرق)؛ در این صورت دما روند افزایشی

خواهد داشت (منطقهٔ شرق و شمال شرق کشور)؛ با افزایش دما، میزان تبخیر افزایش خواهد یافت. میزان ساعات آفتابی نیز کاهش خواهد یافت که این نتیجه نیز منطبق با افزایش اَبرناکی آسمان و به‌تبع آن افزایش بارندگی است (منطقهٔ سواحل شمالی)؛ یا به دلیل روند افزایشی تغییرات دمایی زیاد، تغییرات بارشی دارای تنوع زیادی باشد (منطقهٔ مرکزی و دامنه‌های جنوب البرز)، (Karimi, Kaki & Rafati, 2018).



شکل ۱- وضعیت خشکسالی در سطح کشور (مأخذ: مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱٤۰۲)

Fig.1. Drought Status at the National Level (Source: National Drought and Crisis Management Center, 2023)

بنابر مطالب پیش‌گفته شرایط پیشروی آب‌وهوایی ایران حاکی از تغییرات دمایی و بارشی بوده، که این روند موجب افزایش دما و نهایتاً کمبود بارش خواهد شد. در نتیجه استمرار این فرایند ما شاهد خشکسالی در این منطقه هستیم. به همین دلیل سکونتگاه‌های شهری و روستایی می‌بایست آمادگی و شرایط مواجه با

این وضعیت خشن را داشته باشند. بخصوص مناطق روستایی که کارکرد آن‌ها بیشتر مرتبط با بخش کشاورزی است.

روش تحقیق

چارچوب فلسفی این پژوهش از نظر رویکرد، آمیخته است. ازلحاظ جهت‌گیری و هدف در دسته پژوهش‌های کاربردی قرار دارد. روش مطالعه در زمره مطالعات کاربردی است، که از نظر هدف توصیفی– تبیینی، در یک رویکرد کیفی – کمی صورت پذیرفته است. در مراحل گردآوری دیدگاه‌ها و نظرات، از روش کیفی پیروی می‌کند و در مرحله اکتشاف ذهنیت مخاطبین از رویکرد کمی بهره می‌برد. از نظر روش گردآوری داده‌ها توصیفی – تحلیلی است. ازآنجایی‌که محققان به دنبال سنجش افکار، نگرش‌ها، اعتقادات، ادراکات فردی صاحب‌نظران هستند، روش کیو مورداستفاده قرار گرفته شده است. این روش، فنی است که پژوهشگر را قادر می‌کند تا نخست ادراکات و عقاید فردی را شناسایی و طبقه‌بندی کند و سپس به دسته‌بندی گروه‌های افراد بر اساس ادراکاتشان بپردازد. این ویژگی، روش‌شناسی کیو را به روش‌های پژوهش کیفی نزدیک می‌کند. درحالی‌که از ویژگی روش‌های کمّی نیز برخوردار است. در این روش از روش‌های آماری مانند تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌منظور دسته‌بندی افراد استفاده می‌شود (Asghari Sarem, & Markazi Moghaddam, 2015).

روش گردآوری داده‌ها

ابزار اولیهٔ گردآوری داده‌ها پرسشنامه کیو بوده است. هرچند در این روش می‌بایست از کارت مصاحبه استفاده شود. ولی جهت متمرکز نمودن ذهنیت پاسخگو و تسهیل در فرایند کار از پرسشنامه بهره‌گیری شد. مشارکت‌کنندگان ۲۰ نفر از اساتید دانشگاه‌ها و فارغ‌التحصیلان دکتری رشتهٔ جغرافیا، بخصوص برنامه‌ریزی روستایی، مرتبط با موضوع موردمطالعه بوده‌اند. در انتخاب این افراد از روش نمونه‌گیری هدفمند با تنوع گرایش استفاده شد تا به اتکای آن از شکل‌گیری دیدگاه‌های متکثر اطمینان حاصل شود. بدین ترتیب که در برقراری ارتباط با هر فرد، از فهم وی درباره الگوی سازگاری معیشتی جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی اطمینان حاصل می‌شد. برای پیشبرد این روند ابتدا فضای گفتمان تکمیل، سپس محتویات آن ارزیابی و به ٤٦ عبارت کیو تبدیل شد که پس از حذف موارد تکراری و مشابه، نهایتاً ۲۸ عبارت برای مجموعهٔ کیو تهیه و شماره‌گذاری شد. روایی محتوای گزاره‌ها با بازنگری در پیشینهٔ پژوهش و ارزیابی کاربست این گزاره‌ها توسط ٤ تن از اساتید جغرافیا تائید شد. سپس برای مرتب‌سازی عبارات کیو، در قالب پرسشنامه در اختیار اعضای نمونهٔ قرار گرفت. پس از توزیع پرسشنامه‌ها، اعضای نمونه

توجیه شده که با توجه به اهمیت هر یک از عبارات کیو در چارچوب جدول شماره یک در ذیل طیف طراحی شده قرار دهند.

جدول ۱- ابعاد، گزاره‌ها و کدهای بکار گرفته شده در پرسشنامه تحقیق

رویکرد	ابعاد	گزاره‌های کیو (زیرمؤلفه‌ها) و کدهای آن
رویکرد پایین به بالا	سازگاری زیست‌محیطی	۱) حفظ رطوبت خاک (شامل کاهش استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها، استفاده از مالچ‌پاشی، تناوب زراعی، کشت مخلوط، کود دامی و ...) (q1)
		۲) شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب (شامل حفر چاه، حوضچه‌ها، قنات، برداشت آب، مخازن آب، پمپاژ آب از مزارع، سبک آبیاری و ...) (q2)
		۳) مدیریت کشت محصولات محلی (شامل محصولات مقاوم در برابر خشکسالی، سیل و شوری؛ درختان زودرس، سایه‌دار و ...) (q3)
		۴) ذخیره غلات و نگهداری مواد غذایی (شامل ایجاد سیلوها و سردخانه‌های نگهداری محصولات باغی) (q4)
		۵) اتخاذ روش‌های سازگار تولید محصولات کشاورزی (شامل کشت با استراحت به خاک، جلوگیری از سوزاندن علوفه زمین‌های کشاورزی، کاشت محصولات مقاوم به خشکی و ...) (q5)
		۶) راهبردهای شیلات (شامل پرورش ماهیان سازگار با آب سرد و گرم، مکانیزه کردن تولید ماهیان و ...) (q6)
		۷) مهاجرت برای درآمدهای جایگزین (شامل شناسایی فرصت‌های جدید شغلی جهت مبادله، ایجاد شبکه همکاری و ...) (q7)
		۸) مهاجرت به مکان‌های جدید جهت ارتقاء مهارتی و آموزشی (کسب تجربه‌های جدید کاری، توانایی انتقال دانش نوین به روستا، ارتقاء دانش کارآفرینی و ...) (q8)
	سازگاری اجتماعی	۹) ارتقاء پیوندهای اجتماعی (شامل اشتراک‌گذاری نیروی کار و درامد، قرض گرفتن وجوه، سرپناه و قرض گرفتن نیروی کاربه خانواده آسیب‌دیده و ...) (q9)
		۱۰) ارتقاء پشتیبانی اجتماعی (قابلیت بسیج و همکاری برای مقابله با چالش‌های سازگاری) (q10)
		۱۱) احیاء و تنوع‌بخشی به فعالیت‌های فرهنگی (شامل برگزاری مراسم بومی و مذهبی، جشنواره‌های اقوام و ...) (q11)
		۱۲) امنیت غذا و آب با روش‌های تطبیقی (شامل شیوه‌های جدید نگهداری و مصرف موادغذایی و آب و ...) (q12)
		۱۳) اشتراک‌گذاری دانش بومی (شامل بهره‌گیری از تجارب و دانش افراد بومی برای کشت محصولات زراعی سازگار با شرایط محیطی، آگاهی از شیوه‌های بومی تأمین آب و ...) (q13)
		۱۴) آموزش الگوهای رفتاری سازگار (شامل آگاهی از تغییرات اقلیمی، آموزش سبک‌های بهینه مصرف، آموزش شیوه‌های استفاده از انرژی‌های محلی و ...) (q14)
		۱۵) دسترسی به فناوری‌ها ارتباطی (شامل استفاده از شبکه‌های اجتماعی داخلی و خارجی، اینترنت، و...) (q15)
		۱۶) دسترسی و استفاده از تجهیزات و امکانات کشاورزی (شامل مکانیزه کردن زراعت، آبیاری، سم‌پاشی و ...) (q16)
		۱۷) دسترسی و استفاده از انرژی‌های نو (شامل تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی، فناوری مدیریت مصرف انرژی و ...) (q17)
		۱۸) مشارکت گروه‌های غیررسمی و NGO (q18)
	سازگاری اقتصادی	۱۹) تنوع‌بخشی درآمد در زراعت (تنوع بازارهای هدف، شامل کشت محصولات زراعی با ارزش بالای فروش، تولید محصولات با ارزش دارویی و ...) (q19)
		۲۰) تنوع‌بخشی به فعالیت‌های اقتصادی (شامل گردشگری، تجارت، مالکیت مغازه، وام دادن، اجاره زمین و ماشین‌آلات کشاورزی و...) (q20)
		۲۱) درآمدزایی از طریق خوداشتغالی (شامل استخراج سنگ، شن و ماسه، سنگ‌تراشی، نجاری، خیاطی، تعمیر کفش و

		نصب موتور و ...) (q21)
		۲۲) درآمد ناشی از مهاجرت (شامل تأمین منابع مالی برای سازگاری، کسب دانش برای تکنیک‌های جدید کشاورزی و افزایش درآمد و ...) (q22)
رویکرد بالا به پایین	سازگاری نهادهای دولتی	۲۳) حمایت مالی دولتی و غیردولتی (شامل اعطای کمک‌های یارانه‌ای دولتی، اعطای یارانه به خانوار کم‌درآمد، مشوق‌های مالی برای سرمایه‌گذاری در اقتصاد روستایی، تخصیص بودجه برای مقابله با بحران‌های اقلیمی) (q23)
		۲۴) ارائه خدمات دولتی و غیردولتی (شامل ارائه سبدهای معیشتی و کمک‌های غذایی، بیمه محصولات کشاورزی، پرداخت غرامت دولتی برای خسارت‌های زراعی، اسکان مجدد، ساخت خانه‌های موقت یا دائم) (q24)
		۲۵) توسعه زیرساخت‌های روستایی (شامل توسعه حمل‌ونقل، زیرساخت آب و فاضلاب، زیرساخت ارتباطی و ...) (q25)
	سازگاری نهادهای غیردولتی	۲۶) پشتیبانی فنی سازمان‌های غیردولتی به بخش اقتصادی روستایی (شامل ارائه آموزش‌های و مشاوره‌های فنی به کشاورزان، تشویق کشاورزان به استفاده از تکنولوژی‌های جدید کشاورزی) (q26)
		۲۷) رشد مراکز دانش‌بنیاد در مناطق روستایی (شامل ایجاد مراکز آموزشی جهت ترویج روش‌های کشاورزی نوین، فرآوری محصولات کشاورزی، اصلاح ژنتیک کشاورزی و ...) (q27)
		۲۸) ارائه خدمات عام‌المنفعه (خدمات پزشکی، جذب سرمایه‌گذاران، جمع‌آوری امور خیریه‌ای، جذب حمایت‌های خیرین برای مدرسه‌سازی و ....) (q28)

Table- Dimensions, Statements, and Codes Used in the Research Questionnaire

در این مطالعه نمودار کیو دارای یک طیف پنج‌درجه‌ای است. مشارکت‌کنندگان می‌بایست در هریک از ستون‌های ۲+ و ۲- چهار گویه؛ در هریک از ستون‌های ۱+ و ۱- شش گویه و نهایتاً هشت گویه باقی‌مانده را در ستون ۰ جای دهند.

روش تحلیل داده‌ها

برای اجرای روش کیو در پژوهش حاضر از یک فرایند پنج مرحله‌ای استفاده شده، که مراحل و نحوه انجام آن‌ها به شرح ذیل خواهد بود. در مرحله اول: گردآوری فضای گفتمان که طیف گسترده‌ای از بحث‌ها و گفتمان‌ها در قالب مسئله موردمطالعه را تشکیل می‌دهد مد نظر است، به معنی شناسایی منابع به‌صورت کتبی یا شفاهی است که شامل ایده‌ها، نظرات، ارزش‌ها و خواسته‌ها در مورد مسئله است. از فضای گفتمان، مجموعه بزرگی از اظهارات و عبارات به دست می‌آید که معمولاً باید به کمتر از ٦٠ عبارت کاهش یابد. در مرحله دوم: نمونه کیو که زیرمجموعه از اظهارات انتخاب شده از فضای گفتمان را تشکیل می‌دهد، مطرح است. از جهتی هیچ ملاکی وجود ندارد که با قطعیت تعداد گزاره‌ها در نمونه کیو را مشخص کند؛ اما نمونه کیو باید تمام جنبه‌های موضوع پژوهش را پوشش دهد. در مرحله سوم: انتخاب مشارکت‌کنندگان پیش رو خواهد بود. ازآنجاکه پژوهش‌های انجام شده بر اساس روش کیو، برای نمونه‌گیری از دنیای افکار و ذهنیت افراد و نه از جمعیت مردم طراحی شده‌اند، نمونه‌های (آماری) کوچک و گلچین شده انتخاب خواهند شد. قابل‌ذکر است

در این روش، گوناگونی افراد مهم‌تر از تعداد آن‌هاست و در مورد تعداد مشارکت‌کنندگان نیز هیچ ملاک مشخصی وجود ندارد. در مرحله چهارم: مرتب‌سازی کیو انجام می‌گیرد که از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود گویه‌ها را از نظر شخصی خود، با توجه به اولویت‌ها، قضاوت‌ها یا احساساتشان دربارهٔ موضوع تحت بررسی، جایگذاری کنند. این کار به کمک جدول مرتب‌سازی صورت می‌گیرد. نهایتاً با مرحله پنجم: که تحلیل عاملی کیو محسوب می‌شود، اطلاعات گردآوری شده مورد پردازش آماری قرار می‌گیرند (Merdasi, Yazdanpanah, Baradaran, & Forouzani, 2017). برای تحلیل داده‌ها از تحلیل عاملی اکتشافی یعنی استخراج عوامل با روش‌های مؤلفه‌های اصلی و چرخش آن‌ها طبق روش وریماکس توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شده است.

نتایج و بحث

یافته‌های توصیفی

توصیف نمونه موردبررسی نشان داده که جنسیت آن‌ها، ۸۸ درصد مرد، و ۱۲ درصد زن، و در بازه سنی ۳۱ تا ۵۸ سال قرار داشته‌اند. از این میزان ۲۲ درصد هیئت‌علمی و بقیه غیر هیئت‌علمی بودند. همچنین در بررسی سطح علمی مشارکت‌کنندگان ۵ درصد استاد، ۸ درصد دانشیار، ۹ درصد استادیار و بقیه دانش‌آموختگان مقطع دکترا بوده‌اند. این جامعه بیشتر مربوط به دانشگاه‌های تربیت مدرس، تهران، شهید بهشتی، فردوسی مشهد و سیستان بوده‌اند. برای تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از روش نمودار کیو استفاده شد. داده‌های گردآوری شده در ۲۰ جدول یا نمودار کیو تهیه شد. جدول شماره یک مربوط به مشارکت‌کننده اول که بیشترین همبستگی را با عوامل ۵، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ داشته است را به‌عنوان نمونه در قالب نمودار ۱ آورده است.

نمودار ۱- طیف پاسخگویی به پرسشنامه کیو

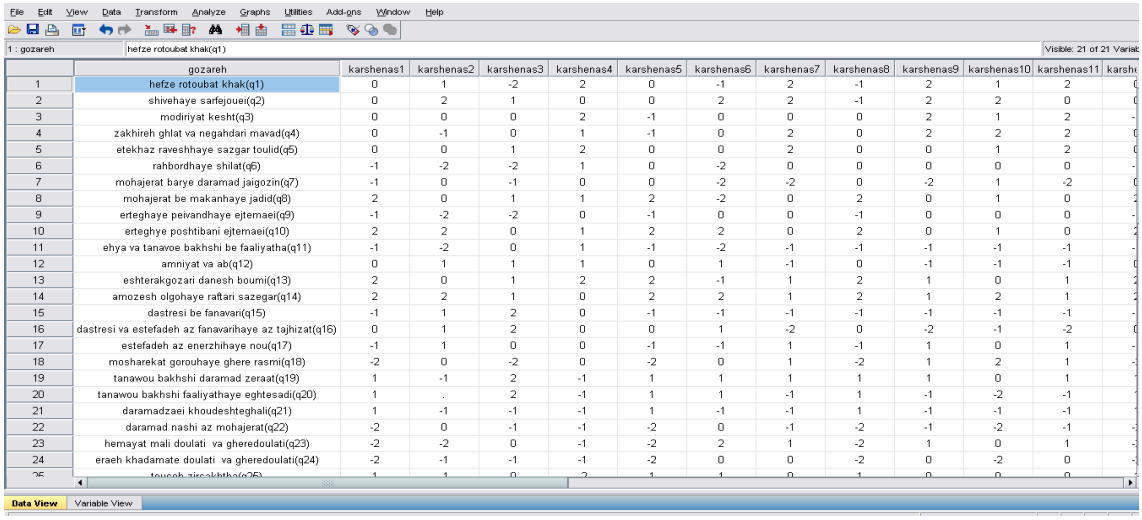
کمترین اهمیت				بیشترین اهمیت
-۲	-۱	۰	+۱	+۲
q18	q17	q28	q19	q 8
q22	q 9	q1	q20	q10
q23	q6	q2	q21	q13
q24	q7	q3	q25	q14
	q11	q4	q26	
	q15	q5	q27	
		q12		
		q16		

Chart1. Spectrum of Responses to the Q Questionnaire

داده‌های گردآمده برای ورود به نرم‌افزار SPSS 22 آماده شد و جهت تحلیل عاملی وارد محیط داده‌پردازی شدند. قسمتی از جدول تکمیل شده داده‌های پژوهش در نرم‌افزار در شکل دو نمایش داده شده است.

یافته‌های تحلیلی

در این بخش بعدازآنکه ادبیات و پیشینه مرتبط با موضوع مطالعه گردید، گزاره‌های کیو استخراج شد. سپس در قالب پرسشنامه در اختیار جامعهٔ نمونه قرار گرفت، تا نسبت به پاسخگوی به مسئله مد نظر اقدام نمایند. پس از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات به نرم‌افزار SPSS وارد گردید و تحلیل عاملی شدند. به‌صورتی که شکل شماره ۲ و دیگر اشکال و جداول آمده است.



	gozareh	karshenas1	karshenas2	karshenas3	karshenas4	karshenas5	karshenas6	karshenas7	karshenas8	karshenas9	karshenas10	karshenas11
1	hefze rotoubat khak(q1)	0	1	-2	2	0	-1	2	-1	2	1	2
2	shivehaye sarfejouei(q2)	0	2	1	0	0	2	2	-1	2	2	0
3	modiriyat kesht(q3)	0	0	0	2	-1	0	0	0	2	1	2
4	zakhireh ghlat va negahdari mavad(q4)	0	-1	0	1	-1	0	2	0	2	2	2
5	etekhaz raveshhaye sazgar toulid(q5)	0	0	1	2	0	0	2	0	0	1	2
6	rahbordhaye shilat(q6)	-1	-2	-2	1	0	-2	0	0	0	0	0
7	mohajerat barye daramad jaigozin(q7)	-1	0	-1	0	0	-2	-2	0	-2	1	-2
8	mohajerat be makanhaye jadid(q8)	2	0	1	1	2	-2	0	2	0	1	0
9	erteghaye peivandhaye ejtemaei(q9)	-1	-2	-2	0	-1	0	0	-1	0	0	0
10	erteghye poshtibani ejtemaei(q10)	2	2	0	1	2	2	0	2	0	1	0
11	ehya va tanavoe bakhshi be faaliyatha(q11)	-1	-2	0	1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1
12	amniyat va ab(q12)	0	1	1	1	0	1	-1	0	-1	-1	-1
13	eshterakgozari danesh boumi(q13)	2	0	1	2	2	-1	1	2	1	0	1
14	amozesh olgohaye raftari sazegar(q14)	2	2	1	0	2	2	1	2	1	2	1
15	dastresi be fanavari(q15)	-1	1	2	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
16	dastresi va estefadeh az fanavarihaye az tajhizat(q16)	0	1	2	0	0	1	-2	0	-2	-1	-2
17	estefadeh az enerzhihaye nou(q17)	-1	1	0	0	-1	-1	1	-1	1	0	1
18	mosharekat gorouhaye ghere rasmi(q18)	-2	0	-2	0	-2	0	1	-2	1	2	1
19	tanawou bakhshi daramad zeraat(q19)	1	-1	2	-1	1	1	1	1	1	0	1
20	tanawou bakhshi faaliyathaye eghtesadi(q20)	1	.	2	-1	1	1	-1	1	-1	-2	-1
21	daramadzaei khoudeshteghali(q21)	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
22	daramad nashi az mohajerat(q22)	-2	0	-1	-1	-2	0	-1	-2	-1	-2	-1
23	hemayat mali doulati va gheredoulati(q23)	-2	-2	0	-1	-2	2	1	-2	1	0	1
24	eraeh khadamate doulati va gheredoulati(q24)	-2	-1	-1	-1	-2	0	0	-2	0	-2	0

شکل ۲- شیوه ورود داده‌ها به نرم‌افزار (SPSS 22) جهت تحلیل عاملی

Fig.2. Method of Data Entry into the Software (SPSS 22) for Factor Analysis

با وارد کردن داده‌های پژوهش در نرم‌افزار، داده‌ها مورد تحلیل عاملی قرار گرفت. در روش‌شناسی کیو مشارکت‌کنندگانی که میزان موافقت و مخالفت آن‌ها در اولویت‌بندی گزاره‌ها به هم نزدیک‌تر باشد دارای ذهنیت مشابهی خواهند بود. در نتیجه در این روش با توجه به نزدیکی ذهنیت افراد، دسته‌بندی صورت می‌گیرد. در این تحلیل برای چرخش عامل‌ها از روش واریمکس استفاده شده. چنانچه مشاهده می‌شود نخستین عامل شناسایی شده با مقدار ویژه ٦/٨٧ نماینده تقریباً ٣٤/٣٧ درصد دیدگاه‌های مشارکت‌کنندگان بوده و ۵ عامل شناسایی شده در مجموع گویای ۹۲ درصد دیدگاه‌های مشترک مشارکت‌کنندگان می‌باشد که در ادامه به تجزیه‌وتحلیل آن‌ها در قالب جداول و اشکال پرداخته شده است. در مرحله نهایی برای بیان

ذهنیت مشترک یک گروه با یک عامل لازم است امتیازی که از دیدگاه عامل مورد نظر به هر گزینه کیو تعلق می‌گیرد محاسبه شود و سپس امتیاز عاملی توسط پژوهشگر و مطابق بازه رتبه‌بندی پژوهش مرتب می‌شوند و این امر منجر به تشکیل یک جدول جدید خواهد شد که نماینده ذهنیت عامل مورد نظر می‌باشد.

جدول ۲- مجموع واریانس به دست آمده از بارهای عاملی

Table2- Total Variance Obtained from Factor Loadings

اجزاء	مقادیر ویژه اولیه			مجموع بارهای عاملی			مجموع چرخش بارهای عاملی		
	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%
۱	۸/۳۶۹	٤١/٨٤٣	٤١/٨٤٣	٨/٣٦٩	٤١/٨٤٣	٤١/٨٤٣	٦/٨٧٥	٣٤/٣٧٥	٣٤/٣٧٥
۲	٥/٣٢٧	٢٦/٦٣٥	٦٨/٤٧٧	٥/٣٢٧	٢٦/٦٣٥	٦٨/٤٧٧	٤/٧٦٣	٢٣/٨١٤	٥٨/١٨٩
۳	٢/٣٧٤	١١/٨٧٢	٨٠/٣٤٩	٢/٣٧٤	١١/٨٧٢	٨٠/٣٤٩	٣/٢٧١	١٦/٣٥٧	٧٤/٥٤٦
٤	١/٣٤٤	٦/٧١٨	٨٧/٠٦٧	١/٣٤٤	٦/٧١٨	٨٧/٠٦٧	٢/٢١٣	١١/٠٦٦	٨٥/٦١٢
٥	١/٠٧٧	٥/٣٨٤	٩٢/٤٥١	١/٠٧٧	٥/٣٨٤	٩٢/٤٥١	١/٣٦٨	٦/٨٣٩	٩٢/٤٥١
٦	٠/٧٢	٣/٥٩٩	٩٦/٠٥						
۷	٠/٢٩٤	١/٤٧٢	٩٧/٥٢٢						
۸	٠/٢٠١	١/٠٠٧	٩٨/٥٢٩						
۹	٠/١٣٦	٠/٦٧٨	٩٩/٢٠٧						
۱۰	٠/٠٧٨	٠/٣٨٩	٩٩/٥٩٥						
۱۱	٠/٠٤٥	٠/٢٢٤	٩٩/٨١٩						
۱۲	٠/٠١٦	٠/٠٨١	٩٩/٩						
۱۳	٠/٠١	٠/٠٤٩	٩٩/٩٤٩						
١٤	٠/٠٠٧	٠/٠٣٦	٩٩/٩٨٥						
١٥	٠/٠٠٣	٠/٠١٥	١٠٠						
١٦	١/١٨٥	٥/٩٢٧	١٠٠						
١٧	٦/٣٨٣	٣/١٩١	١٠٠						
١٨	٢/٣٧٤	١/١٨٧	١٠٠						
١٩	-١/٨٧٢	-٩/٣٥٩	١٠٠						
٢٠	-٢/٢١١	-١/١٠٦	١٠٠						

بنابر جدول شماره دو، ۵ دیدگاه کلی در بین دیدگاه‌های متفاوت شناسایی گردید. به‌طوری که دیدگاه اول و دوم با بار عاملی ۳٤/۳۷ و ۲۳/۸۱ درصد، بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. این روند نشان از آن است که دیدگاه یک و دو مهم‌ترین دیدگاه‌ها بوده‌اند؛ بنابراین بین ۲۰ نفر نمونه آماری ما ۵

دیدگاه حاکم است؛ که نشان از تنوع بالای آن دارد؛ و مجموع این پنج دیدگاه ۹۲/٤ درصد دیدگاه‌ها را پوشش داده است؛ که فقط کمتر از ۸ درصد دیدگاه‌ها در این بازه پنج تایی قرار نمی‌گیرد. مقدار ویژه و میزان توافق عامل‌های چرخیده نیز آمده است. از سویی مشخص شده است که هر یک از کارشناسان طرفدار کدوم دیدگاه هستند؛ که در ادامه آمده است.

جدول ۳- همبستگی نمودار کیوها با عامل‌ها یا به‌نوعی ماتریس بارهای عاملی چرخشی در قالب ذهنیت‌های شناسایی شده

Table3- Correlation of Q Charts with Factors or the Rotated Factor Loading Matrix in the Context of Identified Mindsets

	ماتریس اجزاء				
	۱	۲	۳	٤	٥
کارشناس ۱	۰/۸۸٦	−۰/۳۸۷	−۰/۲	۰/۱۱۱	۰/۰۳
کارشناس ۲	۰/٦۱۳	−۰/۰٥٤	۰/۷٥٦	−۰/۱۷٤	۰/۰٥٥
کارشناس ۳	۰/٤۲۸	−۰/۱۷۷	۰/۲٤۲	۰/۲٦٦	۰/٤۳۸
کارشناس ٤	۰/۳۰۳	۰/٤٦۳	−۰/۱۸۲	−۰/٤٦٤	۰/٥٦۹
کارشناس ٥	۰/۸۳	−۰/٤٦۷	−۰/۲۳۱	۰/۰۲٤	−۰/۰۰٦
کارشناس ٦	۰/۳۱۱	۰/۰۰۷	۰/٤۸۷	۰/٥۹۳	−۰/٤۲۳
کارشناس ۷	۰/۳۹۲	۰/۸۳۱	−۰/۰٦۱	۰/۲۹۲	۰/۱۲
کارشناس ۸	۰/۷۹۹	−۰/٤۷۹	−۰/۳۰۹	۰/۰۱۷	−۰/۰۰٥
کارشناس ۹	۰/۳۸	۰/۸۲۷	−۰/۰٤	۰/۲٥۱	۰/۰۹۳
کارشناس ۱۰	۰/٦۰۷	۰/٦۳	−۰/۱۲۲	−۰/۲۹٥	−۰/۳۱٤
کارشناس ۱۱	۰/۳۹۲	۰/۸۳۱	−۰/۰٦۱	۰/۲۹۲	۰/۱۲
کارشناس ۱۲	۰/۸٦٥	−۰/٤۳٤	−۰/۲۰۳	۰/۰٤۲	−۰/۰۲٥
کارشناس ۱۳	۰/٦۱۳	−۰/۰٥٤	۰/۷٥٦	−۰/۱۷٤	۰/۰٥٥
کارشناس ۱٤	۰/۸۳	−۰/٤٦۷	−۰/۲۳۱	۰/۰۲٤	−۰/۰۰٦
کارشناس ۱٥	۰/٦۰۷	۰/٦۳	−۰/۱۲۲	−۰/۲۹٥	−۰/۳۱٤
کارشناس ۱٦	۰/۳۸۱	۰/۸۰٦	−۰/۰۲	۰/۲۷۳	۰/۱۸۸
کارشناس ۱۷	۰/٦۰۷	۰/٦۳	−۰/۱۲۲	−۰/۲۹٥	−۰/۳۱٤
کارشناس ۱۸	۰/۹۰۹	−۰/۲۹۸	−۰/۱۲۳	۰/۰۳۸	۰/۰۲٤
کارشناس ۱۹	۰/۸۹۷	−۰/۲۷٥	−۰/۱۹۱	۰/۰۸۸	۰/۰۳۹
کارشناس ۲۰	۰/٦۰۱	−۰/۰٤٥	۰/۷۱۷	−۰/۲۲۷	۰/۰٤۹

به‌نحوی‌که در جدول شماره سه نشان داده شده، تمرکز بیشتر صاحب‌نظران بر دیدگاه ۱ و ۲ بوده است. در حالت جزئی آن می‌توان بیان کرد که کارشناس اول دیدگاه ۱ را با اهمیت‌تر دانسته است. نظر نفر

دوم بیشتر بر دیگاه ۳ متمرکز بوده. مشارکت‌کنندگان سوم و چهارم با دیدی متفاوت بر دیدگاه ۵ تأکید داشته‌اند؛ و به همین ترتیب، دیگر کارشناسان دیدگاه‌های خاصی را مهم‌تر دانسته‌اند. لیکن بیشتر آن‌ها بر دیدگاه ۱ و ۲ متمرکز است. در مجموع می‌توان کارشناسان ۱، ۵، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ را در دیدگاه اول؛ کارشناسان ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷ را در دیدگاه دوم؛ کارشناسان ۲ و ۱۳ را در دیدگاه سوم؛ و ۶، ۳ و ۴ را به ترتیب در دیدگاه چهارم و پنجم جای داد.

در جدول شماره چهار، میزان توافق یا تناسب دیدگاه‌های غالب یا به‌نوعی میزان موافقت و مخالفت آن‌ها را نشان داده است. به‌عنوان‌مثال دیدگاه یک بیشترین توافق را با دیدگاه دو داشته؛ و کمترین تناسب را نسبت به دیدگاه پنج داشته. به همین ترتیب این روال برای دیدگاه‌های دیگر مصداق خواهد داشت. لازم به ذکر است در سنجش تناسب دیدگاه‌ها هر چه عدد به دست آمده کمتر باشد، میزان سازگاری یا توافق دو دیدگاه نسبت به هم بیشتر است. چیزی که در جدول ۴ با های‌لایت سبز و قرمز نشان داده شده.

جدول ۴- تناسب دیدگاه‌ها

Table4- Suitability of Perspectives

اجزاء	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰/۰۰۴	۰/۲۴۵	۰/۴۰۵	۰/۳۵۳	۰/۸۰۸
۲	۰/۱۲۲	۰/۳۷۱	-۰/۰۱۹	۰/۸۰۱	-۰/۴۵۳
۳	-۰/۲۹	-۰/۱۶	۰/۸۷۱	-۰/۰۶۴	-۰/۳۵۸
۴	-۰/۶۶۶	-۰/۵۵۶	-۰/۲۴۶	۰/۴۱۷	۰/۱۱۳
۵	۰/۶۷۷	-۰/۶۸۴	۰/۱۳۱	۰/۲۳۶	۰/۰۳۵

با توجه به جدول شماره ۴، تناسب دیدگاه‌ها نسبت به یکدیگر از ضریب بالایی برخوردار نیست؛ که این امر نشان از آن است که طرح دیدگاه‌ها از استقلال خوبی برخوردار است. به‌طور مثال تناسب دیدگاه ۱ و ۲ نزدیک به ۰/۲۵ است.

جدول ۵- مقدار ویژه و توافق عامل‌های چرخیده

Table5- Eigenvalues and Agreement of Rotated Factors

عامل	مقدار ویژه	میزان توافق	میزان توافق تجمعی
۱	۶/۸۷	۳۴/۳۷	۳۴/۳۷
۲	۴/۷۶	۲۳/۸	۵۸/۱۸

۳	۳/۲۷	۱٦/۳۵	۷٤/٥٤
٤	۲/۲	۱۱	۸٥/٦
٥	۱/۳٦	٦/۸	۹۲/٤٥

مقدار ویژه در واقع به معنی تمرکز بر استخراج دیدگاه‌ها است. به این صورت که هر چه عدد به سمت بالاتر باشد، دیدگاه‌ها را به‌صورت کلی دیده‌ایم؛ و برعکس هر چه پائین‌تر باشد دید ما در مورد استخراج دیدگاه‌ها جزئی بوده است. به‌نحوی‌که محققان در تحلیل‌های آورده شده با توجه به مقدار ویژه به ۵ دیدگاه دست یافته‌اند. به‌صورتی که در جدول شماره ۵ نشان داده شده مقدار ویژه عامل یا دیدگاه یک ٦/۸۷ درصد است؛ و همین‌طور دیدگاه‌ها یا عوامل ۲ تا ۵ به ترتیب دارای مقدار ویژه ٤/۷٦، ۳/۲۷، ۲/۲ و ۱/۳٦ هستند. ازآنجاکه مقدار ویژه عددی برابر با ۱ است. می‌توان گفت که بیشتر عوامل یا دیدگاه‌ها به‌صورت کلی دیده شده‌اند. براین اساس میزان توافق می‌توان گفت که عامل سازگاری زیست‌محیطی با ۳٤.۳۷ درصد بیشترین میزان توافق را کسب کرده و در رتبه‌های بعدی عامل سازگاری اجتماعی با ۲۳.۸ درصد، عامل سازگاری اقتصادی با ۱٦.۳۵ درصد، عامل سازگاری نهادهای دولتی با ۱۱ درصد و عامل سازگاری نهادهای غیردولتی با ٦.۸ درصد به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفته می‌شوند.

حال این استفهام وجود دارد که رویکردهای ۵ گانه شناسایی شده چه تفاوت و افتراقی با هم دارند؟ آیا کارشناسان جغرافیا بخصوص برنامه‌ریزی روستایی دیدگاه‌ها و رویکردهای متفاوتی نسبت به راهبردهای معیشتی جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی دارند، یا خیر؟ برای پاسخگویی به این سؤال به رویکرد عاملی توجه خواهیم کرد. رویکرد عاملی؛ جداول کیو کامل شده‌ای هستند که بر اساس نرمال‌سازی نتایج به دست می‌آیند. این رویکرد نشان می‌دهد که در هر عامل بیشترین و کمترین امتیاز به کدام گزینه کیو (گزاره) اختصاص یافته است. جدول ۵ خلاصه‌ای از رویکردهای عاملی پژوهش می‌باشد که کمترین و بیشترین امتیاز اختصاص یافته به هر گزینه در ۵ دیدگاه را نشان می‌دهد.

جدول ٦- ذهنیت‌های موافق و مخالف شناسایی شده بر حسب گزاره‌های پژوهش

Table6- Identified Supportive and Opposing Mindsets Based on Research Statements

ذهنیت‌های شناسایی شده	مهم‌ترین گزینه‌های موافق			مهم‌ترین گزینه‌های مخالف		
ذهنیت (رویکرد) یک	۱٤	۱۰	۲	۲۲	۲٤	۱۱
ذهنیت (رویکرد) دو	۱۳	۸	۱	۲۸	۹	٦
ذهنیت (رویکرد) سه	٥	٤	۲۷	۷	۲۳	۱٥

ذهنیت (رویکرد) چهار	۳	۱۹	۲۵	۲۱	۱۸	۱۲
ذهنیت (رویکرد) پنج	۱۹	۱۷	۱۲	۲۰	۲٦	۱٦

در جدول شماره ٦ مهم‌ترین گزاره‌های موافق و مخالف در مقابل یکدیگر قرار داده شده‌اند. به این صورت که پس از بررسی امتیازات اختصاص داده شده به گزاره‌ها از سوی کارشناسان، با اهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها شناسایی شدند. به‌عنوان‌مثال گزاره ١٤ با بالاترین امتیاز در مقابل گزاره ۲۲ با کمترین امتیاز قرار گرفته است. به همین ترتیب دیگر گزاره‌ها شناسایی و در مقابل یکدیگر قرار داده شده‌اند. نهایتاً بر اساس ذهنیت‌های موافق و مخالف شناسایی شده، گزاره‌ها در چارچوب دیدگاه‌های ۵ گانه دسته‌بندی گردیدند. به‌نحوی‌که در جدول شماره ۷ آمده است.

جدول ۷- اولویت‌بندی گزاره‌ها از دیدگاه ذهنی کارشناسان

Table7- Prioritization of Statements from the Subjective Perspective of Experts

دیدگاه	اولویت گزاره‌ها	رتبه
دیدگاه اول	آموزش الگوهای رفتاری سازگار ارتقاء پشتیبانی اجتماعی شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب	۱
دیدگاه دوم	اشتراک‌گذاری دانش بومی مهاجرت به مکان‌های جدید جهت ارتقاء مهارتی و آموزشی حفظ رطوبت خاک	۲
دیدگاه سوم	اتخاذ روش‌های سازگار تولید محصولات کشاورزی ذخیره غلات و نگهداری مواد غذایی رشد مراکز دانش‌بنیاد در مناطق روستایی	۳
دیدگاه چهارم	مدیریت کشت محصولات محلی تنوع‌بخشی درآمد در زراعت توسعه زیرساخت‌های روستایی	٤
دیدگاه پنجم	تنوع‌بخشی درآمد در زراعت دسترسی و استفاده از انرژی‌های نو	۵

با توجه به گزینه‌های موافق و مخالف و به‌نوعی بنابر اولویت‌های به دست آمده از دیدگاه‌های ذهنی کارشناسان به روش تحلیل عاملی در جدول شماره ۷ می‌توان رویکردهای ۵ گانه را به دو رویکرد کلی در

تبیین چالش‌های پیش‌روی سازگاری معیشتی جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی تقسیم نمود. رویکرد پایین به بالا به راهبردهای سازگاری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی؛ و رویکرد کلان در بعد نهادهای دولتی و غیردولتی به سازگاری تغییرات اقلیمی مد نظر است.

نتایج و بحث

شواهد به دست آمده از یافته‌های تحقیق، نشان می‌دهد که راهبردهای متعددی برای سازگاری جوامع روستایی با تغییرات اقلیمی قابل‌شناسایی است که با یکدیگر کار می‌کنند. اگرچه ویژگی‌های مشترک جهانی در رابطه با پیوند بین تغییرات اقلیمی و سازگاری معیشتی جوامع روستایی وجود دارد؛ اما تفاوت‌های فاحشی بین مناطق و کشورها وجود دارد که نیازمند رویکردهای محلی‌تر است. یافته‌های به دست آمده در تجزیه‌وتحلیل تحقیق، مطابق با الگوی ذهنی کارشناسان طراحی شده، که طیف وسیعی از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین راهبردهای سازگاری معیشتی متمرکز بر جوامع روستایی ایران را در اختیار ما قرار می‌دهد، که زمینه مناسبی برای هدفمندتر کردن سیاست‌گذاری‌های سازگاری معیشتی در جوامع روستایی محسوب می‌شود.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های تحقیق که مطابق با الگوی ذهنی کارشناسان بوده نشان می‌دهد، عمدتاً رویکرد پایین به بالا جهت سازگاری معیشت جوامع روستایی مورد تأکید قرار گرفته است. این در حالی است که نتایج به دست آمده با سیاست‌های سازگاری معیشتی که در مناطق بکار گرفته می‌شود، متفاوت است. به‌عنوان‌مثال، Lokuthula & Geoffrey, (2022) نشان می‌دهند که بیشتر سیاست‌های سازگاری معیشتی جوامع با تغییرات اقلیمی و تنوع همچنان، مبتنی بر رویکردهای بالا به پایین هستند و در دستیابی به اهداف توسعه پایدار جوامع محلی شکست خورده‌اند. ازاین‌رو، توسعه رویکردهای پایین به بالا در عصر تغییرات اقلیمی مختلف برای اطمینان از پایداری اقدامات جوامع روستایی ایران در برابر تغییرات اقلیمی ضروری است. به‌این‌ترتیب، هرگونه ورودی و حمایت از نهادهای خارجی و داخلی ممکن است بر تصمیماتی که جوامع روستایی می‌گیرند تأثیر بگذارد، و بعید است که استراتژی‌های سازگاری حاصل موفقیت‌آمیز باشد.

مطابق با یافته‌های تحقیق، در الگوی ذهنی کارشناسان رویکردهای سازگاری زیست‌محیطی – اجتماعی از اولویت بیشتری به نسبت سایر رویکردها جهت انطباق معیشت جوامع روستایی با تغییرات اقلیمی برخوردار است. این ذهنیت یک گرایش به سیاست‌های درون‌زاتر را نشان می‌دهد که مبتنی بر توانمندسازی جوامع محلی و اعمال سیاست‌های سبز است. نتایج به دست آمده با مطالعات Tilley, Herrón, Espinosa, Angarita, & Box, 2018; Karki, Burton, & Mackey, (2020); Nixon, et al., (2022); Velosa, Sánchez, Marín, & Becerra, (2022)، هماهنگ است. لذا، استنباط می‌شود، اولویت قرار گرفتن سازگاری

زیست‌محیطی – اجتماعی به خاطر حساسیت و شدت تأثیرپذیری مستقیم معیشت جوامع روستایی به این دو عامل است. از سوی دیگر، مطالعات (Sarkodie, , Adams, & Leirvik, (2020، سهم ویژه‌ای برای سازگاری نهادهای دولتی و غیردولتی قائل است. بااین‌حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش‌های از بالا به پایین برای سازگاری با تغییرات اقلیمی در دستیابی به بسیج جوامع محلی جهت اقدام با مشکل مواجه می‌شوند. این می‌تواند به دلیل شکست ذینفعان در ترکیب مشارکت محلی و همچنین عوامل اجتماعی–فرهنگی مانند رعایت الگوی رفتاری سازگار، شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و تبادل دانش باشد. در این راستا، هرگونه تصمیم‌گیری نهادی بدون پذیرش توسط ذی‌نفعان روستایی، به موفقیت دست پیدا نمی‌کند. بااین‌حال مطابق گفته (Liao, Agrawal, Clark, Levin, & Rubenstein, (2020در دوره تغییرات اقلیمی، جوامع روستایی برای دستیابی به سازگاری معیشتی به راهبردهای چندگانه نیاز دارند. به‌نحوی‌که پیوند بین سیاست‌های کلان دولتی، محرک‌های محیطی و اقتصادی در منطقه آشکارتر است. در این تحقیق سیاست‌های دولتی به‌عنوان یک عامل کلی ظاهر شد که به سازگاری‌های اجتماعی و اکولوژیکی را تقویت می‌کند، درنهایت سازگاری اقتصادی ازجمله معیشت کشاورزی روستائیان را شکل می‌دهد. اغلب وقتی با مظاهر تغییرات اقلیمی در ایران تلاقی می‌کند، مانع از ظرفیت سازگاری می‌شود. این تأثیرات از طریق تضعیف سرمایه اجتماعی، تغییر در دسترسی به زمین و منابع، محدودیت در دسترسی به خدمات مالی و ترویجی، کاهش درآمد و ناامنی غذایی مشاهده می‌شود.

همچنین، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که سازگاری معیشت جوامع روستایی در مواجه با تغییرات اقلیمی از راهبردهای مختلفی استفاده می‌کند. مهم‌ترین این راهبردها مربوط به الگوی رفتاری سازگاری، پشتیبانی اجتماعی، شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و اشتراک‌گذاری دانش بومی است. حجم قابل‌توجهی از ادبیات همچون (Velempini, Smucker, & Clem, 2018)، Son & Kingsbury 2020 و Inman, Hobbs, & Tsvuura, 2020 اهمیت سیستم دانش بومی را در سازگاری با تغییرات اقلیمی را تصدیق کرده است. همچنین، بیشتر استراتژی‌های سازگاری معیشتی که اجرا شده‌اند، پاسخی به تغییرات معیشت روستایی ناشی از تغییرات اقلیمی (تغییرات کوتاه‌مدت)، به جای تغییرات اقلیمی (تغییرات بلندمدت) است که منجر به ناپایدار معیشت روستائیان شده است.

اکثر مطالعات عدم مشارکت جوامع روستایی در برنامه‌ریزی و توسعه سازگاری را برجسته کرده‌اند که منجر به تضادها و ناسازگاری شده است، زیرا این سیاست‌های سازگاری اغلب با تصمیمات و نیازهای جوامع روستایی مغایرت دارند. ادغام هر دو رویکرد برای مدیریت اثرات تغییرات اقلیمی توسط نهادها و مردم محلی محقق نشده باقی مانده است. ترکیب این دو رویکرد می‌تواند معیارهای تطبیقی قابل‌توجهی را به همراه داشته باشد که نسبت به آنچه هر یک از رویکردها می‌توانست به‌طور جداگانه به دست آورد، برتر

است. توجه به مشارکت اثرگذار جوامع روستایی در تلاش‌های از بالا به پایین اهمیت دارد. ممکن است مواقعی وجود داشته باشد که ذینفعان مایل به کمک باشند، اما فقدان همکاری کامل از سوی جمعیت محلی مانع آن‌ها می‌شود. بااین‌حال، نگرش جمعیت‌های محلی نسبت به مشارکت به‌طور کامل بررسی نشده است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق راهبردهای اساسی برای سازگاری معیشتی جوامع روستایی ایران با تغییرات اقلیمی را برجسته می‌کند. برای پرداختن به این موضوع، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران بر اجرای سیاست‌های سازگاری با هدف کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری معیشت روستاییان تمرکز کنند. یکی از جنبه‌های مهم این پیشنهادها، اولویت‌بندی بین سیاست‌های کلان روستایی کشور است. به‌عنوان‌مثال، برگزاری دوره‌های آموزش الگوی رفتاری جهت سازگاری با تغییرات اقلیمی همچون صرفه‌جویی در مصرف آب، در نظر گرفتن پشتیبانی‌های اجتماعی و اتخاذ راهکارهایی جهت استفاده دانش بومی است. این راهکارها می‌تواند از طریق اصلاحات ساختاری با هدف ارتقاء کارآمدی دولت ملی و محلی در فرآیند تصمیم‌گیری محقق شود. علاوه بر این، بیشتر راهبردهای اجرایی سازگاری، پاسخی کوتاه‌مدت به معیشت روستایی بوده‌اند. ازآنجایی‌که جوامع روستایی به دلیل روابط محدود با نهادهای قدرت دارند؛ برای دولت بسیار مهم است که استراتژی‌های تلفیقی کوتاه‌مدت و بلندمدت جهت سازگاری معیشتی در دستور کار قرار دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد سیاست‌های انطباق با تغییرات اقلیمی براساس رویکرد از بالا به پایین و عدم ادغام کافی ذی‌نفعان محلی روستایی در تصمیمات است.

درنهایت، اگر سازگاری بلندمدت معیشت جوامع روستایی ایران در اولویت باشد، اتخاذ رویکردی برای سیاست‌گذاری که زمینه کاهش مهاجرت‌های روستا به شهری، مدیریت کشت محصولات کشاورزی، ارتقاء کیفیت تولیدات کشاورزی، ذخیره و نگهداری محصولات، تنوع‌بخشی درآمد روستائیان و توسعه زیرساخت‌ها در اولویت قرار دهد، ضروری است. با انجام این کار، سیاست‌گذاران می‌توانند بسیاری از اثرات منفی تغییرات اقلیمی را کاهش دهند و توسعه پایدار و عادلانه را در جوامع روستایی ترویج دهند.

این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است که باید به آن‌ها اذعان کرد. اولاً، این تحقیق بر راهبردهای جوامع روستایی از دیدگاه گروه‌های نخبگان متمرکز است که باعث شد برخی تمامی ذی‌نفعان بالقوه شرکت نکنند؛ بنابراین، نتایج باید با احتیاط تفسیر شوند. ثانیاً، ازآنجایی‌که این مطالعه بر اساس سازگاری جوامع روستایی ایران در مواجه با تغییرات اقلیمی است، فرآیند سازگاری در مناطق روستایی ساحلی و کوهستانی و دشتی متفاوت باشد، که نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر است. علاوه بر این، مطالعات آتی باید شکل‌های سکونتگاه‌های روستایی در سازگاری با تغییرات اقلیمی را بررسی کنند.

References

Abdulai, A., Ziemah, K., & Akaabre, P. B. (2017). Climate Change and Rural Livelihoods in the Lawra District of Ghana. A qualitative Based Study. *European Scientific Journal*, 13(11), 160-181. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n11p160

Adhikari, S., Baral, H., & Nitschke, C. (2018). Adaptation to Climate Change in Panchase Mountain Ecological Regions of Nepal. Environments, 5(3), 42. https://doi.org/10.3390/environments5030042

Amfo, B., & Ali, E. B. (2020). Climate Change Coping and Adaptation Strategies: How Do Cocoa Farmers in Ghana Diversify Farm Income? *Forest Policy and Economics*, 119, 102265. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102265

Asghari Sarem, A., & Markazi Moghaddam, N. (2015). Analysis of Success Crucial Factors for Human Resource Development at Health Sector. *Public Organizations Management*, *3*(3), 27-50. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.2322522.1394.3.0.8.6

Ateeq-Ur-Rehman, M., Siddiqui, B. N., Hashmi, N., Masud, K., Adeel, M., Khan, M. R. A., Dawood, K. M., Shah, S. A. A., & Karim, M. (2018). Climate Change Impact on Rural Livelihoods of Small Landholder: A Case of Rajanpur, Pakistan. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(2), 28. https://doi.10.11648/j.ijaas.20180402.11

Byers, E., Gidden, M., Leclère, D., Balkovic, J., Burek, P., Ebi, K., Greve, P., Grey, D., Havlik, P., & Hillers, A. (2018). Global Exposure and Vulnerability to Multi-Sector Development and Climate Change Hotspots. *Environmental Research Letters*, 13(5), 055012. https://doi.10.1088/1748-9326/aabf45

Currenti, R., Pearce, T., Salabogi, T., Vuli, L., Salabogi, K., Doran, B., Kitson, R., & Ford, J. (2019). Adaptation to Climate Change in an Interior Pacific Island Village: A Case Study of Nawairuku, Ra, Fiji. *Human Ecology*, 47, 65-80. https://doi.org/10.1007/s10745-019-0049-8

Dapilah, F., Nielsen, J. Ø., & Friis, C. (2020). The Role of Social Networks in Building Adaptive Capacity and Resilience to Climate Change: A Case Study from Northern Ghana. *Climate and Development*, 12(1), 42-56. https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1596063

Dhungana, N., Silwal, N., Upadhaya, S., Khadka, C., Regmi, S. K., Joshi, D., & Adhikari, S. (2020). Rural Coping and Adaptation Strategies for Climate Change by Himalayan Communities in Nepal. *Journal of Mountain Science*, 17(6), 1462-1474. https://doi.org/10.1007/s11629-019-5616-3

Douglass-Gallagher, E., & Stuart, D. (2019). Crop Growers' Adaptive capacity to climate change: A situated study of agriculture in Arizona's Verde Valley. *Environmental Management*, 63, 94-109. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1114-6

Escarcha, J. F., Lassa, J. A., Palacpac, E. P., & Zander, K. K. (2020). Livelihoods Transformation and Climate Change Adaptation: The Case of Smallholder Water Buffalo Farmers in the Philippines. *Environmental Development*, 33, 100468. https://doi.org.10.1016/j.envdev.2019.100468

Francioni, M., Trozzo, L., Baldoni, N., Toderi, M., Bianchini, M., Kishimoto-Mo, A. W., & D'Ottavio, P. (2022). Management of a Mediterranean Forage/Cereal-Based Cropping System: An Ecosystem Service Multisectoral Analysis in the Perspective of Climate Change. *Atmosphere*, 13(3), 487. https://doi.org/10.3390/atmos13030487

Füssel, H.M. (2009). An updated assessment of the risks from climate change based on research published since the IPCC Fourth Assessment Report. *Climatic change*, 97(3-4), 469-482. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9648-5

Gwatirisa, P. R., Pamphilon, B., & Mikhailovich, K. (2017). Coping with Drought in Rural Papua New Guinea: a Western Highlands Case Study. *Ecology of Food and Nutrition*, 56(5), 393-410. https://doi.org/10.1080/03670244.2017.1352504

Hermans, K., & Garbe, L. (2019). Droughts, Livelihoods, and Human Migration in Northern Ethiopia. *Regional Environmental Change*, 19, 1101-1111. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01473-z

Hossain, M. A., Ahmed, M., Ojea, E., & Fernandes, J. A. (2018). Impacts and Responses to Environmental Change in Coastal Livelihoods of South-West Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 637, 954-970. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.328

Inman, E. N., Hobbs, R. J., & Tsvuura, Z. (2020). No Safety Net in the Face of Climate Change: The Case of Pastoralists in Kunene Region, Namibia. *PloS One*, 15(9), e0238982. https://doi.10.1371/journal.pone.0238982

IPCC, A. (2014). AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

Jobbins, G., & Henley, G. (2015). *Food in an Uncertain Future: The Impacts of Climate Change on Food Security and Nutrition in the Middle East and North Africa*. Overseas Development Institute: London, UK.

Jungudo, M. (2023). *The Impact of Climate Change in Egypt*. In: Ani, K.J. (eds) Resource Conflict and Environmental Relations in Africa. Palgrave Macmillan, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7343-7_11

Karimi, M., Kaki S., & Rafati, S. (2018). Iran's Future Climate Conditions and Hazard in Climate Research. *Journal Of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3), 1-22. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/381121/en

Karki, S., Burton, P., & Mackey, B. (2020). Climate Change Adaptation by Subsistence and Smallholder Farmers: Insights from Three Agro-Ecological Regions of Nepal. *Cogent Social Sciences*, 6(1), 1720555. https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1720555

Khayyam, U., & Noureen, S. (2020). Assessing the Adverse Effects of Flooding for the Livelihood of the Poor and the Level of External Response: A Case Study of Hazara Division, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19638-19649. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08303-4

Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2021). Climate Change and Variability in Kenya: A Review of Impacts on Agriculture and Food Security. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 23-43. https://doi.10.1007/s10668-020-00589-1

Kolawole, O. D., Motsholapheko, M. R., Ngwenya, B. N., Thakadu, O., Mmopelwa, G., & Kgathi, D. L. (2016). Climate Variability and Rural Livelihoods: How Households Perceive and Adapt to Climatic Shocks in the Okavango Delta, Botswana. *Weather, Climate, and Society*, 8(2), 131-145. https://doi.10.1175/WCAS-D-15-0019.1

Lewis, P., Monem, M. A., & Impiglia, A. (2018). Impacts of climate change on farming systems and livelihoods in the Near East North Africa. With a special focus on small-scale family farming. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca1439en

Liao, C., Agrawal, A., Clark, P. E., Levin, S. A., & Rubenstein, D. I. (2020). Landscape Sustainability Science in the Drylands: Mobility, Rangelands and Livelihoods. *Landscape Ecology*, 35, 2433-2447. https://doi.org/10.1007/s10980-020-01068-8

Liu, Y., Hultman, M., Eisingerich, A. B., & Wei, X. (2020). How Does Brand Loyalty Interact with Tourism Destination? Exploring the Effect of Brand Loyalty on Place Attachment. *Annals of tourism research*, 81, 102879. https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102879

Lokuthula, M., & Geoffrey, M. (2022). Themes in Climate Change and Variability Within the Context of Rural Livelihoods. A Systematic Literature Review. *Research in Globalization*, 5, 100101. https://doi.org/10.1016/j.resglo.2022.100101

Merdasi, G., Yazdanpanah, M., Baradaran, M., & Forouzani, M. (2017). Representation of Farmers' Professional Identities in Shushtar District, Iran: A Study Based on Q-Methodology. *Journal of Rural Research*, *8*(1), 100-121. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087373.1396.8.1.7.5

Moroda, G. T., Tolossa, D., & Semie, N. (2018). Perception and Adaptation Strategies of Rural People Against the Adverse Effects of Climate Variability: A Case Study of Boset District, East Shewa, Ethiopia. *Environmental Development*, 27, 2-13. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.07.005

Mubiru, D. N., Radeny, M., Kyazze, F. B., Zziwa, A., Lwasa, J., Kinyangi, J., & Mungai, C. (2018). Climate Trends, Risks and Coping Strategies in Smallholder Farming Systems in Uganda. *Climate Risk Management*, 22, 4-21. https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.08.004

Mukwada, G., Taylor, S., Manatsa, D., Mahasa, P., & Robinson, G. (2020). Combating Food Insecurity in a Rapidly Changing Mountain Climate Environment: Insights from Lesotho. *Climatic change*, 163, 989-1006. https://doi.10.1007/s10584-020-02922-z

National Center of Climate and Drought Crisis Management. (2023). Final Report on Agricultural Drought, Crop Year 2022-2023. [In Persian] https://ndc.irimo.ir/far/wd/10211

Neumeier, S. (2017). Social Innovation in Rural Development: Identifying the Key Factors of Success. The Geographical Journal, 183(1), 34-46. https://doi.org/10.1111/geoj.12180

Nixon, R., Ma, Z., Zanotti, L., Khan, B., Birkenholtz, T., Lee, L., & Mian, I. (2022). Adaptation to Social–Ecological Change in Northwestern Pakistan: Household Strategies and Decision-making Processes. *Environmental Management*, 69(5), 887-905. https://doi.org/ 10.1007/s00267-021-01583-7

Ochieng, J., Kirimi, L., Ochieng, D. O., Njagi, T., Mathenge, M., Gitau, R., & Ayieko, M. (2020). Managing Climate Risk Through Crop Diversification in Rural Kenya. *Climatic change*, 162, 1107-1125. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02727-0

Ombogoh, D. B., Tanui, J., McMullin, S., Muriuki, J., & Mowo, J. (2018). Enhancing Adaptation to Climate Variability in the East African Highlands: A Case for Fostering Collective Action Among Smallholder Farmers in Kenya and Uganda. *Climate and Development*, 10(1), 61-72. https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1174665

Oviedo, A. F., Mitraud, S., McGrath, D. G., & Bursztyn, M. (2016). Implementing Climate Variability Adaptation at the Community Level in the Amazon Floodplain. *Environmental Science & Policy*, 63(C), 151-160. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.017

Pandey, R., Kumar, P., Archie, K. M., Gupta, A. K., Joshi, P., Valente, D., & Petrosillo, I. (2018). Climate Change Adaptation in the Western-Himalayas: Household Level Perspectives on Impacts and Barriers. *Ecological Indicators*, 84, 27-37. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.021

Papa, C., Nzokou, P., & Mbow, C. (2020). Farmer Livelihood Strategies and Attitudes in Response to Climate Change in Agroforestry Systems in Kedougou, *Senegal. Environmental Management*, 66, 218-231. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01302-8

Sarkodie, S. A., Adams, S., & Leirvik, T. (2020). Foreign Direct Investment and Renewable Energy in Climate Change Mitigation: Does Governance Matter?. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121262. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121262

Singh, C., Solomon, D., Bendapudi, R., Kuchimanchi, B., Iyer, S., & Bazaz, A. (2019). What Shapes Vulnerability and Risk Management in Semi-Arid India? Moving Towards an Agenda of Sustainable Adaptation. *Environmental Development*, 30, 35-50. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.04.007

Smith, J. B., Schneider, S. H., Oppenheimer, M., Yohe, G. W., Hare, W., Mastrandrea, M. D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., & Magadza, C. H. (2009). Assessing Dangerous Climate Change Through an Update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)"Reasons for Concern". Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(11), 4133-4137. https://doi.org/ 10.1073/pnas.0812355106

Sobczak-Szelc, K., & Fekih, N. (2020). Migration as One of Several Adaptation Strategies for Environmental Limitations in Tunisia: Evidence from El Faouar. *Comparative Migration Studies*, 8(1), 1-20. https://doi.org/10.1186/s40878-019-0163-1

Son, H., & Kingsbury, A. (2020). Community Adaptation and climate change in the Northern Mountainous Region of Vietnam: A Case Study of Ethnic Minority People in Bac Kan Province. *Asian Geographer*, 37(1), 33-51. https://doi.org/10.1080/10225706.2019.1701507

Tanner, T., Lewis, D., Wrathall, D., Bronen, R., Cradock-Henry, N., Huq, S., Lawless, C., Nawrotzki, R., Prasad, V., & Rahman, M. A. (2015). Livelihood Resilience in the Face of Climate Change. *Nature Climate Change*, 5(1), 23-26. https://doi.org/10.1038/nclimate2431

Tilley, A., Herrón, P., Espinosa, S., Angarita, J. L., & Box, S. (2018). Predicting Vulnerability to Management Changes in Data-Limited, Small-Scale Fisheries. *Marine Policy*, 94, 39-45. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.013

Tolera, T., & Senbeta, F. (2020). Pastoral System in the Face of Climate Variability: Household Adaptation Strategies in Borana Rangelands, Southern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 22(4), 3133-3157. https://doi.org/10.1007/s10668-019-00339-y

Velempini, K., Smucker, T. A., & Clem, K. R. (2018). Community-Based Adaptation to Climate Variability and Change: Mapping and Assessment of Water Resource Management Challenges in the North Pare Highlands, Tanzania. *African Geographical Review*, 37(1), 30-48. https://doi.org/10.1080/19376812.2016.1229203

Velosa, J. E. P., Sánchez, S. R., Marín, A. M., & Becerra, N. M. C. (2022). Prevention of Exposure to Zoonoses in Rural Latin America: Social Ecological Factors in a Diverse Regional Context. One Health, 100444. https://doi.org/ 10.1016/j.onehlt.2022.100444

Wichern, J., Hammond, J., van Wijk, M. T., Giller, K. E., & Descheemaeker, K. (2023). Production Variability and Adaptation Strategies of Ugandan Smallholders in the Face of Climate Variability and Market Shocks. *Climate Risk Management*, 40, 100490. https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100490

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.292-315 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.81661.1347 Open access

The Influence Factors of Farmers' Adaptive Behavior in Kermanshah Province Under Water Scarcity Conditions: The Role of Risk Perception and Self-efficacy in the Theory of Planned Behavior

Yousof Azadi[a], Jafar Yaghoubi[*b], Heydar Gholizadeh[c], Saeed Gholamrezai[d], Fatemeh Rahimi-Feyzabad[e]

[a] *PhD graguate in Agricultural Development, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
[b] *Professor in Agricultural Extension and Education, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
[c] *Associate in Agricultural Economics, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
[d] *Associate in Agricultural Extension and Education, Lorestan University, Khorramabad, Iran*
[e] *Assistant in Agricultural Extension, Lorestan University, Khorramabad, Iran*

Received: 16 March 2023 ***Revised: 10 May 2023*** ***Accepted: 18 June 2023***

Abstract

Water scarcity is one of the risks of the agricultural sector, especially in arid and semi-arid regions, and it is predicted that its situation will worsen in the future. To minimize the consequences and effects of water scarcity on the agricultural sector, water-scarce countries such as Iran must adopt effective adaptation strategies to manage water resources to reduce risk. This requires investigating the influencing factors on the behavior and adaptation intention of actors in the agricultural sector. Therefore, the present research was conducted to identify factors influencing the behavior of water scarcity adaptation among farmers in Kermanshah province by using the extended theory of planned behavior and adding two variables of risk perception and self-efficacy to the theory. The statistical population of this research was 32,753 irrigated wheat farmers of Kermanshah province, and a sample of 380 of them were selected for the research using the multi-stage cluster sampling method with the proportional assignment and based on the Krejcie and Morgan table. Data collection in this research was done through a researcher-made questionnaire. To check the validity of the research tool, face, and construct validity were used. Also, the reliability of the research tool was confirmed by calculating Cronbach's alpha coefficient (0.848-0.895) and composite reliability for the research variables. The results showed that the three main constructs of the theory of planned behavior including attitude, subjective norm, and perceived behavioral control had a positive and significant effect on intention. The perceived behavioral control affected adaptive behavior. Also, in the theory of planned behavior, 56% of the variance of intention and 53% of the variance of adaptation behavior were explained, and by adding the risk perception and self-efficacy to the theory, the explanation percentage of behavioral intention and adaptive behavior increased to 58 and 62%, respectively.

Keywords: Water scarcity, Adaptive behavior, Theory of planned behavior, Risk perception, Self-efficacy, Adaptation strategies

[*]. Corresponding author: Jafar Yaghoubi Email: yaghobi@znu.ac.ir Tel:+989125410054

How to cite this Article: Azadi, Y., Yaghoubi, J., Gholizadeh, H., Gholamrezai, S. & Rahimi-Feyzabad, F. (2024). The Influence Factors of Farmers' Adaptive Behavior in Kermanshah Province Under Water Scarcity Conditions: The Role of Risk Perception and Self-efficacy in the Theory of Planned Behavior . *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 292-315.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۱۵-۲۹۲ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI:10.22067/geoeh.2023.81661.1347 دسترسی آزاد

عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری کشاورزان استان کرمانشاه تحت شرایط کم‌آبی: نقش ادراک خطر و خودکارآمدی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده

یوسف آزادی- دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
جعفر یعقوبی[1]- استاد گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
حیدر قلیزاده- دانشیار گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سعید غلامرضایی- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
فاطمه رحیمی فیض‌آباد- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۱۲/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۲۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۲۸

چکیده

کمبود آب یکی از مخاطرات بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و پیش‌بینی می‌شود وضعیت آن در آینده بدتر شود. به‌منظور به حداقل رساندن پیامدها و اثرات ناشی از کمبود آب بر بخش کشاورزی، کشورهای کم‌آب همچون ایران باید راهبردهای سازگاری مؤثری را برای مدیریت منابع آب با هدف کاهش خطر اتخاذ کنند. این امر مستلزم بررسی عوامل اثرگذار بر رفتارها و قصد سازگاری کنشگران بخش کشاورزی است؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری با کم‌آبی در بین کشاورزان استان کرمانشاه با استفاده از نظریه گسترش‌یافته رفتار برنامه‌ریزی شده و افزودن دو متغیر ادراک خطر و خودکارآمدی به نظریه، به روش پیمایش انجام شد. جامعه‌ی آماری این پژوهش، کشاورزان گندم‌کار آبی استان کرمانشاه به تعداد ۳۲۷۵۳ نفر بودند که با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای با انتساب متناسب و بر اساس جدول کرجسی و مورگان نمونه‌ای ۳۸۰ نفری از آن‌ها برای تحقیق انتخاب شدند. گردآوری اطلاعات در این پژوهش از طریق پرسشنامه‌ای محقق ساخته انجام گرفت. جهت بررسی روایی ابزار پژوهش از روایی صوری و سازه استفاده گردید. همچنین پایایی ابزار تحقیق از طریق محاسبه ضریب آلفای کرونباخ (۰/۸۴۸- ۰/۸۹۵) و پایایی ترکیبی برای متغیرهای تحقیق مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای $SPSS_{26}$ و $AMOS_{24}$ انجام شد. نتایج نشان داد، سه سازه اصلی نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده شامل نگرش، هنجار ذهنی و کنترل رفتاری درک شده بر قصد رفتاری به‌صورت مثبت و معنی‌داری اثرگذار بودند. از طرف دیگر، متغیر کنترل رفتاری درک شده بر رفتار سازگاری اثرگذار بود. همچنین در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده ۵۶ درصد از واریانس قصد رفتاری و ۵۳ درصد از رفتار سازگاری با کم‌آبی تبیین شد و با اضافه شدن متغیرهای ادراک خطر و خودکارآمدی به نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده، درصد تبیین قصد رفتاری و رفتار سازگاری به ترتیب به ۵۸ و ۶۲ درصد افزایش یافت.

کلیدواژه‌ها: کمبود آب، رفتار سازگاری، نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده، ادراک خطر، خودکارآمدی، استراتژی‌های سازگاری

[1] نویسنده مسئول : ۰۹۱۲۵۴۱۰۰۵۴ Email:yaghobi@znu.ac.ir

مقدمه

آب برای زندگی و توسعه پایدار ازجمله حفظ محیطزیست طبیعی، کاهش فقر و کاهش گرسنگی ضروری است (Kakar, 2017). از همین رو به‌عنوان مهم‌ترین عنصر روی زمین(Musse, 2021) و از ضروری‌ترین منابع طبیعی (Kakar, Shah, & Khan, 2018) و از نهاده‌های کلیدی تولید در بخش کشاورزی محسوب می‌شود (Usman, et al., 2023). بااین‌حال، منابع آب محدود است و تقاضا برای آب در جنبه‌های مختلف توسعه افزایش یافته است. این در حالی است که عوامل طبیعی و انسان‌ساز تأثیر منفی بر دسترسی و پایداری آب داشته است (Musse, 2021).

در بیشتر کشورها، آتش‌سوزی‌های جنگلی به دلیل دمای بالا بیشتر شده است، خشکسالی فراگیر و پایدارتر شده است و نرخ بیابان‌زایی نیز در حال رشد است (Chebil, Frija, Makhlouf, Thabet, & Jebari, 2019). از طرف دیگر، استفاده نادرست از منابع آبی، نبود زیرساخت‌های تأمین آب و همچنین تغییرات اقلیمی از دلایل کمبود آب به شمار می‌روند. در میان این پدیده‌ها، چهارمین گزارش ارزیابی هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی[2] (IPCC)بیان می‌کند که انتظار می‌رود میزان تنش وارد شده بر منابع آب در نتیجه تغییرات اقلیمی افزایش یابد (Mancosu, Snyder, Kyriakakis, & Spano, 2015).

مطالعات در زمینه بررسی اثرات تغییرات اقلیم، خشکسالی و کمبود آب بر بخش‌های کشاورزی و دامداری تأکید کرده‌اند که کمبود آب در بخش کشاورزی، تولید محصول و در نتیجه درآمد را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش ناامنی غذایی در میان خانوارها می‌شود که درنهایت خانوارها فقیرتر و آسیب‌پذیرتر می‌شوند(Usman, et al., 2023). برای مثال تخمین زده شده است که تا سال ۲۰۵۹ در آسیای جنوبی، همراه با کاهش ۳۷ درصدی سرانه ناخالص آب، عملکرد غلات در هکتار تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد (Abid, Scheffran, Schneider, & Ashfaq, 2015). همچنین مصرف ناکافی آب منجر به طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های فیزیولوژیکی می‌شود که بر سلامت دام‌ها، راندمان تولیدمثل، عملکرد رشد و کیفیت محصولات دامی تأثیر منفی می‌گذارد و منجر به افزایش مرگ حیوانات می‌شود (Chikwanha, et al., 2021).

به‌منظور مقابله با اثرات ذکر شده ناشی از تغییرات اقلیم و کمبود آب، اتخاذ برخی اقدامات با هدف ساده‌سازی و بهینه‌سازی راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی، حیاتی هستند (Mancosu, Snyder, Kyriakakis, & Spano, 2015). در این راستا اتخاذ اقدامات و راهبردهای سازگاری با کم‌آبی می‌تواند موجب تغییر اثرات احتمالی ناشی از خطرات خشکسالی و کمبود آب در آینده گردد، این به‌نوبه خود می‌تواند بر تصمیمات و رفتارهای انسانی تأثیر بگذارد (Wens, Mwangi, Van Loon, & Aerts, 2021). سازگاری، پاسخ به یک تهدید واقعی یا درک شده است که به دنبال تعدیل یا حذف تهدید است (Provenzano, 2015). Mitter, Larcher, Schönhart, Stöttinger, & Schmid, (2019) بیان نمودند که

2. Intergovernmental Panel on Climate Change

سازگاری در بخش کشاورزی به اقداماتی اطلاق می‌شود که از آسیب فیزیکی یا پولی جلوگیری می‌کند یا فرصت‌های جدیدی را فراهم می‌کند. اهداف کلیدی مدنظر اقدامات سازگاری عبارت‌اند از حفظ یا افزایش تولید در بخش کشاورزی، در برخی موارد بدون تشدید کمبود آب و حفظ آب کشاورزی در پاسخ به فشارها برای تخصیص مجدد آب به سایر مصارف مانند محیط‌زیست یا مقابله با کمبود آب. هدف دیگری که ممکن است به دو هدف دیگر مرتبط باشد افزایش یا حداقل حفظ درآمد خالص کشاورزی است (Scheierling & Treguer, 2016).

یکی از دلایل استفاده ناکارآمد از آب، رفتار انسان است. دراین‌بین عوامل زمینه‌ای و روان‌شناختی گوناگونی زیربنای رفتار است. عوامل زمینه‌ای شامل عوامل اجتماعی–اقتصادی، فنی، نهادی و محیطی و عوامل رفتاری شامل عوامل مرتبط با ادراک خطر، نگرش‌ها، هنجارها و غیره است. بااین‌حال، مطالعات کمی دیدگاه یکپارچه از این عوامل را در شکل‌دهی رفتار مصرف آب در نظر می‌گیرند (Callejas Moncaleano, Pande, & Rietveld, 2021) و با بررسی پیشینه پژوهش موجود (Grothmann & Patt, 2005; Burnham & Ma, 2017) مشخص می‌گردد که واکنش کشاورزان به اثرات تغییرات اقلیم یا به عبارت بهتر سازگاری نیازمند اتخاذ مداخلات و تغییرات مناسب در رفتار انسان است. ازاین‌رو، هدف اکثر تحقیقات در زمینه تغییرات اقلیم و کمبود آب، درک عوامل مؤثر بر انتخاب و اتخاذ اقدامات سازگاری است (Wens, Mwangi, Van Loon, & Aerts, 2021). در این راستا Tiet, To-The, & Nguyen-Anh, (2022) معتقدند که درک محرک‌های رفتار سازگاری کشاورزان به‌منظور افزایش انعطاف‌پذیری کشاورزی برای مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیم همچون خشکسالی و کم‌آبی بسیار مهم است؛ به‌عبارت‌دیگر، پی بردن به درک کشاورزان از کمبود آب مهم است زیرا به تبیین تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری و همچنین به توجیه علمی رفتار سازگاری کمک می‌کند و می‌تواند انگیزه طراحی بهتر پروژه‌هایی با هدف مدیریت منابع طبیعی و سازگاری معیشتی را ایجاد کند (Singh, Osbahr, & Dorward, 2018). از همین رو، به‌کارگیری یک نظریه روان‌شناختی یا اقتصادی در فرآیند گردآوری داده‌ها و بررسی آن می‌تواند پایه‌ای محکم برای بحث در مورد عوامل رفتاری ایجاد کند و همچنین از پرسیدن سؤالات درست به‌منظور رسیدن به درک و فهم درست از رفتار پشتیبانی کند (Wens, Mwangi, Van Loon, & Aerts, 2021).

با توجه به اینکه کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد ایران است و به دلیل ماهیت محیطی بخش کشاورزی و قرار گرفتن در معرض تغییرات محیط‌زیستی، این بخش اکنون با تغییرات اقلیم و کم‌آبی مورد تهدید جدی قرار گرفته است (Khanian, Serpoush, & Gheitarani, 2019). در این بین، استان کرمانشاه، به دلیل توزیع بالای جمعیت در منطقه، عدم مدیریت صحیح و نبود برنامه‌های جامع‌نگر در بخش آب در معرض مخاطرات آب محور به‌ویژه خشکسالی و سیل قرار دارد (Binaiyan, Agahi, Fatemi, 2018). همچنین طبق نظرات کارشناسان، تنش آب در استان کرمانشاه وجود دارد و عوامل طرف تقاضای آب، بیشترین نقش را در ایجاد تنش آبی دارند. بر اساس مجموع نظر متخصصان و کارشناسان، ۷۲/۵ درصد از

تنش آب در استان کرمانشاه به طرف تقاضای آب و ۲۷/۵ درصد به طرف عرضه آب مربوط می‌شود (Fathollahi, Najafi, & Farhangian, 2022) میانگین بارندگی در این استان ٤٦۰ میلی‌متر در سال است، اما در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های مکرر و کاهش بارندگی به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته است (Fatahi, Vahedi, Arayesh, bagher, & Samani, 2021). با توجه به ادبیات اندک برای درک رفتار سازگاری در برابر کمبود آب، تلاشی در راستای گنجاندن متغیرهای ادراک خطر و خودکارآمدی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی (تا متغیر رفتار)، انجام نشده است؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری با کم‌آبی در بین کشاورزان استان کرمانشاه با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده و افزودن دو متغیر ادراک خطر و خودکارآمدی انجام شد.

مطالعات تجربی مبتنی بر مدل‌های روانی-اجتماعی که رفتارها را پیش‌بینی می‌کنند، ازجمله نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده راه خود را به ادبیات تغییرات اقلیم باز کرده‌اند تا به محققان کمک کنند تا بفهمند چه چیزی باعث اثرگذاری بر اقدامات سازگاری می‌شوند (Jacob, Valois, & Tessier, 2021). سودمندی نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده برای پیش‌بینی رفتارها در پژوهش‌ها و زمینه‌های مختلف از قبیل مطالعه (Mahdavi, 2021) در رابطه با کاهش مصرف آب کشاورزی، تحقیق(Russell & Knoeri, 2020) در رابطه با قصد و رفتار حفاظت از آب، پژوهش Jacob, Valois, & Tessier, (2021) در زمینه رفتارهای سازگاری با گرما و سیل، مطالعه Wheeler, Zuo, & Bjornlund, (2013) در رابطه با باورها نسبت به تغییرات اقلیم، پژوهش Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020) در رابطه با رفتارهای سازگاری و کاهش تغییرات اقلیم، مطالعه Roesch-McNally, Gordon Arbuckle, & Tyndall, (2017) در زمینه درک قصد سازگاری کشاورزی، تحقیق Herr, (2018) در رابطه با قصد رعایت محدودیت‌های آبی در طول خشکسالی، پژوهش (Niles, Brown, & Dynes, 2016) در زمینه قصد پذیرش با پذیرش واقعی شیوه‌های تغییر اقلیم در کشاورزی، تحقیق Jellason, Baines, Conway, & Ogbaga, (2019) در زمینه نگرش و درک تغییرات اقلیم نسبت به سازگاری کشاورزان و پژوهش Rahimi Faizabadi, Yazdanpanah, Forouzani, Mohammad Zadeh, & Burton, (2017) در زمینه رفتار حفاظت از آب کشاورزان نشان داده شده است.

نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده بیان می‌کند که نگرش، هنجارهای ذهنی و کنترل رفتاری درک شده، سازه‌های پیش‌بین قصد رفتاری هستند که به‌نوبه خود، قصد رفتاری، همراه با کنترل رفتاری درک شده، می‌تواند برای پیش‌بینی رفتار استفاده شود (Ajzen, 1991). در این نظریه، قصد فرد عامل اصلی در انجام یک رفتار می‌باشد (Kaiser & Scheuthle, 2003). قصد رفتاری، طرح آگاهانه و یا تصمیم فرد به انجام رفتار می‌باشد (Ajzen, 1991). در همین زمینه Masud, et al., (2016) معتقدند که تعیین نحوه درک مردم از تغییرات اقلیم و میزان تمایل آن‌ها به رفتار سازگاری بسیار مهم است.

نگرش نسبت به رفتار، اولین مؤلفه تعیین‌کننده‌ی قصد می‌باشد. نگرش نسبت به رفتار به ارزیابی مطلوب یا نامطلوب فرد از یک رفتار اشاره دارد (Ajzen, 1991; 1985). نگرش منعکس‌کننده نحوه دیدگاه افراد

نسبت به محیط پیرامون خود و توجه آن‌ها به مسائل محیط‌زیستی است. نگرش مطلوب به فرد کمک می‌کند تا نقش مهمی در حفظ محیط‌زیست ایفا کند(Masud, et al., (2016).

افراد غالباً بر مبنای درک خود از آنچه دیگران درک می‌کنند، عمل می‌نمایند و قصد آن‌ها جهت پذیرش رفتار، متأثر از افرادی می‌باشد که داری ارتباطات نزدیکی با آن‌ها می‌باشد (Kaiser & Scheuthle, 2003؛ Ajzen, 1985). لذا دومین پیش‌بینی کننده قصد، یک عامل اجتماعی به نام هنجار ذهنی، می‌باشد. هنجار ذهنی نشان‌دهنده‌ی فشار اجتماعی ادراک شده برای انجام یا عدم انجام رفتار است (Ajzen, 1991).

کنترل رفتاری درک شده در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده، ارتباط بین اراده اختیاری (نظریه کنش منطقی) و اراده غیراختیاری (نظریه تقاضامحور) را تسهیل می‌کند (Lynne, Casey, Hodges, & Rahmani, 1995)؛ به‌عبارت‌دیگر، کنترل رفتاری درک شده به سهولت یا دشواری درک شده انجام رفتار اشاره دارد (Ajzen, 1991).

اگرچه نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده چارچوب ارزشمندی برای تجزیه‌وتحلیل عوامل روان‌شناختی مؤثر بر رفتار را فراهم کرده است، اما مطالعات زیادی از قبیل Ng, (2022); Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, 2021; Castillo, Engler, & Wollni, (2021); Chang, Kuo, & Chen, (2022); Faisal, et al., 2020)، در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی به تبیین رفتار بر اساس نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلاح شده پرداخته‌اند. این مطالعات عمدتاً تلاش کرده‌اند تا با اصلاح بیشتر سازه‌های نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده و اضافه کردن سایر متغیرهای توسعه یافته، به تبیین بهتری از رفتار دست یابند (Faisal, et al., 2020)؛ بنابراین این مطالعه متغیرهای خودکارآمدی و ادراک خطر را به تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده افزوده است که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

خودکارآمدی یکی از سازه‌های افزوده شده به نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده می‌باشد. خودکارآمدی، توانایی درک شده یک فرد برای انجام پاسخ‌های مقابله‌ای یا سازگارانه توصیه شده است؛ به‌عبارت‌دیگر، خودکارآمدی نشان می‌دهد که آیا فرد احساس می‌کند قادر به اجرای یک اقدام کاهش خطر خاص می‌باشد یا خیر (Gebrehiwot & van der Veen, 2015). خودکارآمدی، نشان‌دهنده میزانی است که افراد معتقدند قادر به انجام اقدامات سازگاری مرتبط هستند که ممکن است با ارزیابی عینی از توانایی واقعی فرد برای سازگاری (یعنی ظرفیت سازگاری) متفاوت باشد (van Valkengoed & Steg, 2019). در همین زمینه Gebrehiwot & van der Veen, 2015 معتقدند که ادراک خطر و خودکارآمدی احتمال انجام پاسخ‌های سازگارانه را افزایش می‌دهد. همچنین Azadi, Yazdanpanah, Forouzani, & Mahmoudi, (2019) بیان کردند که خودکارآمدی عامل مهمی است که بر رفتار سازگاری تأثیر می‌گذارد. Burnham & Ma, (2017) دریافتند که خودکارآمدی درک شده، قصد سازگاری را در میان کشاورزان خرده‌مالک در چین افزایش می‌دهد. در مطالعه فراتحلیل انجام شده توسط van Valkengoed & Steg, (2019) نشان داده شد که درک سطوح بالاتر خودکارآمدی با

رفتار سازگاری مرتبط است. این نتیجه در راستای نظریه‌های مختلفی است که پیشنهاد می‌کنند خودکارآمدی یکی از عوامل کلیدی تعیین‌کننده رفتار (سازگاری) است.

ادراک خطر، دیگر سازه افزوده شده به نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده است که به‌عنوان یک عامل مهم در فهم رفتار افراد مطرح شده است. تغییرات اقلیمی، خشکسالی و کمبود آب به دلیل عدم قطعیت در مورد عملکرد محصول و دام به‌عنوان یک خطر قابل‌توجه در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، ادراک خطر در تصمیم‌گیری مهم است، زیرا تصمیم‌گیری‌ها باید تمام پیامدهای احتمالی را پیش‌بینی کنند تا به‌طورکلی بتوان با آن‌ها مقابله شود Jellason, Baines, Conway, & Ogbaga, (2019). پی بردن به ادراک خطر کشاورزان کمبود آب، اقدامات سازگاری و تصمیم‌گیری‌ها در راستای تطبیق شیوه‌های کشاورزی آن‌ها به‌منظور ایجاد سیاست‌ها و برنامه‌های بهتر برای سازگاری با تغییرات اقلیم، به‌ویژه در بخش کشاورزی، مهم است (Nisengwe, 2016).

ادراک خطر، با رفتار افراد در ارتباط است زیرا افراد از بین طیف گسترده‌ای از راهبردهای محدود یا باز می‌توانند رفتار مناسب را اتخاذ کنند (Azadi, Yazdanpanah, Forouzani, & Mahmoudi, 2018). Tiet, To-The, & Nguyen-Anh, (2022) بیان کردند که ادراک خطر یک محرک اجتماعی–روانشناختی است که به‌طور گسترده در ارتباط با تغییرات اقلیم می‌باشد و به قضاوت شخصی در مورد عدم قطعیت مرتبط با فاجعه اشاره دارد. ادراک خطر یک واقعیت عینی نیست، بلکه یک ارزیابی ذهنی از خطر است (Ng, (2022)). ادراک خطر به‌عنوان قضاوت شهودی افراد و گروه‌های تحت خطر در زمینه اطلاعات محدود و نامطمئن در نظر گرفته می‌شود. ادراک خطر ارزیابی ذهنی از احتمال وقوع یک نوع تهدید خاص و میزان نگرانی افراد از عواقب آن است (Slovic, 2000 cited in Gebrehiwot & van der Veen et al., 2015).

Chang, Kuo, & Chen, (2022) بیان نمودند که خطرات درک شده ممکن است افراد را ترغیب کند که توجه بیشتری به اثرات تغییرات اقلیم و کمبود آب داشته باشند و اقدامات متناظر را به‌منظور کاهش خطرات انجام دهند. همچنین برخی از محققان همچون O'Connor, Bard & Fisher, (1999) نشان دادند که ادراک خطر و سایر شاخص‌های آب و هوایی مرتبط، انگیزه‌های مهمی برای رسیدگی به مسائل سازگاری و کاهش تغییرات اقلیم هستند. آنان رابطه بین ادراک خطر و قصد به پرداختن به تغییرات اقلیم را با استفاده از پارامترهایی مانند ادراک خطر، دانش مرتبط با تغییرات اقلیم، اقدامات دولت برای رسیدگی به مشکل،s باورهای محیطی عمومی و متغیرهای جمعیت شناختی را گزارش کردند. همچنین پژوهشگرانی همچون Gardezi & Arbuckle, (2020) و Azadi, Yazdanpanah, & Mahmoudi, (2019) معتقدند که ادراک خطر به‌طور قابل‌توجهی بر قصد سازگاری با تغییرات اقلیم تأثیر می‌گذارد. در مطالعاتی ادراک خطر به‌عنوان یک متغیر افزودنی مهم به نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده پیشنهاد شده است، به‌ویژه در رابطه با اتخاذ اقداماتی که آسیب رسیدن به افراد و اموال را کاهش می‌دهد یا از آن محافظت می‌کند (Rezaei, Seidi, and Karbasioun, 2019 cited in Linder & Campbell-Arvai, 2021). Ng, (2022) در بررسی اثرات ادراک

خطر بر آمادگی در برابر طوفان به این نتیجه دست یافت که ادراک ریسک یک پیش‌بینی کننده مهم رفتار آمادگی در برابر فاجعه می‌باشد. (Wens, Mwangi, Van Loon, & Aerts, 2021) بیان کردند که تصمیمات سازگاری، اغلب توسط ادراک خطر ذینفعان، خودکارآمدی و کنترل رفتاری درک شده هدایت می‌شوند. Tiet, To-The, & Nguyen-Anh, (2022) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که عوامل متعددی، ازجمله باور به وقوع و پیامدهای تغییرات اقلیم و ادراک خطرات، می‌تواند کشاورزان را تشویق کند تا استراتژی‌هایی را به کار گیرند که به مقابله با تغییرات اقلیم کمک کند. نتایج حاصل از مطالعه فراتحلیل van Valkengoed & Steg, (2019)نشان داد به‌طورکلی، ادراک ریسک، رفتار سازگاری را تحریک می‌کند.

استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده در تحقیقات مربوط به سازگاری با کم‌آبی اندک است. بااین‌حال، تلاش‌های انجام گرفته در خصوص بررسی عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری کشاورزی با کم‌آبی شایان توجه است و در این رابطه می‌توان به پژوهش‌های Chang, Kuo, & Chen, (2022) در تایوان، Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, 2021 در ایران، Castillo, Engler, & Wollni, (2021) در شیلی، Jacob, Valois, & Tessier, 2021 در کانادا، Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020) در چین، Jellason, Baines, Conway, & Ogbaga, (2019) در نیجریه، Herr, (2018) در آفریقای جنوبی، Roesch-McNally, Gordon Arbuckle, & Tyndall, (2017) در ایالات‌متحده آمریکا، Arunrat, Wang, Pumijumnong, Sereenonchai, & Cai, (2017) در تایلند، Niles, Brown, & Dynes, 2016 در نیوزیلند، Masud, et al., (2016) در مالزی، Wheeler, Zuo, & Bjornlund, (2013) در استرالیا و Lin, (2013) در تایوان اشاره کرد که به‌گونه‌ای با این پژوهش مرتبط می‌باشند. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر رفتار سازگاری با کم‌آبی از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده و نظریه گسترش‌یافته رفتار برنامه‌ریزی شده استفاده کرده است. چارچوب نظری (شکل ۱) و فرضیه‌های تحقیق در زیر ذکر گردیده است.

H1: نگرش اثر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری دارد.

H2: هنجار ذهنی اثر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری دارد.

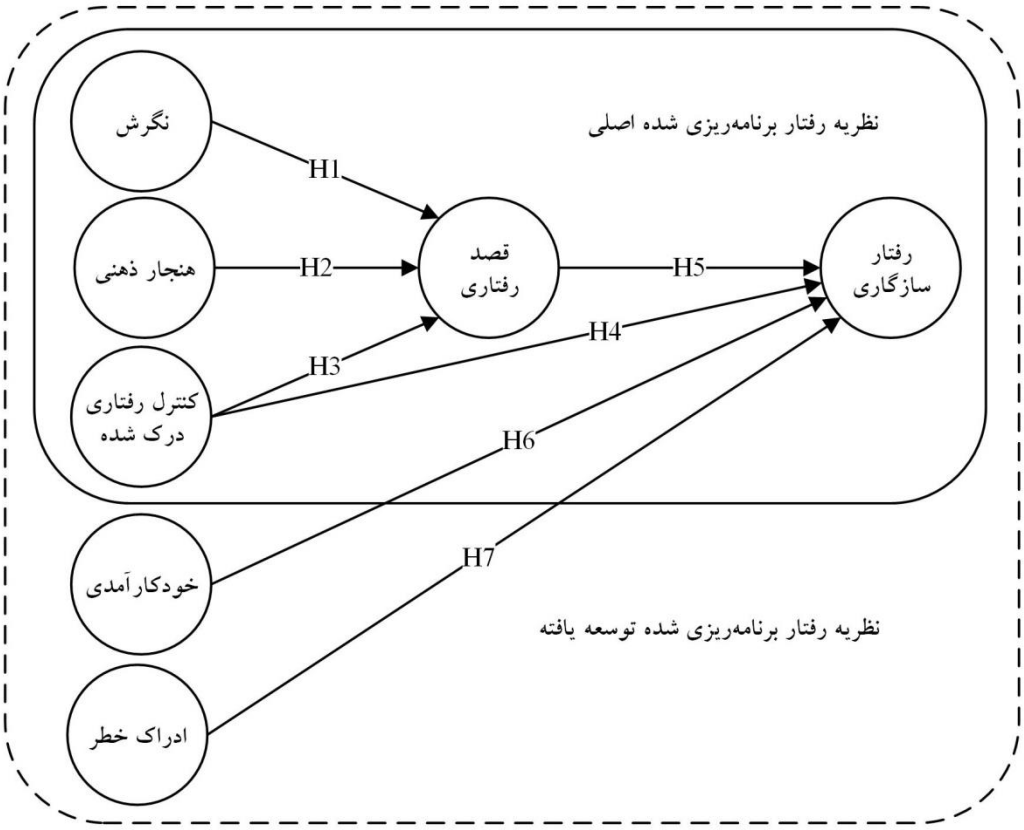
H3: کنترل رفتاری درک شده اثر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری دارد.

H4: کنترل رفتاری درک شده اثر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد.

H5: قصد رفتاری اثر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد.

H6: خودکارآمدی اثر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد.

H7: ادراک خطر اثر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد.



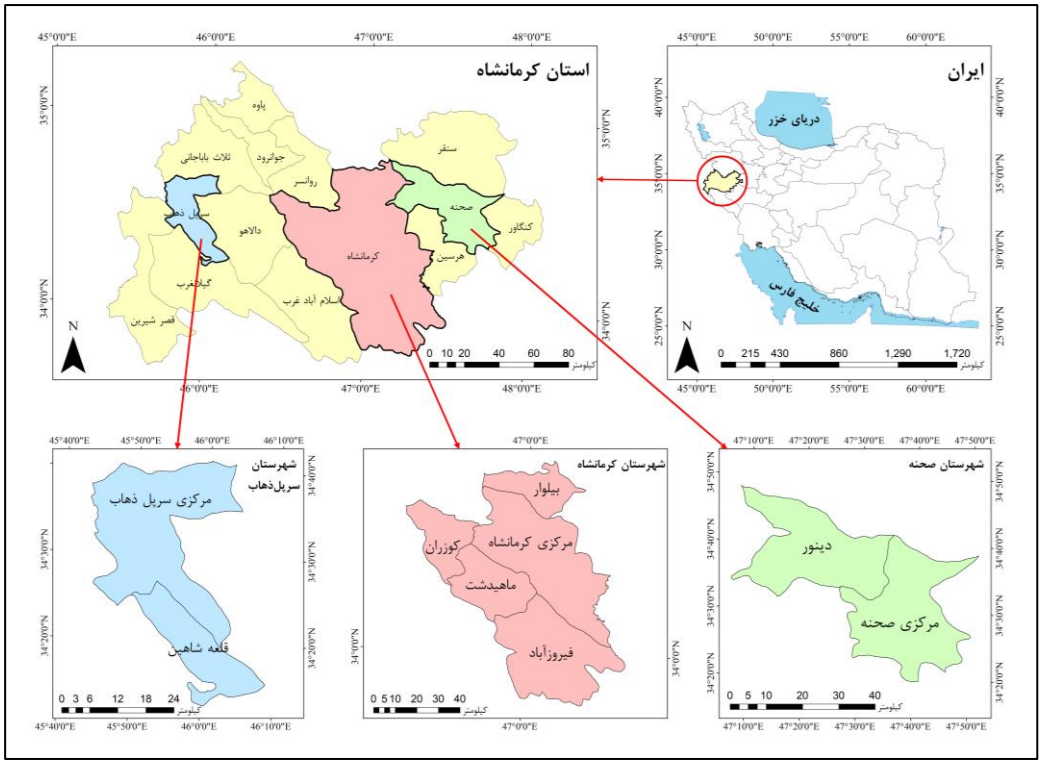
شکل ۱- چارچوب نظری تحقیق

Fig.1. Theoretical framework of research

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

استان کرمانشاه با وسعت ۲۵۰۴۵/٤ کیلومترمربع در غرب کشور ایران قرار گرفته است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد در حدود ۱۲۰۰ متر است. این استان از لحاظ تقسیمات کشوری به ١٤ شهرستان ۳۲ بخش، ۳٤ شهر و ۸۷ دهستان تقسیم شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۹). در این مطالعه، داده‌ها از سه شهرستان کرمانشاه، سرپل‌ذهاب و صحنه در استان کرمانشاه جمع‌آوری گردید. مناطق موردمطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

Fig.2. Geographical location of the study area

روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از نظر ماهیت از نوع تحقیقات کمی، با توجه به هدف از نوع تحقیقات کاربردی و از لحاظ نحوه گردآوری داده‌ها، ازجمله تحقیقات توصیفی- همبستگی می‌باشد. جامعه‌ی آماری این پژوهش کشاورزان گندم‌کار آبی استان کرمانشاه بودند که بنابر آمار ارائه شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه (۱٤۰۱) تعداد آن‌ها ۳۲۷۵۳ نفر بودند که از طریق جدول Krejcie & Morgan, (1970) تعداد ۳۸۰ نفر از آن‌ها برای انجام این تحقیق برآورد گردید. به‌منظور انتخاب اعضای نمونه از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای با انتساب متناسب استفاده شد. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش، پرسشنامه‌ای محقق ساخت متشکل از چند بخش شامل ویژگی‌های فردی و اجتماعی، متغیرهای نگرش (۵ گویه)، هنجار ذهنی (٦ گویه)، کنترل رفتاری درک شده (٤ گویه)، خودکارآمدی (٤ گویه)، ادراک خطر (٦ گویه)، قصد رفتاری (۵ گویه) و رفتار سازگاری با کم‌آبی (٤ گویه) بودند. مقیاس سنجش گویه‌ها طیف لیکرت ۵ امتیازی (۱ "خیلی‌کم" تا ۵ "خیلی‌زیاد") بود. به‌منظور تعیین روایی ابزار پژوهش از روایی صوری و روایی سازه استفاده گردید. روایی صوری پرسشنامه بر اساس نظر متخصصان تائید شد. افزون بر روایی صوری از روایی سازه در مرحله آزمون مدل نیز استفاده شد که نتایج آن در ادامه ذکر گردیده است. پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از آزمون ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی اندازه‌گیری شد که همگی در سطح مناسبی بودند (جدول ۱). همچنین جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS26 و AMOS24 استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فردی و اجتماعی کشاورزان

بر اساس نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های فردی و اجتماعی، میانگین سن پاسخگویان ٤٦/٢٣ سال با انحراف معیار ١٠/٩١ بود. سن جوان‌ترین پاسخگو ٢٣ سال و مسن‌ترین آن ٧٦ سال بود. توزیع فراوانی سطح تحصیلات پاسخگویان نشان داد، ٣٨ نفر (١٠ درصد) از پاسخگویان بی‌سواد، ٥١ نفر (١٣/٤ درصد) ابتدایی، ٥٩ نفر (١٥/٥ درصد) راهنمایی، ٥٤ نفر (١٤/٢ درصد) دبیرستان، ٩٤ نفر (٢٤/٧ درصد) دیپلم، ٢٢ نفر (٥/٨ درصد) دارای سطح تحصیلات کاردانی، ٤٧ نفر (١٢/٤ درصد) کارشناسی و ١٥ نفر (٣/٩) درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد بودند.

مدل‌های اندازه‌گیری

تحلیل عاملی تأییدی (CFA) برای برآورد مدل اندازه‌گیری و ارزیابی پایایی و روایی مدل مورداستفاده قرار گرفت (Byrne, 2016; Teo, Tsai, Yang, 2013). نتایج حاصل از تحلیل عاملی تأییدی نشان داد که بار عاملی استاندارد شده تمامی متغیرهای مشاهده شده در هر دو مدل اندازه‌گیری، بالاتر از ٠/٥ بودند. به‌طوری‌که بار عاملی استاندارد شده در مدل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی در دامنه ٠/٦٨٧ تا ٠/٨٣١ متغیر بود و درحالی‌که در مدل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته از ٠/٦٨٦ تا ٠/٨٢٧ بود. نتایج نهایی تحلیل عاملی تأییدی نشان‌دهنده برازش قابل‌قبول هر دو مدل اندازه‌گیری بود (جدول ١).

همان‌طور که در جدول ١ مشاهده می‌شود مقادیر آلفای کرونباخ (α) و پایایی ترکیبی (C.R) تمام سازه‌های پنهان در هر دو مدل اندازه‌گیری از آستانه پیشنهادی ٠/٧ بزرگ‌تر می‌باشند که حاکی از وجود پایایی ابزار تحقیق بود. با توجه به شکل ٢ تمامی بارهای عاملی استاندارد شده در هر دو مدل اندازه‌گیری در سطح ٠/٠٠١> p و بالاتر از ٠/٥ بودند. در جدول ١ مشاهده می‌گردد که تمام برآوردهای میانگین واریانس استخراج شده (AVE)[3] بالاتر از ٠/٥ بود و به‌طوری‌که میانگین واریانس استخراج شده در مدل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی در دامنه ٠/٥٦٢ تا ٠/٦٦٠ بود و در مدل توسعه یافته نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده از ٠/٥٦١ تا ٠/٦٦٠ متغیر بود؛ بنابراین، روایی همگرا در هر دو مدل مورد تائید قرار گرفت. با توجه به جدول ١، در هر دو مدل اندازه‌گیری، مقادیر میانگین واریانس استخراج شده (AVE) هر سازه بیشتر از حداکثر مجذور واریانس مشترک (MSV)[4] و میانگین مجذور واریانس مشترک (ASV)[5] همان سازه می‌باشد (Collier, 2020; Hair, Anderson, Babin, & Black, 2010) نتایج نشان‌دهنده وجود روایی تشخیصی در هر دو مدل اندازه‌گیری بود.

3. Average Variance Extracted
4. Maximum Shared Squared Variance
5. Average Shared Squared Variance

جدول ۱- نتایج تحلیل عاملی تأییدی

Table1- Results of confirmatory factor analysis

متغیرها	نماد گویه‌ها	نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی: بار عاملی استاندارد شده	t-value	شاخص‌های روایی سازه و پایایی	نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته: بار عاملی استاندارد شده	t-value	شاخص‌های روایی سازه و پایایی
نگرش	ATT1	۰/۷۷۱	-	α: ۰/۸۶۸	۰/۷۷۱	-	α: ۰/۸۶۸
	ATT2	۰/۷۹۰	۱۵/۹۹۶	C.R: ۰/۸۶۹	۰/۷۹۰	۱۶/۰۳۲	C.R: ۰/۸۶۹
	ATT3	۰/۷۳۹	۱۴/۲۲۲	AVE: ۰/۵۷۱	۰/۷۳۹	۱۴/۲۸۱	AVE: ۰/۵۷۱
	ATT4	۰/۷۳۹	۱۴/۱۳۶	MSV: ۰/۴۷۰	۰/۷۳۹	۱۴/۱۹۴	MSV: ۰/۴۷۰
	ATT5	۰/۷۳۸	۱۴/۴۷۷	ASV: ۰/۳۷۳	۰/۷۳۸	۱۴/۵۱۵	ASV: ۰/۳۸۶
هنجار ذهنی	SN1	۰/۶۸۷	-	α: ۰/۸۸۴	۰/۶۸۶	-	α: ۰/۸۸۴
	SN2	۰/۶۹۹	۱۲/۴۷۸	C.R: ۰/۸۸۴	۰/۶۹۷	۱۲/۴۳۱	C.R: ۰/۸۸۴
	SN3	۰/۷۹۲	۱۳/۸۵۱	AVE: ۰/۵۶۲	۰/۷۹۲	۱۳/۸۳۱	AVE: ۰/۵۶۱
	SN4	۰/۸۱۷	۱۴/۱۹۴	MSV: ۰/۴۹۱	۰/۸۱۹	۱۴/۱۹۲	MSV: ۰/۴۹۱
	SN5	۰/۷۳۳	۱۲/۸۵۱	ASV: ۰/۴۰۲	۰/۷۳۳	۱۲/۸۳۸	ASV: ۰/۴۱۱
	SN6	۰/۷۵۹	۱۳/۳۴۶		۰/۷۶۰	۱۳/۳۴۸	
کنترل رفتاری درک شده	PBC1	۰/۸۱۰	-	α: ۰/۸۸۵	۰/۸۰۶	-	α: ۰/۸۸۵
	PBC2	۰/۸۲۱	۱۷/۷۹۸	C.R: ۰/۸۸۶	۰/۸۲۲	۱۷/۷۶۴	C.R: ۰/۸۸۶
	PBC3	۰/۷۹۱	۱۶/۶۱۳	AVE: ۰/۶۶۰	۰/۷۹۳	۱۶/۶۱۹	AVE: ۰/۶۶۰
	PBC4	۰/۸۲۶	۱۷/۵۴۳	MSV: ۰/۳۸۲	۰/۸۲۷	۱۷/۵۳۴	MSV: ۰/۴۱۶
				ASV: ۰/۳۵۶			ASV: ۰/۳۷۶
قصد رفتاری	BI1	۰/۷۰۸	-	α: ۰/۸۸۶	۰/۷۱۲	-	α: ۰/۸۸۶
	BI2	۰/۷۷۶	۱۴/۳۵۰	C.R: ۰/۸۸۸	۰/۷۷۸	۱۴/۴۸۸	C.R: ۰/۸۸۸
	BI3	۰/۸۳۱	۱۴/۹۷۷	AVE: ۰/۶۱۳	۰/۸۲۷	۱۵/۰۴۴	AVE: ۰/۶۱۳
	BI4	۰/۸۰۹	۱۴/۶۸۰	MSV: ۰/۴۹۱	۰/۸۱۲	۱۴/۸۳۹	MSV: ۰/۵۲۵
	BI5	۰/۷۸۴	۱۴/۲۴۹	ASV: ۰/۴۲۱	۰/۷۸۱	۱۴/۳۰۰	ASV: ۰/۴۴۳
رفتار سازگاری	AB1	۰/۷۲۲	-	α: ۰/۸۴۶	۰/۷۲۰	-	α: ۰/۸۴۶
	AB2	۰/۷۶۹	۱۳/۳۹۹	C.R: ۰/۸۴۸	۰/۷۷۲	۱۳/۶۳۸	C.R: ۰/۸۴۸
	AB3	۰/۷۴۴	۱۳/۱۳۱	AVE: ۰/۵۸۳	۰/۷۵۳	۱۳/۳۹۵	AVE: ۰/۵۸۳
	AB4	۰/۸۱۵	۱۵/۰۰۶	MSV: ۰/۴۵۱	۰/۸۰۶	۱۳/۹۲۴	MSV: ۰/۵۴۸
				ASV: ۰/۳۴۶			ASV: ۰/۴۰۶
خودکارآمدی	SEE1	-	-	-	۰/۷۶۷	-	α: ۰/۸۷۵
	SEE2	-	-	-	۰/۸۲۵	۱۶/۶۱۶	C.R: ۰/۸۷۶
	SEE3	-	-	-	۰/۸۱۸	۱۶/۴۷۶	AVE: ۰/۶۳۸

متغیرها	نماد گویه‌ها	نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی: بار عاملی استاندارد شده	t-value	شاخص‌های روایی سازه و پایایی	نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته: بار عاملی استاندارد شده	t-value	شاخص‌های روایی سازه و پایایی
ادراک خطر	SEE4	-	-	-	۰/۷۸۵	۱۵/٤٦٤	MSV: ۰/٥٤٨ ASV: ۰/٤۷۲
	RP1	-	-	-	۰/۷۲٥	-	α: ۰/۸۹٥ C.R: ۰/۸۹٦ AVE: ۰/٥۸۹ MSV: ۰/٥۳۲ ASV: ۰/٤٦۰
	RP2	-	-	-	۰/۷٦۱	۱٤/٤۸۰	
	RP3	-	-	-	۰/۷۹٥	۱٤/۹۹۷	
	RP4	-	-	-	۰/۷۹۷	۱٤/۹۸۸	
	RP5	-	-	-	۰/۷٤٤	۱۳/۹٥۹	
	RP6	-	-	-	۰/۷۸۰	۱٤/۷۲۰	

شاخص‌های برازش نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی: Chi-square (df) = 381.578 (242); p = 0.0001; Relative Chi-square = 1.577; IFI = 0.973; CFI = 0.973; GFI = 0.920; AGFI = 0.901; RMSEA = 0.039; RMR = 0.038

شاخص‌های برازش نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه‌یافته: Chi-square (df) = 730.093 (506); p = 0.0001; Relative Chi-square = 1.443; IFI = 0.972; CFI = 0.971; GFI = 0.898; AGFI = 0.881; RMSEA = 0.034; RMR = 0.036

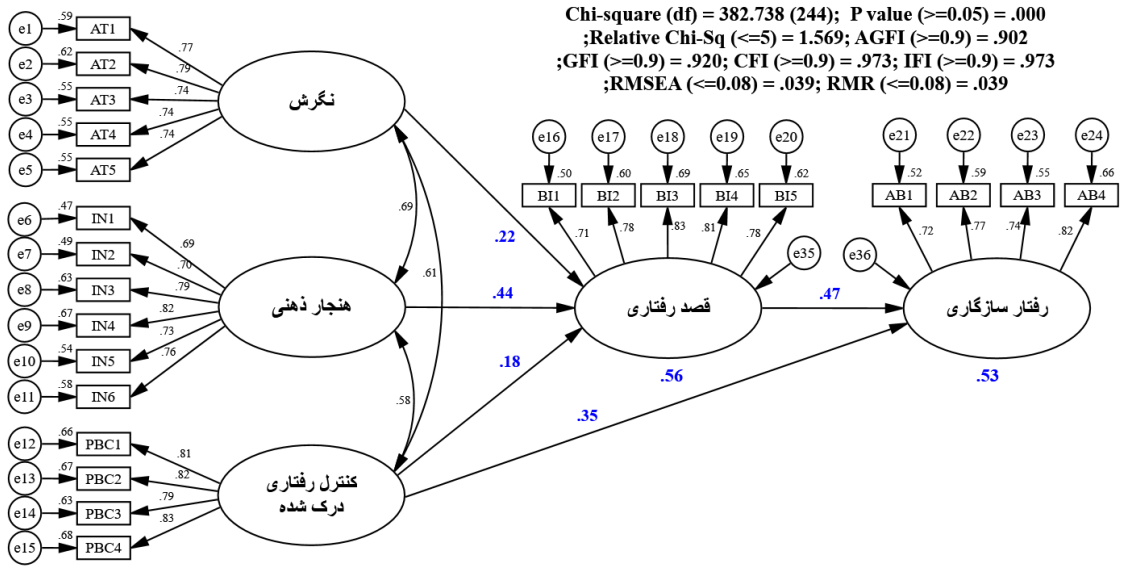
مدل‌های ساختاری

(Hair, Babin, Anderson, & Black, 2019) بیان کرده‌اند، پس از آنکه پایایی و روایی مدل اندازه‌گیری تعیین شد، مدل ساختاری می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد؛ بنابراین در این بخش از مطالعه، مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی و توسعه یافته جهت آزمون فرضیه‌های تحقیق برآورد شد.

مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، شاخص‌های برازش مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی حاکی از برازش مناسب آن می‌باشد. شکل ۳ مدل ساختاری عامل‌های مؤثر بر رفتار سازگاری با کم‌آبی کشاورزان با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج گزارش شده در شکل ۳ و جدول ۲، سازه‌های نگرش (β= ۰/۲۲۱ , p<۰/۰۰۲)، هنجار ذهنی (β= ۰/٤٤٥ , p<۰/۰۰۰۱) و کنترل رفتاری درک شده (β= ۰/۱۸۳ , p<۰/۰۰۲) دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر متغیر قصد رفتاری می‌باشند. در مجموع این سه متغیر توانسته‌اند ٥٦ درصد از تغییرپذیری متغیر قصد رفتاری را تبیین کند (تائید فرضیه اول، دوم و سوم). از طرف دیگر سازه‌های کنترل رفتاری درک شده (β= ۰/۳٤٥ , p<۰/۰۰۰۱) و قصد رفتاری (β= ۰/٤۷۳ , p<۰/۰۰۰۱) دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری می‌باشند

که این دو سازه توانسته‌اند ۵۳ درصد از تغییرپذیری سازه رفتار سازگاری را تبیین کنند (تائید فرضیه چهارم و پنجم).

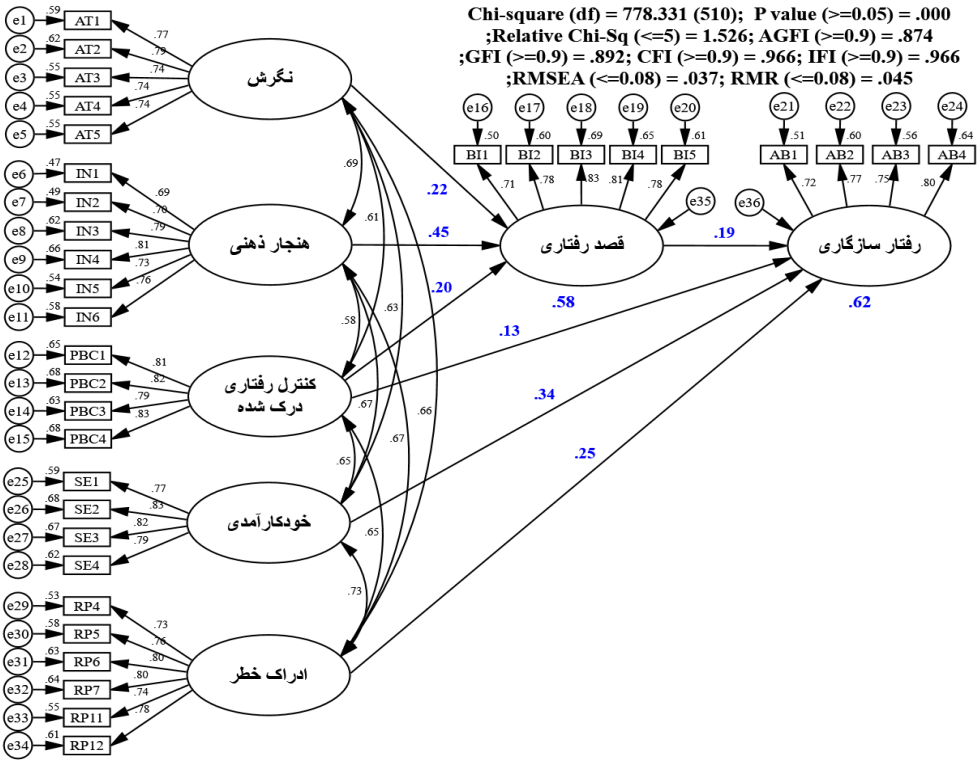


شکل ۳- مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی بر اساس ضرایب استاندارد شده

Fig.3. The structural model of the original theory of planned behavior based on standardized coefficients

مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته

نتایج حاصل از مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته در شکل ٤ و جدول ۲ مشاهده می‌شود. شاخص‌های برازش مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته حاکی از برازش مناسب آن می‌باشد. شکل ٤ مدل ساختاری عامل‌های مؤثر بر رفتار سازگاری با کم‌آبی کشاورزان با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج گزارش شده در شکل ٤ و جدول ۲، سازه‌های نگرش (β= ۰/۲۱۷ , p<۰/۰۰۳)، هنجار ذهنی (β= ۰/٤٥١ , p<۰/۰۰۰۱) و کنترل رفتاری درک شده (β= ۰/۱۹۹ , p<۰/۰۰۰۱) دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر متغیر قصد رفتاری می‌باشند. در مجموع این سه متغیر توانسته‌اند ۵۸ درصد از تغییرپذیری متغیر قصد رفتاری را تبیین کند. از طرف دیگر سازه‌های کنترل رفتاری درک شده (β= ۰/۱۲۹ , p<۰/۰٤۷)، قصد رفتاری (β= ۰/۱۹۵ , p<۰/۰۰۳) و دو سازه افزوده شده به مدل یعنی خودکارآمدی (β= ۰/۳٤۰ , p<۰/۰۰۰۱)، ادراک خطر (β= ۰/۲۵۱ , p<۰/۰۰۱) دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری می‌باشند (تائید فرضیه چهارم، پنجم، ششم و هفتم). نتایج نشان می‌دهد که با افزوده شدن دو سازه خودکارآمدی و ادراک خطر به مدل قدرت تبیین رفتار سازگاری به میزان ۹ درصد افزایش یافته است و در مجموع ٦۲ درصد از رفتار سازگاری تبیین شده است.



شکل ٤- مدل ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته بر اساس ضرایب استاندارد شده

Fig.4. Structural model of the extended theory of planned behavior based on standardized coefficients

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل‌های ساختاری

Table2- The results of structural models

فرضیه‌ها	نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی				نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه یافته			
	ضرایب رگرسیونی	انحراف استاندارد	مقدار t	نتیجه آزمون	ضرایب رگرسیونی	انحراف استاندارد	مقدار t	نتیجه آزمون
فرضیه ۱: نگرش ← قصد رفتاری	۰/۲۲۱	۰/۰۷۷	۳/۰۹٤**	☺	۰/۲۱۷	۰/۰۷۸	۳/۰۰۸**	☺
فرضیه ۲: هنجار ذهنی ← قصد رفتاری	۰/٤٤٥	۰/۰۹٦	٦/۰۱۲**	☺	۰/٤٥۱	۰/۰۹۷	٦/۰۷۰**	☺
فرضیه ۳: کنترل رفتاری درک شده ← قصد رفتاری	۰/۱۸۳	۰/۰٥۲	۳/۰۳۳**	☺	۰/۱۹۹	۰/۰٥۲	۳/۳۰۸**	☺
فرضیه ٤: کنترل	۰/۳٤٥	۰/۰۷۰	٥/٦۹۸**	☺	۰/۱۲۹	۰/۰۷٤	۱/۹۸۳*	☺

رفتاری درک شده ← رفتار سازگاری								
فرضیه ۵: قصد رفتاری ← رفتار سازگاری	۰/۴۷۳	۰/۰۸۷	۷/۲۶۸**	☺	۰/۱۹۵	۰/۰۸۷	۲/۹۴۴**	☺
فرضیه ٦: خودکارآمدی ← رفتار سازگاری	–	–	–	–	۰/۳۴۰	۰/۰۹۸	٤/۲۱۵**	☺
فرضیه ۷: ادراک ریسک ← رفتار سازگاری	–	–	–	–	۰/۲۵۱	۰/۰۹۸	۳/۲٦۹**	☺

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و *معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

☺: تأیید فرضیه ☹: عدم‌تأیید فرضیه

شاخص‌های برازش نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی: Chi-square (df) = 382.738 (244); p = 0.0001; Relative Chi-square = 1.569; IFI = 0.973; CFI = 0.973; GFI = 0.920; AGFI = 0.902; RMSEA = 0.039; RMR = 0.039

شاخص‌های برازش نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه‌یافته: Chi-square (df) = 778.331 (510); p = 0.0001; Relative Chi-square = 1.526; IFI = 0.966; CFI = 0.966; GFI = 0.892; AGFI = 0.874; RMSEA = 0.037; RMR = 0.045

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه اول نشان داد که نگرش کشاورزان به کم‌آبی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری آنان دارد. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Chang, Kuo, & Chen, (2022)؛ Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, 2021؛ Castillo, Engler, & Wollni, (2021)؛ Jacob, Valois, & Tessier, 2021؛ Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020)؛ Herr, (2018)؛ Arunrat, Wang, Pumijumnong, Sereenonchai, & Cai, (2017)؛ Roesch-McNally, Gordon Arbuckle, & Tyndall, (2017)؛ Masud, et al., (2016)؛ Lin, (2013) مطابقت دارد. این نتیجه نشان می‌دهد هرچه دیدگاه کشاورزان نسبت به مسئله کم‌آبی مثبت‌تر باشد، احتمال بیشتری برای اقدام جهت سازگاری با شرایط کم‌آبی دارند که می‌تواند به آن‌ها در سازگاری با کمبود آب و مدیریت بهتر منابع آب کمک کند؛ بنابراین نگرش‌ها می‌توانند نقش مهمی در برانگیختن افراد به سمت یک رفتار خاص، مانند رفتار سازگاری با کم‌آبی، ایفا کنند. ازاین‌رو ایجاد انگیزه، آموزش، آگاه‌سازی و اطلاع‌رسانی بهنگام به کشاورزان از طریق انتشار اطلاعات به‌روز به کشاورزان در رابطه با امر سازگاری (به‌عنوان مثال از طریق فضای مجازی و رسانه‌های جمعی، از طریق جلب همکاری نهادهای موجود در سطح جامعه روستایی مانند مسجد، نهاد شورای اسلامی روستا و

دهیاری‌ها، برگزاری کارگاه‌های آموزشی از سوی جهاد کشاورزی) و اهمیت به‌کارگیری اقدامات سازگاری با کم‌آبی، ضروری و مفید به نظر می‌رسد.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه دوم نشان داد که هنجار ذهنی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری کشاورزان دارد. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Chang, Kuo, & Chen, (2022)؛ Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, 2021؛ Castillo, Engler, & Wollni, (2021)؛ Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020)؛ Jellason, Baines, Conway, & Ogbaga, (2019)؛ Arunrat, Wang, Pumijumnong, Sereenonchai, & Cai, (2017)؛ Roesch-McNally, Gordon Arbuckle, & Tyndall, (2017)؛ Masud, et al., (2016)) هم‌راستا می‌باشد و با نتایج پژوهش‌های (Herr, (2018)؛ Jacob, Valois, & Tessier, 2021) هم‌راستا نمی‌باشد. این یافته نشان می‌دهد کشاورزان در هنگام تصمیم‌گیری در مورد اتخاذ راهبردهای سازگاری با کمبود آب احتمالاً تحت‌تأثیر همسالان، اعضای خانواده، دوستان خود قرار می‌گیرند؛ بنابراین اگر دیگر افراد جامعه به سازگاری با کم‌آبی اقدام کنند، یک اثر آبشاری ایجاد می‌کند به‌طوری‌که دیگر کشاورزان را تشویق می‌کند که همین کار را انجام دهند؛ بنابراین آموزش اعضای جامعه و افزایش آگاهی در مورد اهمیت سازگاری می‌تواند در تحریک اتخاذ رفتارهای سازگاری مؤثر باشد. در راستای این یافته توصیه می‌شود، جهت تقویت هنجار ذهنی کشاورزان، کشاورزان فعال و پیشرو در رابطه با انجام فعالیت‌ها و اقدامات سازگاری شناسایی شوند و ضمن مشارکت دادن آن‌ها در فعالیت‌های مرتبط با سازگاری با کم‌آبی، تشویق و پشتیبانی شوند و از این طریق به سایر کشاورزان انجام رفتارهای سازگاری با کم‌آبی آموزش داده شود.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه سوم نشان داد که کنترل رفتاری درک شده تأثیر مثبت و معنی‌داری بر قصد رفتاری کشاورزان دارد. محققین دیگر (Chang, Kuo, & Chen, (2022)؛ Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, 2021؛ Castillo, Engler, & Wollni, (2021)؛ Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020)؛ Herr, (2018)؛ Arunrat, Wang, Pumijumnong, Sereenonchai, & Cai, (2017)؛ Lin, (2013)) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Jacob, Valois, & Tessier, 2021؛ Jellason, Baines, Conway, & Ogbaga, (2019)؛ Masud, et al., (2016)) هم‌راستا نیست. این یافته به این معنی است که وقتی کشاورزان توانایی خود را در کنترل رفتارهای خود درک کنند، به احتمال زیاد قصد سازگاری با مسئله کم‌آبی را دارند. برگزاری دوره‌های آموزشی و سرمایه‌گذاری در دانش، مهارت‌ها و منابع آموزشی می‌تواند به افزایش اعتماد به نفس و تمایل کشاورزان برای انجام اقداماتی که می‌تواند منجر به سازگاری بهتر با کمبود آب شود کمک کند.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه چهارم نشان داد کنترل رفتاری درک شده تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020)؛ Jacob, Valois, & Tessier, (2021)) مطابقت دارد و با نتایج پژوهش Castillo, Engler, & Wollni, (2021) هم‌راستا نمی‌باشد. این یافته نشان می‌دهد که کشاورزانی که کنترل بیشتری بر خود درک می‌کنند، بیشتر به اتخاذ رفتارهای سازگاری با شرایط کمبود آب اقدام می‌کنند؛ بنابراین فراهم کردن منابع و تقویت توانایی‌های آن‌ها، احتمال موفقیت راهبردهای سازگاری را افزایش می‌دهد.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه پنجم نشان داد قصد رفتاری تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Chang, Kuo, & Chen, (2022)؛ Castillo, Engler, & Wollni, (2021)؛ Jacob, Valois, & Tessier, 2021؛ Zhang, Ruiz-Menjivar, Luo, Liang, & Swisher, (2020)؛ Masud, et al., (2016)) هم‌راستا می‌باشد و با نتایج پژوهش‌های Herr, (2018) مطابقت ندارد. این یافته نشان می‌دهد کشاورزانی که قصد قوی برای اقدام در قبال کم‌آبی دارند، احتمالاً اقدامات سازگارانه لازم را انجام داده و عملکرد خود را مطابق با این تغییرات تطبیق می‌دهند. فراهم کردن منابع اطلاعاتی و منابع حمایتی که قصد کشاورزان برای سازگاری را تشویق می‌کند، عامل مهمی در کمک به آن‌ها برای تنظیم یا تعدیل رفتارهایشان برای آمادگی بهتر یا پاسخگویی به شرایط کمبود آب است.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه ششم نشان داد که خودکارآمدی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد. این یافته با نتایج پژوهش Azadi, Yazdanpanah, Forouzani, & Mahmoudi, (2019) هم‌راستا می‌باشد. خودکارآمدی به‌عنوان یک منبع روانشناختی عمل می‌کند و به کشاورزان اعتماد به نفس و توانمندی لازم برای ایجاد تغییرات پیشگیرانه در شیوه‌های کشاورزی خود را می‌دهد. این امر اهمیت افزایش سطح خودکارآمدی برای سازگاری کشاورزی در مناطق متأثر از کمبود آب را برجسته می‌سازد. این نشان می‌دهد که فراهم کردن فرصت‌هایی برای کشاورزان برای به دست آوردن مهارت‌ها و منابعی برای سازگاری با کمبود آب، می‌تواند آن‌ها را برای ایجاد تغییرات معنی‌دار در شیوه‌های خود توانمند کند. این نشان می‌دهد که ارائه حمایت یا راهنمایی مناسب می‌تواند احتمال اتخاذ شیوه‌های سازگاری را برای کشاورزان افزایش دهد و در نتیجه توانایی آن‌ها را برای مقاومت در برابر اثرات کمبود آب افزایش دهد؛ بنابراین تدوین برنامه‌هایی جهت درک و اطمینان یافتن کشاورزان از سهولت انجام راهبردهای سازگاری و مشارکت دادن آن‌ها در این برنامه‌ها به‌طوری‌که آن‌ها را قادر به غلبه بر موانع و مشکلات درک شده سازد توصیه می‌گردد تا از این طریق رفتار سازگاری با کمبود آب آن‌ها بهبود یابد.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه هفتم نشان داد که ادراک خطر تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار سازگاری با کم‌آبی دارد. این یافته با نتایج پژوهش‌های سایر محققان (Tiet, To-The, & Ng, (2022)؛

Nguyen-Anh, (2022)؛ Ahmmadi, Rahimian, & Movahed, (2021)؛ Azadi, Yazdanpanah, Forouzani, & Mahmoudi, (2019)؛ Azadi, Yazdanpanah, & Mahmoudi, (2019)؛ van Valkengoed & Steg, (2019) هم‌راستا می‌باشد. این یافته نشان می‌دهد هر چه ادراک خطر بالاتر باشد، کشاورزان بیشتر به رفتار سازگاری می‌پردازند؛ بنابراین می‌توان بیان نمود کشاورزان به احتمال زیاد اقدامات و شیوه‌های سازگاری کشاورزی خود را در واکنش به خطر درک شده ناشی از کم‌آبی را نسبت به زمانی که چنین خطری را درک نمی‌کنند، انجام می‌دهند. این نشان می‌دهد که سطح درک خطر مرتبط با یک موقعیت مخاطره‌آمیز، عامل مهمی در نحوه واکنش افراد به آن است. ازاین‌رو، ایجاد آگاهی و ارائه مطالب آموزشی به کشاورزان در مورد خطرات ناشی از کمبود آب ممکن است راهی مؤثر برای ایجاد انگیزه در تغییر رفتار باشد. همچنین به نظر می‌رسد پخش فیلم‌های آموزشی و داستانی از مناطق بحرانی با محوریت خطرات کم‌آبی بتواند در افزایش ادراک خطر مخاطبان مؤثر باشد.

جمع‌بندی

مطالعه حاضر نشان داد علاوه بر اینکه نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده، یک چارچوب روان‌شناختی پرکاربرد برای پیش‌بینی طیف وسیعی از رفتارها در زمینه‌های مختلف است این نظریه در زمینه بررسی رفتار سازگاری با کمبود آب نیز کاربرد دارد. سهم اصلی این مطالعه، بهبود و تقویت مدل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی با افزودن دو متغیر خودکارآمدی و ادراک خطر برای درک قصد و رفتار سازگاری با کمبود آب در استان کرمانشاه است. نتایج به‌دست‌آمده از توانایی پیش‌بینی و استحکام نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده توسعه‌یافته پشتیبانی می‌کنند. به‌طور خلاصه، یافته‌ها یک مبنای نظری محکم برای درک عوامل تعیین‌کننده رفتار سازگاری با کمبود آب را فراهم می‌کنند. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان داد تمام مسیرهای در نظر گرفته شده در مدل تحقیق تأیید شدند. یافته‌های به دست آمده در این مطالعه بیانگر این موضوع می‌باشند که هرگاه کشاورزان ارزیابی متناسبی از اقدامات سازگارانه دارند، فشار اجتماعی از سوی سایر افراد جامعه را درک کرده‌اند و همچنین سهولت یا دشواری انجام اقدامات سازگارانه را درک کرده باشند، در نتیجه می‌تواند قصد به‌کارگیری اقدامات سازگاری با کم‌آبی در آنان را افزایش دهد، علاوه بر آن، زمانی که کشاورزان دارای ارزیابی ذهنی درستی از خطرات ناشی از کمبود آب باشند و درک قوی نسبت به توانایی‌های خود در انجام رفتارهای سازگارانه با کم‌آبی داشته باشند، در نتیجه اقدامات سازگارانه در شرایط کمبود آب را انجام می‌دهند. در مدل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده اصلی سازه قصد رفتاری و در مدل توسعه‌یافته سازه خودکارآمدی بیشترین تأثیر در تبیین رفتار سازگاری کشاورزان نسبت به کمبود آب را داشتند.

References

Abid, M., Scheffran, J., Schneider, U.A., & Ashfaq, M. (2015). Farmers' Perceptions of and Adaptation Strategies to Climate Change and Their Determinants: The Case of Punjab Province, Pakistan. *Earth System Dynamics*, 6(1), 225–243. https://doi.org/10.5194/esd-6-225-2015

Ahmmadi, P., Rahimian, M., & Movahed, R.G. (2021). Theory of Planned Behavior to Predict Consumer Behavior in Using Products Irrigated with Purified Wastewater in Iran Consumer. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126359. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126359

Ajzen, I. (1985). From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In: Kuhl, J., Beckmann, J. (eds) Action Control. SSSP Springer Series in Social Psychology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2

Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Arunrat, N., Wang, C., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., & Cai, W. (2017). Farmers' Intention and Decision to Adapt to Climate Change: A Case Study in the Yom and Nan Basins, Phichit province of Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 143, 672–685. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.058

Azadi, Y., Yazdanpanah, M., Forouzani, M., & Mahmoudi, H. (2018). Investigating the Factors Affecting the Risk Perception of Exposure to Climate Change: A Case Study of Wheat Farmers in Kermanshah. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *7*(3), 121-134. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.71853

Azadi, Y., Yazdanpanah, M., Forouzani, M., & Mahmoudi, H. (2019). Farmers' Adaptation Choices to Climate Change: A Case Study of Wheat Growers in Western Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 10(1), 102–116. https://doi.org/10.2166/wcc.2018.242

Azadi, Y., Yazdanpanah, M., & Mahmoudi, H. (2019). Understanding Smallholder Farmers' Adaptation Behaviors Through Climate Change Beliefs, Risk Perception, Trust, and Psychological Distance: Evidence from Wheat Growers in Iran. *Journal of Environmental Management*, 250, 109456. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109456

Binaiyan, A., Agahi, H., Fatemi, E. (2018). Assessment of Social Security of Water in the Villages of Kermanshah. *Agricultural Promotion & Education researches*, 11(2), 50-65. [In Persian] https://journals.srbiau.ac.ir/article_12714.html?lang=en

Burnham, M., & Ma, Z. (2017). Climate Change Adaptation: Factors Influencing Chinese Smallholder Farmers' Perceived Self-Efficacy and Adaptation Intent. *Regional Environmental Change*, 17(1), 171–186. https://doi.org/10.1007/s10113-016-0975-6

Byrne, B.M. (2016). *Structural Equation Modeling with AMOS* (3rd Editio). London, Routledge.

Callejas Moncaleano, D.C., Pande, S., & Rietveld, L. (2021). Water Use Efficiency: A Review of Contextual and Behavioral Factors. *Frontiers in Water*, 3, 91. https://doi.org/10.3389/frwa.2021.685650

Castillo, G. M.L., Engler, A., & Wollni, M. (2021). Planned Behavior and Social Capital: Understanding Farmers' Behavior Toward Pressurized Irrigation Technologies. *Agricultural Water Management*, 243, 106524. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106524

Chang, M.Y., Kuo, H.Y., & Chen, H.S. (2022). Perception of Climate Change and Pro-Environmental Behavioral Intentions of Forest Recreation Area Users—A Case of Taiwan. *Forests*, 13(9), 1476. https://doi.org/10.3390/f13091476

Chebil, A., Frija, A., Makhlouf, M., Thabet, C., & Jebari, S. (2019). *Effects of Water Scarcity on the Performances of the Agricultural Sector and Adaptation Strategies in Tunisi*a. In Agricultural Economics.https://doi.org/10.5772/intechopen.83568

Chikwanha, O.C., Mupfiga, S., Olagbegi, B.R., Katiyatiya, C.L.F., Molotsi, A.H., Abiodun, B.J., Dzama, K., & Mapiye, C. (2021). Impact of Water Scarcity on Dryland Sheep Meat Production and Quality: Key Recovery and Resilience Strategies. *Journal of Arid Environments*, 190, 104511. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104511

Collier, J.E. (2020). Applied Structural Equation Modeling Using AMOS: Basic to Advanced Techniques (1st Editio). London: Routledge.

Faisal, M., Chunping, X., Akhtar, S., Raza, M.H., Khan, M.T.I., & Ajmal, M.A. (2020). Modeling Smallholder Livestock Herders' Intentions to Adopt Climate Smart Practices: An Extended Theory of Planned Behavior. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(31), 39105–39122. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09652-w

Fatahi, S., Vahedi, M., Arayesh, M. bagher, & Samani, R.E. (2021). Assessing Social Dimension of Water Security in Villages of Harsin County in the Semi-Arid Agricultural Rgion of Kermanshah in West of Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 7(2), 12. https://doi.org/10.1007/s40899-020-00482-9

Fathollahi, J., Najafi, S.M.B., & Farhangian, S. (2022). Identification and Prioritization of Factors Affecting Water Scarcity in Kermanshah Province with Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Water and Sustainable Development*, *8*(4), 33-42. [In Persian] https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1073

Gardezi, M., & Arbuckle, J.G. (2020). Techno-Optimism and Farmers' Attitudes Toward Climate Change Adaptation. *Environment and Behavior*, 52(1), 82–105. https://doi.org/10.1177/0013916518793482

Gebrehiwot, T., & Van der Veen, A. (2015). Farmers Prone to Drought Risk: Why Some Farmers Undertake Farm-Level Risk-Reduction Measures While Others Not? *Environmental Management*, 55(3), 588–602. https://doi.org/10.1007/s00267-014-0415-7

Grothmann, T., & Patt, A. (2005). Adaptive Capacity and Human Cognition: The Process of Individual Adaptation to Climate Change. *Global Environmental Change*, 15(3), 199–213. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002

Hair, J.F., Anderson, R.E., Babin, B.J., & Black, W.C. (2010). Multivariate Data Analysis: A Global Perspective (Vol. 7). Upper Saddle River, NJ: Pearson. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2443696

Hair, J.F., Babin, B.J., Anderson, R.E., & Black, W.C. (2019). Multivariate Data Analysis (8th Editio). Cengage Learning. https://www.cengage.com/c/multivariate-data-analysis-8e-hair-babin-anderson-black/9781473756540/

Herr, D. (2018). Drop by Drop: Scarcity as the Severance Between Intentions to Save Water and Actual Water-Saving. https://www.humanities.uct.ac.za/media/252841

Jacob, J., Valois, P., & Tessier, M. (2021). Using the Theory of Planned Behavior to Predict the Adoption of Heat and Flood Adaptation Behaviors by Municipal Authorities in the Province of Quebec, Canada. *Sustainability*, 13(5), 2420. https://doi.org/10.3390/su13052420

Jellason, N., Baines, R., Conway, J., & Ogbaga, C. (2019). Climate Change Perceptions and Attitudes to Smallholder Adaptation in Northwestern Nigerian Drylands. Social Sciences, 8(2), 31. https://doi.org/10.3390/socsci8020031

Kaiser, F.G., & Scheuthle, H. (2003). Two Challenges to a Moral Extension of the Theory of Planned Behavior: Moral Norms and Just World Beliefs in Conservationism.

Personality and Individual Differences, 35(5), 1033–1048. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00316-1

Kakar, Z. (2017). Farmers Perceptions on Impact of Water Scarcity in Pishin Lora Basin of Balochistan. *Pure and Applied Biology*, 6(1), 293–303. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2017.60027

Kakar, Z., Shah, S.M., & Khan, M.A. (2018). Scarcity of Water Resources in Rural Area of Quetta District: Challenges and Preparedness. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 414(1), 012013. https://doi.org/10.1088/1757-899X/414/1/012013

Khanian, M., Serpoush, B., & Gheitarani, N. (2019). Balance Between Place Attachment and Migration Based on Subjective Adaptive Capacity in Response to Climate Change: The Case of Famenin County in Western Iran. *Climate and Development*, 11(1), 69–82. https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1374238

Krejcie, R.V., & Morgan, D.W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607–610. https://doi.org/10.1177/001316447003000308

Lin, S.P. (2013). The Gap Between Global Issues and Personal Behaviors: Pro-Environmental Behaviors of Citizens Toward Climate Change in Kaohsiung, Taiwan. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(6), 773–783. https://doi.org/10.1007/s11027-012-9387-1

Linder, J., & Campbell-Arvai, V. (2021). Uncertainty in the "New Normal": Understanding the Role of Climate Change Beliefs and Risk Perceptions in Michigan Tree Fruit Growers' Adaptation Behaviors. *Weather, Climate, and Society*, 13(3), 409–422. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-20-0058.1

Lynne, G.D., Casey, C.F., Hodges, A., & Rahmani, M. (1995). Conservation Technology Adoption Decisions and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Economic Psychology*, 16(4), 581–598. https://doi.org/10.1016/0167-4870(95)00031-6

Mahdavi, T. (2021). Application of the 'Theory of Planned Behavior' to Understand Farmers' Intentions to Accept Water Policy Options Using Structural Equation Modeling. *Water Supply*, 21(6), 2720–2734. https://doi.org/10.2166/ws.2021.138

Management and Planning Organization of Kermanshah Province 2019. Statistical Yearbook of Kermanshah Province. Available at https://kermanshah.mporg.ir [In Persian]

- Mancosu, N., Snyder, R., Kyriakakis, G., & Spano, D. (2015). Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7(12), 975–992. https://doi.org/10.3390/w7030975

Masud, M. M., Al-Amin, A. Q., Junsheng, H., Ahmed, F., Yahaya, S.R., Akhtar, R., & Banna, H. (2016). Climate Change Issue and Theory of Planned Behaviour: Relationship by Empirical Evidence. *Journal of Cleaner Production*, 113, 613–623. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.080

Mitter, H., Larcher, M., Schönhart, M., Stöttinger, M., & Schmid, E. (2019). Exploring Farmers' Climate Change Perceptions and Adaptation Intentions: Empirical Evidence from Austria. Environmental Management, 63(6), 804–821. https://doi.org/10.1007/s00267-019-01158-7

Musse, S. A. (2021). Exploring the Cornerstone Factors that Cause Water Scarcity in Some Parts of Africa, Possible Adaptation Strategies and Quest for Food Security. *Agricultural Sciences*, 12(06), 700–712. https://doi.org/10.4236/as.2021.126045

Ng, S. L. (2022). Effects of Risk Perception on Disaster Preparedness Toward Typhoons: An Application of the Extended Theory of Planned Behavior. International *Journal of Disaster Risk Science*, 13(1), 100–113. https://doi.org/10.1007/s13753-022-00398-2

Niles, M. T., Brown, M., & Dynes, R. (2016). Farmer's Intended and Actual Adoption of Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies. *Climatic Change*, 135(2), 277–295. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1558-0

Nisengwe, J.F.R., (2016). Risk perceptions, attitudes, and climate change adaptation behaviors: A case of farmers in Nyabihu District, Rwanda. Michigan State University. https://d.lib.msu.edu/etd/4195

O'Connor, R. E., Bard, R. J., & Fisher, A. (1999). Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change. *Risk analysis*, 19(3), 461-471. https://doi.org/10.1023/A:1007004813446

Provenzano, A. (2015). Adapting to Water Scarcity: Effects of Irrigation Management. University of North Florida. https://digitalcommons.unf.edu/etd/582/

Rahimi Faizabadi, F., Yazdanpanah, M., Forouzani, M., Mohammad Zadeh, S., & Burton, R. (2017). Explanation of Farmers' Water Conservation Behaviors Using Extended Planned Behavior Theory: The Case of Farmers in Aleshtar County. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, *12*(2), 1-17. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081758.1395.12.2.1.4

Roesch-McNally, G.E., Gordon Arbuckle, J., & Tyndall, J.C. (2017). What Would Farmers Do? Adaptation Intentions under a Corn Belt Climate Change Scenario. *Agriculture and Human Values*, 34(2), 333–346. https://doi.org/10.1007/s10460-016-9719-y

Russell, S. V, & Knoeri, C. (2020). Exploring the Psychosocial and Behavioural Determinants of Household Water Conservation and Intention. *International Journal of Water Resources Development*, 36(6), 940–955. https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1638230

Scheierling, S.M., & Treguer, D.O. (2016). Investing in Adaptation: The Challenge of Responding to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review. Special Issue on Agriculture's Water Economy, 75–100. https://www.kansascityfed.org/documents/772/Investing_in_Adaptation_The_Challenge_of_Responding_to_Water_Scarcity_in_Irrigated_Agr.pdf

Singh, C., Osbahr, H., & Dorward, P. (2018). The Implications of Rural Perceptions of Water Scarcity on Differential Adaptation Behaviour in Rajasthan, India. *Regional Environmental Change*, 18(8), 2417–2432. https://doi.org/10.1007/s10113-018-1358-y

Teo, T., Tsai, L.T., Yang, CC. (2013). Applying Structural Equation Modeling (SEM) in Educational Research. In: Khine, M.S. (eds) Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice. Contemporary Approaches to Research in Learning Innovations. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-332-4_1

Tiet, T., To-The, N., & Nguyen-Anh, T. (2022). Farmers' Behaviors and Attitudes Toward Climate Change Adaptation: Evidence from Vietnamese Smallholder Farmers. Environment, Development and Sustainability, 24(12), 14235–14260. https://doi.org/10.1007/s10668-021-02030-7

Usman, M., Ali, A., Bashir, M.K., Baig, S.A., Mushtaq, K., Abbas, A., Akram, R., & Iqbal, M.S. (2023). Modelling Wellbeing of Farmers by Using Nexus of Climate Change Risk Perception, Adaptation Strategies, and their Drivers on Irrigation Water in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 49930–49947. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25883-z

van Valkengoed, A. M., & Steg, L. (2019). Meta-Analyses of Factors Motivating Climate Change Adaptation Behaviour. *Nature Climate Change*, 9(2), 158–163. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0371-y

Wens, M.L.K., Mwangi, M.N., Van Loon, A.F., & Aerts, J.C.J.H. (2021). Complexities of Drought Adaptive Behaviour: Linking Theory to Data on Smallholder Farmer Adaptation Decisions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63, 102435. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102435

Wheeler, S., Zuo, A., & Bjornlund, H. (2013). Farmers' Climate Change Beliefs and Adaptation Strategies for a Water Scarce Future in Australia. *Global Environmental Change*, 23(2), 537–547. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.008

Zhang, L., Ruiz-Menjivar, J., Luo, B., Liang, Z., & Swisher, M.E. (2020). Predicting Climate Change Mitigation and Adaptation Behaviors in Agricultural Production: A Comparison of the Theory of Planned Behavior and the Value-Belief-Norm Theory. *Journal of Environmental Psychology*, 68, 101408. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101408

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.316-338 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.82510.1369 Open access

Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods

Tayebeh Irani [a], Hirad Abgnari[*b], Ali Akbar Rasouli [c]

[a] *PhD graduate, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran*
[b] *Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran*
[c] *Professor in Environmental Sciences, University of Tabriz, Tbriz, Iran &*
Professor Department Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Sydney, NSW, Australia.

Received: 20 May 2023 ***Revised: 24 July 2023*** ***Accepted: 9 August 2023***

Abstract

The water level reduction in Lake Urmia and its effects on the surrounding environment has been among the important national and international challenges in the past two decades. Therefore, this study aimed to investigate the current status and predict the future state of land use in the Gadarchai watershed, located in West Azerbaijan Province, which is one of the important sub-watersheds of the Lake Urmia basin. For this purpose, Sentinel-2 satellite images for 2016, 2020, and 2022 were obtained from the European Union's Copernicus website. Then, preprocessing methods were applied in various software environments, and the relevant images were sent to the eCognition software environment. In this environment, using various basic and object-oriented methods (especially segmentation and production of different coefficient layers), the nearest neighbor classification method was implemented, and land use maps were produced. Finally, the Markov chain model was used to predict changes in land use in future years. To verify the accuracy of the Markov chain model, the predicted land use change map for 2022 was compared with the 2022 classification map. The research results showed that with the application of basic methods, especially nearest neighbor classification, it is possible to produce land use maps with high accuracy (90% kappa coefficient). Also, by applying the Markov model, land use change maps with an acceptable accuracy level (around 80%) are possible. The final results indicate that by the year 2028, agricultural land use (13.89%), dry farming (14.1%), residential areas (0.33%), and salt pans of Lake Urmia (26%) will increase. It should be noted that the soil use class will decrease by 10.26%, and pastures will decrease by 5.35%. Overall, the final models demonstrate the high accuracy of basic and object-oriented methods and the suitable performance of the Markov model in the process of studying land use changes.

Keywords: Land use changes, Spatial analysis, Markov chain model ,Water resource sustainability, Object-oriented classification, Lake Urmia

[*] . Corresponding author: Hirad Abghari Email: h.abghari@urmia.ac.ir Tel:+989148071900
How to cite this Article: Irani, T., Abghari, H., & Rasouli, A. (2024). Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 316-338.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۳۸-۳۱۶ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقالهٔ پژوهشی DOI:10.22067/geoeh.2023.82510.1369 دسترسی آزاد

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پردازش شیءگرا و زنجیره مارکوف

طیبه ایرانی- فارغ‌التحصیل دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
هیراد عبقری[1]- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
علی‌اکبر رسولی- استاد گروه علوم محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۲/۳۰ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۵/۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۵/۱۸

چکیده

کاهش سطح تراز آبی دریاچه ارومیه و اثرات آن بر محیط پیرامون دریاچه از موضوعات و چالش‌های مهم ملی و بین‌المللی در دو دهه اخیر بوده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته یکی از مهم‌ترین عامل اثرگذار بر این روند تغییرات اراضی، به‌ویژه کشاورزی بوده است. بر همین اساس هدف تحقیق حاضر بررسی وضع فعلی و پیش‌بینی وضعیت آتی کاربری اراضی حوزه آبخیز گدارچای واقع در استان آذربایجان غربی یکی از زیر حوضه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. به همین منظور ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای سال‌های میلادی **۲۰۱۶،۲۰۲۰ و ۲۰۲۲** از سایت کپورنیک اتحادیه اروپا دریافت گردید. سپس روش‌های پیش‌پردازش در محیط نرم‌افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم‌افزار eCognition ارسال شد. در این محیط با استفاده از روش‌های مختلف دانش پایه و شی‌گرا (به‌ویژه سگمنت سازی و تولید لایه‌های ضرایب مختلف) روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی اجرا و نقشه‌های کاربری اراضی تولید شد. درنهایت از مدل زنجیره مارکوف به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های آتی استفاده گردید. برای بررسی صحت مدل CA مارکوف، ابتدا نقشه تغییرات پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۲ با نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۲ صحت‌سنجی شد. نتایج تحقیق نشان داد که با کاربرد روش‌های دانش پایه به‌ویژه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایگی امکان تولید نقشه‌های کاربری **اراضی با دقت بالا (ضریب کاپا ۹۰ درصد)** امکان‌پذیر است. ضمناً با اعمال مدل مارکوف نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی با دقت قابل‌قبول (در حد ۸۰ درصد) امکان‌پذیر است. نتایج نهایی مبین این واقعیت است که تا سال ۲۰۲۸ میلادی کاربری اراضی کشاورزی (۱۳.۸۹) کشت دیم (۱/۱٤) محدوده‌های مسکونی (۰/۳۳) و عرصه‌های نمکی دریاچه ارومیه حدود (۲٦) درصد افزایش خواهد داشت. یادآور می‌گردد کلاس کاربری خاک در حد (۱۰/۲٦) و مراتع به میزان (۵/۳۵) درصد کاهش خواهند داشت. درمجموع مدل‌های نهایی مبین دقت بالایی روش‌های دانش‌پایه و شیءگرا و کارایی مناسب مدل مارکوف در روند مطالعه تغییرات کاربری اراضی هستند.

کلیدواژه‌ها: تغییرات کاربری اراضی، تحلیل مکانی، مدل زنجیره مارکوف، پایداری منابع آبی، طبقه‌بندی شیءگرا ، دریاچه ارومیه

[1]نویسنده مسئول : ۰۹۱۴۸۰۷۱۹۰۰ Email:h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عامل‌ها برای درک تغییر محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی تغییر کاربری‌زمین است (Kumar, Bhaskar, & Padmakumari, 2015). تغییر کاربری زمین با عامل‌هایی مانند افزایش ارتفاع در حوزه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها و افزایش ارتفاع آب بر حجم رواناب در رودخانه تأثیر خواهد داشت (Moe, et al., 2017). آگاهی از تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای است. پیشرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری‌زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمین (سیلاب و...) در آینده مناسب باشد (Armenteras, Murcia, González, Barón, & Arias, 2019)، بررسی تغییرات می‌تواند به درک فرآیندهای انسانی کمک کرده تا بتوان از میزان تخریب ایجاد شده جلوگیری شود (Donnay, Longley, & Barnsley, 2001). تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی، بخش زیادی از اطلاعات موردنیاز متخصصان و برنامه‌ریزان توسعه شهری و روستایی را فراهم می‌کند. تهیه این اطلاعات در سطح وسیع و با دقت بالا از طریق انجام عملیات زمینی امری هزینه‌بر، زمان‌بر و در مواردی غیرممکن است. امروزه فناوری سنجش از راه دور راهکاری ارزشمند در جهت شناسایی، تشخیص، پایش، و پهنه‌بندی منابع‌طبیعی به‌ویژه در مورد روند تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، در مناطق مختلف جهان به‌صورت علمی مورد استناد قرار خواهد گرفت (رسولی،۱۳۷۸).

منطقه‌های وسیع حوزه‌های آبخیز توسط داده‌های سنجش‌ازدور پوشش داده می‌شوند و همچنین پوشش زمانی زیاد این داده‌ها اطلاعات باارزشی از مکان، فرآیند، نسبت، روند طبیعی و الگوی تغییر پوشش کاربری زمین فراهم خواهد کرد (Munthali, Botai, Davis, Ade La Abiodun, 2019). برای شناخت الگوی کاربری‌زمین و مکانیزم‌های پیچیده مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزاری توانا است. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی ممکن است به تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی حالت‌های که در آینده اتفاق می‌افتد کمک کند. ازجمله مدل‌های که می‌توان نام برد، مدل‌ها اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف است (Samie, Deng, Jia, & Chen, 2017). مدل‌سازی مکانی تغییر کاربری‌زمین به اطلاعاتی در مورد اندازه تغییر و این‌که تغییر در کجا اتفاق خواهد افتاد (مقدار و مکان) نیازمند می‌باشد. مدل زنجیره مارکوف اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد و تنها پویایی زمانی را به‌دست می‌آورد اما در مقایسه با مدل زنجیره مارکوف، مدل اتوماتای سلولی CA[1] دارای مؤلفه مکانی می‌باشد، که با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه تغییر در آینده به‌دست می‌آورد. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، مکانی نیست؛ یعنی در آن از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین هیچ دانش و آگاهی وجود ندارد. زمان t+1 برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها، به همراه مدل مارکوف روش سلول‌های خودکار به کار گرفته می‌شود. مدل CA مارکوف

1. Cellular Automata

دانش کاربر و مؤلفه‌های مجاورت مکانی را به توزیع مکانی به مدل زنجیره مارکوف احتمال تبدیل کاربری‌ها را اضافه می‌کند (میثاق و همکاران،۱۳۹۷). مدل CA مارکوف در پیش‌بینی مکانی-زمانی بسیار مفید است چون روند تغییر کاربری زمین و حالت ممکن در نظر می‌گیرد (Mujiono, Harmantyo, Rukmana, & Nadia, 2017)، به‌طورکلی توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به‌کاربردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان پیش‌بینی و بررسی تغییر زمانی - مکانی کاربری زمین را می‌دهد (Ebrahimy, Rasuly, & Ahmadpour, 2019). 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 (جویباری مقدم و همکاران،۱۳۹۳). 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 شد (Tzotsos & Argialas, 2008). در روش طبقه‌بندی شیءگرا اطلاعات طیفی، شکل و بافت‌ها را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد. معمولاً خطاهای متعددی در روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل قابل‌انتظار است که با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده و سایر عوامل متأثرکننده باید شناسایی شوند؛ اما مجموعه‌ای از پیکسل‌های نسبتاً مشابه عارضه مشخصی در روش‌های شیءگرا نشان می‌دهند؛ بنابراین، مجموعه پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی و سپس عملیات طبقه‌بندی و فرآیندهای تقسیم‌بندی اعمال می‌گردد (رسولی،۱۳۷۸). در این بخش از تحقیق به بررسی و مرور نتایج انجام شده، به چند نمونه بارز در خارج از کشور و ایران اشاره می‌گردد. (Munthali, Botai, Davis, Ade La Abiodun, 2019)، با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف به پیش‌بینی پوشش کاربری اراضی مالاوی پرداختند. در این پژوهش با ترکیب GIS[1] و سنجش‌ازدور تلاش کردند تغییرات کاربری اراضی را برای بازه‌های زمان ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ بررسی کنند و از صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌ای تولید شده استفاده کردند. نتایج نشان داد کاربری‌های مناطق مسکونی، پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر افزایش مساحت خواهند داشت و جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی کاهش مساحت خواهند داشت و همچنین بیشترین میزان تغییر مربوط به مناطق جنگلی به مقدار ٦٤ درصد خواهد بود. همچنین در تحقیق دیگری (Rasouli, Asgarova, & Safarov, 2021)، به بررسی تغییرات ۳۰ ساله LU/LC[2] در منطقه قره‌باغ با استفاده از روش‌های تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مبتنی برشی[3]

1. Geographic Information System
2. Land Use/ Land Cover
3. Object-Based Image Analysis

(OBIA) پرداختند. نتایج[1] (DTI) نشان داد که از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱، تغییرات LC کاملاً معنادار است. کاهش پوشش‌گیاهی (۱۰/۲٪)، افزایش سطح بدون پوشش‌گیاهی (۱۱/۸٪) و بیشترین تغییرات در اراضی تخریب شده با مساحت ۴۵/۱ کیلومترمربع (۲۶/۸٪) مشاهده شد. همچنین مساحت اراضی فرسوده ۳۵ درصد و اراضی بایر ۴/۴ درصد افزایش یافته است. دقت کلی ۰/۹۵ و کاپا ۰/۹۳ تغییرات قابل‌توجهی را در LC/LU تأیید کرد. Igué, , Houndagba, Gaiser, & Stahr, (2022) با استفاده از روش شیءگرا، نقشه کاربری اراضی حوزه‌های اویم و اونین با دقت کلی ۸۷ درصد تهیه شد و به‌عنوان کارآمدترین روش معرفی گردید. همچنین در ایران Ghafari, Moradi,& Modarres, (2018) ، با استفاده از تصاویر لندست TM2 سال ۱۹۸۵ و۳ OLI سال ۲۰۱۵ به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی شیءگرا و پیکسل پایه، در دشت‌های اصفهان- برخوار، نجف‌آباد و چادگان و بررسی تغییر کاربری اراضی در طول دوره آماری پرداخته‌اند. طبقه‌بندی کاربری اراضی شامل قطعه‌بندی داده‌های تصویری با استفاده نرم‌افزار eCognition انجام گرفت. نتایج نمایانگر اینکه طبقه‌بندی شیءگرا با صحت کلی بالای ۹۰ درصد نسبت به طبقه‌بندی پیکسل‌پایه از دقت بالاتری برخوردار بوده است. Abiyat, Attar Roshan, & Abiyat, (2020)، در پیش‌بینی تغییرات پوشش‌گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM4 و زنجیره CA مارکوف در شهر اهواز از طبقه‌بندی شیءگرا استفاده کردند و نتایج نشان داد که پوشش‌گیاهی روند کاهشی، و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش‌گیاهی به نواحی ساخته شده است و کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش‌گیاهی به پهنه‌آبی است و نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نشان‌دهنده کاهش سطح پوشش‌گیاهی می‌باشد. Abedini, Pasban, & nezafat taklhe, (2023) با استفاده از روش شیءگرا نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز نیرچای در استان اردبیل تهیه کردند. با استفاده از طبقه‌بندی الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه شیءگرا، صحت طبقه‌بندی بررسی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از روش شیءگرا، صحت کلی ۹۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۸ درصد در طبقه‌بندی به دست آمده است. علیرغم ارزشمند بودن تحقیقات انجام شده در مبحث بررسی تغییرات کاربری اراضی، در این تحقیق با دسترسی به داده‌های جدید فناوری سنجش‌ازدور تصاویر Sentinel2 با تفکیک مکانی ۱۰ متر و با اعمال روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای دانش‌پایه پرداخته است. از اهداف اصلی این تحقیق نظارت بر تغییرات زمانی-مکانی حوزه آبخیز گدارچای- دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸ بود. به همین دلیل، چندین تکنیک پردازش تصویر سنجش‌ازدور با استفاده از تمام تصاویر موجود برای تشخیص تغییرات کاربری و پیش‌بینی آن برای آینده استفاده می‌شود؛ و درنهایت با استفاده از نتایج مدل، کاربری اراضی آینده پیش‌بینی

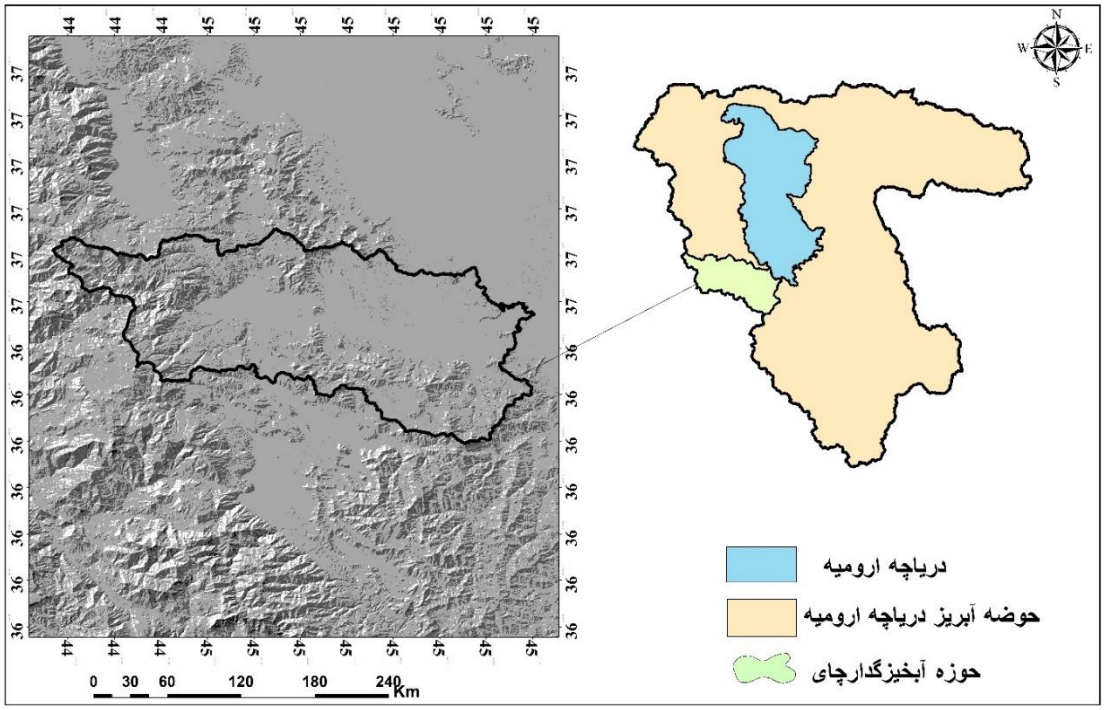
1. Dynamic Thresholds Indexing
2. Thematic Mapper
3. Operational Land Imager
4. Land Change Modeler

خواهد شد. با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی و محیطی محتمل در سرتاسر کشور ایران، می‌توان امیدوار بود مدل‌های نهایی تحقیق با جنبه‌های کاربردی متعددی همراه گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز گدارچای سومین حوضه بزرگ حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کشور ایران، بعد از زرینه‌رود و سیمینه‌رود است که به عرض‌های شمالی در موقعیت '٤٥°٣٦ تا '٣٧°١٠ و طول‌های شرقی در موقعیت '٤٢°٤٤ تا '٤٥°٤١ محدود است. وسعت این حوضه بالغ بر ۲۰۹۰ کیلومترمربع می‌باشد. رودخانه گدارچای پیه جیک از کوه‌های اشنویه سرچشمه و از منطقه جاشیران وارد دشت سولدوز شده و بعد از تغذیه آب‌های زیرزمینی و آبیاری زمین‌های کشاورزی نهایتاً طی طریق ۱۰۰ کیلومتر در روستای ممیند به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. رودخانه گدارچای دارای ۱۲ ایستگاه هیدرومتری است که مهم‌ترین آن‌ها ایستگاه‌های پی قلعه، پل پیه جیک و پل بهراملو (جاده سنتو) است. بر روی رودخانه گدارچای سدی هنوز احداث نشده است؛ ولی سد حسنلو با حجم مخزن ۹٦ میلیون مترمکعب، که خارج از بستر این رودخانه است، از رودخانه گدارچای آبگیری می‌کند؛ و از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیکی حوضه گدارچای، دارای ۱۱ واحد کاری پل بهراملو سنتو، محمد شاه سفلی، نقده، بالچی، با یزید آباد، پیه جیک، چپرآباد، صوفیان، اشنویه، پی قلعه و دورود می‌باشد. پل بهراملو سنتو با مساحت ۲۰۲۹/۸٤ کیلومترمربع بیشترین وسعت و صوفیان با مساحت ۱۲/۱٦ کیلومترمربع کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. این حوضه در محدوده ارتفاعی ۱۲٦٦/۸۳ تا ۳٤۷٤/٦۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بیش‌ترین شیب متوسط وزنی با مقدار ٤٥/۲۲ درصد مربوط به واحدکاری پی قلعه و کمترین با مقدار ۱۳/۰۱ درصد مربوط به واحد کاری صوفیان می‌باشد (Yamani, & Abbasi, 2020). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای در ایران و استان آذربایجان غربی ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای- دریاچه ارومیه

Fig.1. Geographical Location of the Godarchay Watershed - Lake Urmia

روش تحقیق

در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع (۱۳ باند برای Sentinel2) استفاده گردید. این تصاویر از اواخر سال ۲۰۱۵ میلادی از سایت Copernicus آژانس فضایی اتحادیه اروپا دریافت گردید. اطلاعات تصاویر مورداستفاده در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table1- Information on Satellite Images Used in the Study of Land Use Change and Prediction

نام سنجنده	تاریخ کسب داده	قدرت تفکیک مکانی
Sentinel2	۲۰۱۶/۰۷/۱۶ معادل ۱۳۹۵/۴/۲۶	چند طیفی ۱۰،۲۰ و ۶۰ متر
Sentinel2	۲۰۲۰/۰۶/۲۶ معادل ۱۳۹۹/۰۴/۶	چند طیفی ۱۰،۲۰ و ۶۰ متر
Sentinel2	۲۰۲۲/۰۶/۲۰ معادل ۱۴۰۱/۰۳/۳۰	چند طیفی ۱۰،۲۰ و ۶۰ متر

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به‌منظور پیش‌پردازش موزائیک‌سازی و برش‌تصاویر، تولید شاخص‌های کاربری اراضی، طبقه‌بندی کلاسیک تصاویر و ارسال لایه‌های تولید شده در محیط نرم‌افزارهای (ERDAS Imagine & ENVI) انجام شد.

۲-۲-۲- در مرحله پردازش برای ایجاد فضای کار نرم‌افزاری، ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد پروژه‌های موردنیاز، بعد از فراخوانی تصویر و ایجاد ترکیبی باندی مناسب، که در این تحقیق از باندهای ۸،٤،۳،۲ و ۱۱ استفاده شد. بعد از ایجاد ترکیب باندی سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی) انجام شد. سگمنت‌سازی به مفهوم جداسازی پیکسل‌های تصویری در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یکپارچه‌سازی مجدد آن بر مبنای پارامترهای مختلف نظیر شباهت‌های بازتابشی، هندسی، تراکمی، فشردگی، ارتباط ذاتی آن‌ها باهمدیگر از طریق اعمال الگوریتم‌های تقسیم‌بندی متعدد تعریف می‌گردد (رسولی،۱۳۸۷). 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 شیءها 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 رابطه ۱ و ۲ بیان شده است (Rasuly Pirouzian, Chnung, Moharrami, & Derafshi, 2015)

$$\text{NDVI Sentinel2} = (\text{Near Infraredb8} - \text{REDb4} / \text{Near Infraredb8} + \text{REDb4}) \quad (1)$$

$$\text{NDWI Sentinel2} = (\text{Greenb3} - \text{Near Infraredb8} / \text{Greenb3} + \text{Near Infraredb8}) \quad (2)$$

پس از ایجاد شاخص‌ها، با توجه به هدف تحقیق که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، کلاس‌های کاربری در نظر گرفته‌شده شامل کاربری پهنه آب، 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 و نقشه‌های کاربری اراضی برای ۳ دوره با روش شیءگرا استخراج گردید و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. در مرحله بعد پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف و CA-مارکوف انجام شد.

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل CA-مارکوف

1. Normalized Difference Water Index
2. Normalized Difference Vegetation Index

با توجه به توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پوشش سطح زمین و پیش‌بینی کاربری در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال[1]، ماتریس مساحت انتقال یافته[2] و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌گردد (بسته به تعداد کاربری‌ها)، ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هرکدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد (Mirakhorlo, & Rahimzadegan, 2018) ، این مدل پیش‌بینی آینده را با ایجاد یک ماتریس انتقال احتمال تغییرات کاربری بین سال اول (T_0) و دوم (T_1) انجام می‌دهد. محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$S = (T_0 + T_1) = Pij * S(t) \qquad (۳)$$

که در آن، $S(t)$ وضعیت کاربری سال اول و $S(t_1)$ وضعیت کاربری زمان دوم را نشان می‌دهد و Pij ماتریس احتمال انتقال می‌باشد (Hamad & Kolo, 2018).

اساس تولید ماتریس احتمال انتقال این است که می‌توان از شرایط قبلی کاربری زمین برای پیش‌بینی استفاده کرد. برای تعیین ماتریس احتمال انتقال از رابطه (٤) استفاده می‌شود:

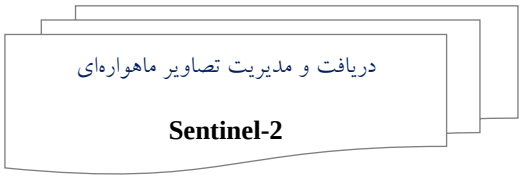
$$Pij = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1n} \\ p_{1n} & p_{2n} \cdots p_{nn} \end{vmatrix} (0 \le Pij \ge 1) \qquad (٤)$$

که در آن، P_{ij} احتمال انتقال را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد (Mirakhorlo, & Rahimzadegan, 2018).

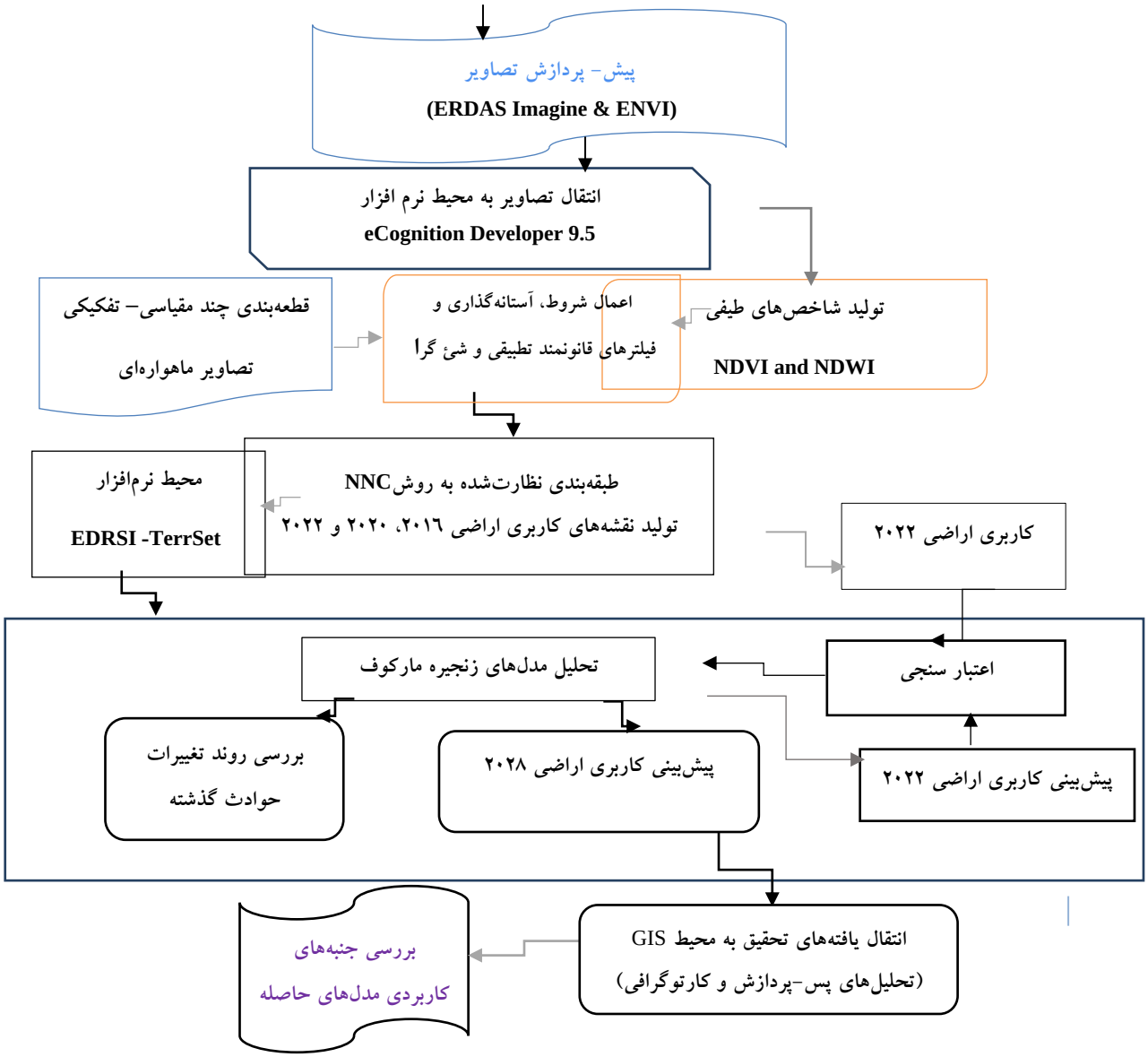
مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی ۲۰۲۲ با مدل CA مارکوف

جهت تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی ۲۰۲۲ ابتدا به‌وسیله مدل مارکوف از نقشه کاربری اراضی ۲۰۱٦ و ۲۰۲۰ برای تهیه ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال جهت صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی استفاده شد. ورودی مدل مارکوف تصویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۰، فاصله زمانی بین این دو تصویر (٤ سال)، فاصله زمانی پیش‌بینی (۲ سال) می‌باشد.

مرحله پس‌پردازش ورود لایه‌های رقومی، فرمت‌سازی تصاویر طبقه‌بندی شده، ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، تولید لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، ارزیابی نتایج نهایی و ارسال نتایج به محیط نرم‌افزار ArcGIS10.8 ترکیب و تحلیل هدفمند لایه‌ها انجام می‌شود و نتایج نهایی استخراج گردید. در شکل (۲) فرآیند کلی انجام تحقیق ارائه شده است.



1. Transition Probabilities
2. Transition Areas

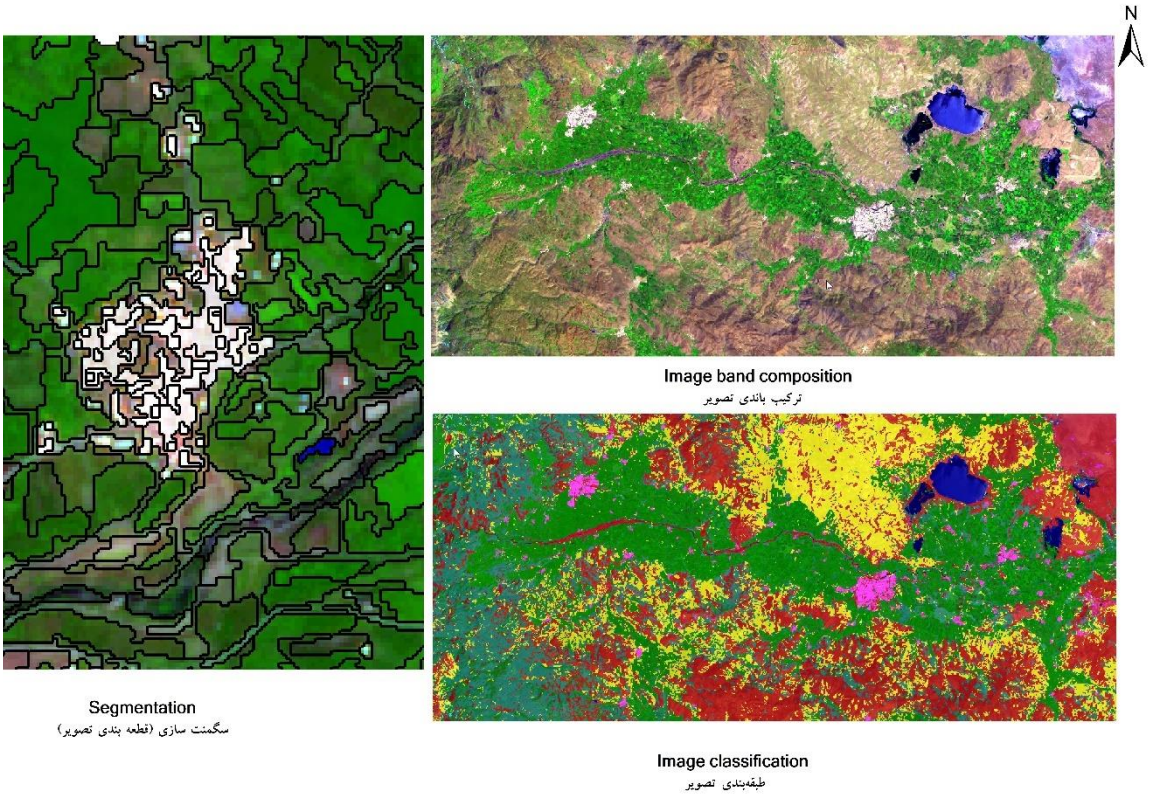


شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

Fig.2. Flowchart of research steps

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 شیءهای تصویری تبدیل گردید با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. در این تحقیق 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.

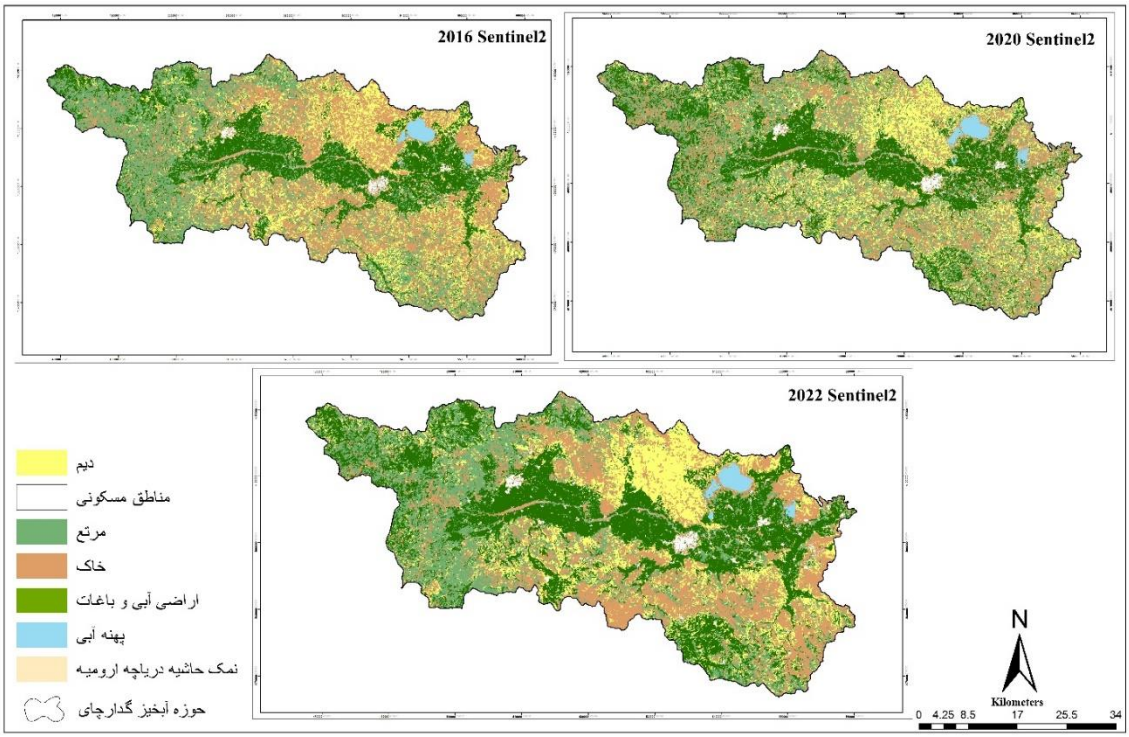


شکل ۳- ترکیب باندی، سگمنت سازی و طبقه‌بندی تصویر

Fig.3. Band composition, segmentation and image classification

بعد از طبقه‌بندی تصاویر به روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی‌آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱٦ با دقت ۹۱ درصد، سال ۲۰۲۰ با دقت ۹۵ درصد و سال ۲۰۲۲ با دقت ۹۳ درصد تهیه گردید. مساحت هر کاربری محاسبه شد. شکل (٤) نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱٦، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ نمایش می‌دهند. طبق نتایج برای سال ۲۰۱٦ مساحت پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب۰٦/۹۲،۵۰/۱۹،٤۳۲،۱۹/٦٦۰، ۳۵۱/۱۹، ۰/۰۵، ٦۰٤/۷۰ و ۲۲/۵۲ کیلومترمربع به دست آمد. برای سال ۲۰۲۰ مساحت پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲۷/۳۹، ۵۳۵/۵، ۵۰۸/۳٤، ۳۵۷/۹۱، ۲/۳۱، ٦۳۵/٤۹

و ۲٤/۰۵ کیلومترمربع، همچنین در سال ۲۰۲۲ مساحت برای کاربری‌های پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲۱/۳، ۵۱۸/۵، ٦۲٦/۲، ۳۷٤/۹، ۲/۸، ۵۱۹/۱ و۲۸/۲ کیلومترمربع بود.



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های موردبررسی در حوزه آبخیز گدارچای-دریاچه ارومیه

Fig.4. Land Use Maps for the Years Under Study in the Godarchay Watershed - Lake Urmia

صحت‌سنجی مدل CA مارکوف

به‌منظور صحت‌سنجی نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۲ با نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ مقایسه گردید. مقادیر Kno برابر با ۰/۸٦ درصد، Klocation برابر با ۰/۹۲ درصد، KlocationStrata برابر با ۰/۹۲ درصد و کاپای استاندارد (Kstandard) برابر با ۰/۸۳ درصد محاسبه گردید و با توجه به دقت بالای مدل در پیش‌بینی نقشه تغییرات سال ۲۰۲۲ اقدام به استخراج نقشه تغییرات ۲۰۲۸ شد. در این راستا، در مطالعه‌ای (HUA, 2017) از تصویر طبقه‌بندی‌شده و تصویر پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل CA مارکوف برای صحت‌سنجی استفاده شده است ضریب کاپای استاندارد برابر با ۰/۸٤۳، کاپای موقعیت برابر با ۰/۸٦۳ و کاپای موقعیت استاندار برابر با ۰/۸٦۳ به‌دست آمده است.

ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال جدول (۲) و (۳) با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به‌دست آمد. ماتریس مساحت انتقال ۲۰۲۰-۲۰۱۶ به‌عنوان ورودی به مدل CA معرفی شد تا نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲ به‌دست آید.

جدول۲- ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری (۲۰۲۰-۲۰۱۶) با استفاده مدل زنجیره مارکوف بر حسب کیلومترمربع

Table2- Land Use Change Transition Area Matrix (2016-2020) Using the Markov Chain Model in Square Kilometers

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	مناطق مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	٦٠/٩٩	١٧/٦٦	٠	١/٧	٢/٩٦	٠/٣٦	٠/٦٨
خاک	٢٢/٩١	٥٨٧/٢١	٨/٦٨	٤٢/٢٠	٣٢٤/٢	١٩٣/٥٤	٣
مناطق مسکونی	٠/١٢	٥/٩٣	١٦/١٢	٠/٨٩	٣/٨٤	٢/١٧	٠/٠١
باغات و اراضی آبی	٦/٩٤	٧٥/٧٨	١/٠٣	٥٢٥/٥٦	١٦٦/٢١	٣٩/٤٧	٤/٩٥
مرتع	٦/٥٣	٣٢٣/٢٦	١/٣٣	٢٦٧/٥٥	٤٧٢/١٥	١٠١/٧٣	٣/٥٥
دیم	١/٠٥	١٢٢/٠٣	١/٣٥	٥١/٩٨	١٨٠/١٦	١٧٧/٨٧	٠/٣٤
نمک حاشیه دریاچه	٩/٦٣	١/٠١	٠	٠/٠١	٠/١٧	٠	٠/١٣

براساس نتایج حاصل از جدول(۲)، ٦٠/٩٩ کیلومترمربع از پهنه‌آبی در سال ۲۰۱٦ در سال ۲۰۲۰ در همان کاربری پهنه آبی باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ١٧/٦٦ کیلومترمربع از پهنه‌آبی به کاربری خاک، ١/٧ به کاربری باغات و اراضی آبی و ٢/٩٦ کیلومترمربع به کاربری مرتع در سال ۲۰۲۰ تبدیل خواهد شد.

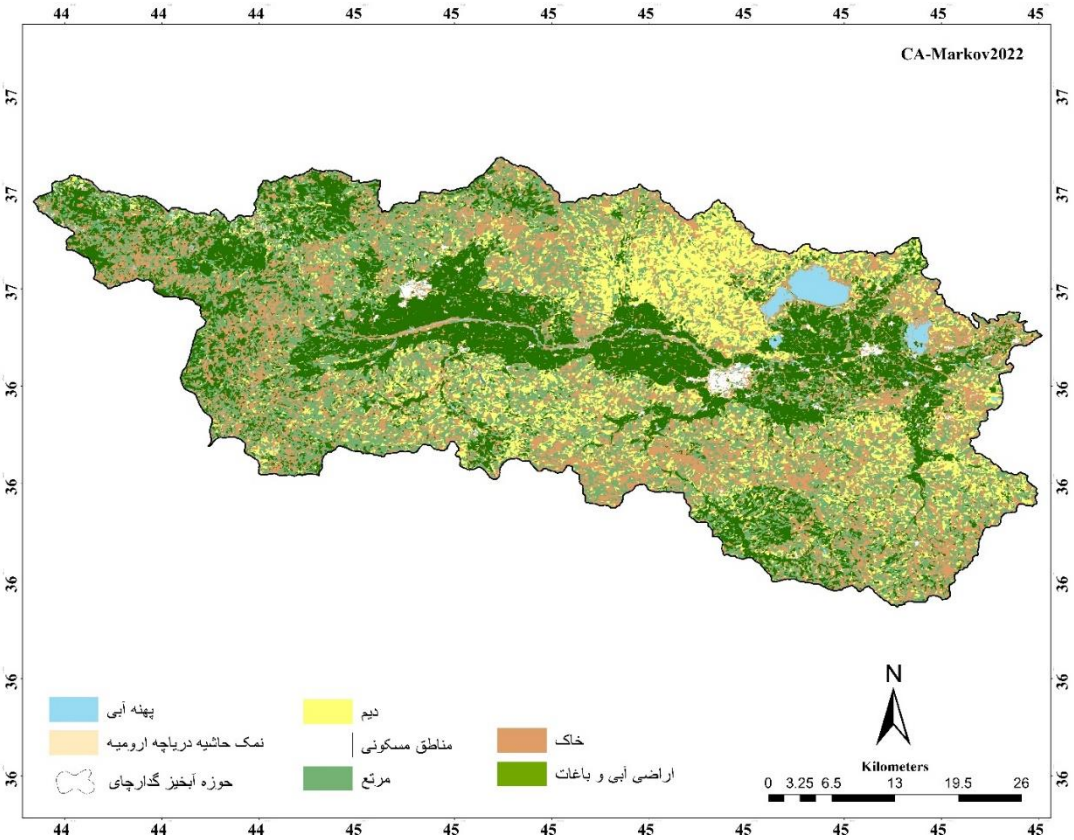
جدول۳- ماتریس احتمال انتقال (پیش‌بینی‌شده برای ۲۰۲۲ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۲۰-۲۰۱٦) بر حسب درصد

Table3- Transition probability matrix (predicted for 2022 using 2016-2020 classification) in percentage

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	مناطق مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	٧١/٠٨	٢٠/٦	٠	٢	٣/٤	٠/٤	٠/٨
خاک	١/٩٢	٤٩/٣	٠/٧	٣/٥	٢٧/٢	١٦/٣	٠/٣
مناطق مسکونی	٠/٤٢	٢٠/٣	٥٥/٢	٣	١٣/١	٧/٤	٠
باغات و اراضی آبی	٠/٨٤	٩/٢	٠/١	٦٣/٧	٢٠/١	٤/٨	٠/٦
مرتع	٠/٥٥	٢٧/٣	٠/١	٢٢/٦	٣٩/٩	٨/٦	٠/٣
دیم	٠/١٩	٢٢/٧	٠/٣	٩/٧	٣٣/٦	٣٣/١	٠/١
نمک حاشیه دریاچه	٧٩/٤٢	٨/٣	٠	٠/١	١/٤	٠	٠/١

با توجه به نتایج جدول(۳) ٧١/٠٨ درصد از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱٦ در همان کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۲۲ باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ٢٠/٦ درصد، ٠/٠٠ درصد، ٢ درصد، ٣/٤ درصد و ٠/٤ درصد از کاربری پهنه‌آبی در سال ۲۰۱٦ به کاربری‌های خاک، مناطق مسکونی، باغات و اراضی آبی، مرتع و دیم تبدیل خواهد

شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع (۲۰۱٦) و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان (۲۰۲۲) می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۱٦ به‌عنوان تصویر پایه و تعداد دوره چهار سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ شکل (۵) تهیه شد.



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۲

Fig.5. Land Use Prediction Map for 2022

بعد از دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد. برای پیش‌بینی تغییرات از مدل مارکوف و CA مارکوف استفاده شد. در سنجش دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف ضریب کاپا نشان‌دهنده میزان دقت پیش‌بینی مدل می‌باشد مقدار این ضریب بین ۰ و ۱ می‌باشد که در این تحقیق دقت بالای ۰/۸ به‌دست آمد؛ که هرچه‌قدر مقدار آن نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج Yirsaw, Wu, Shi, Temesgeh, & Bekele, (2017) در مطالعه‌ای ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ به‌دست آورد؛ که بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد مطابقت دارد. برای به‌دست آوردن ماتریس مساحت انتقال ابتدا به‌وسیله مدل مارکوف

تصاویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۲ استفاده شد تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد شده و به‌عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ٦ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۲۸، ٦ سال در نظر گرفته شد. در این تحقیق ماتریس مساحت انتقال (۲۰۲۲-۲۰۱٦)، نقشه پایه (۲۰۲۲) وتعداد کل تکرارها به‌عنوان ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. تعداد کل تکرارها بر اساس زمان تعیین‌شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد (Sarabuddin Mondal, Sharma, Kappas, & Garg, 2019)؛ که در این مطالعه تعداد دوره‌ها ٦ سال انتخاب شد. ماتریس مساحت انتقال و ماتریس مساحت احتمال انتقال جدول (٤) و (٥) با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۲ به‌دست آمد.

جدول ٤- ماتریس مساحت انتقال یافته (۲۰۲۲-۲۰۱٦) با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف بر حسب کیلومترمربع

Table4- Transition Area Matrix (2016-2022) Using the Markov Chain Model in Square Kilometers

کاربری اراضی	آب	خاک	مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
پهنه آبی	۲۳/۷۲	۱۰/۲۰	۰/۰٤	۱/٤۳	۰/۷٦	۰/۲۸	۰/۷۵
خاک	۵/۰۷	٦٤٦/۳۰	۱۳/۹۳	۷۱/۱۵	۲۰۹/۰۵	۱۹۷/۷۱	۲/٦۷
مسکونی	۰/۰۵	٦/۸٦	۲۰/٤۸	۲/۰۸	۵/۳٤	۲/٦۹	۰/۰۱
باغات و اراضی آبی	۵/۵۷	۳٦/۳۰	۱/۹۰	۷۷۰/۵۷	۱۷۷/۲۱	۵۲/٤۰	٤/۸۱
مرتع	۲/۱۲	۱۸٤/۱۵	۱/۷۸	۲۸۱/٦۰	٤۳۹/٤۱	۱۰۰/٦۱	٤/۹۵
دیم	۰/۳۹	۱۲۸/۱۷	۲/٤۷	۱۱٦/۷۵	۱۲۲/۰٤	۲۲۱/۵۵	۰/۳۷
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۰/۵۵	۱۳/٦۰	۰/۰۱	۰/۰٤	۰	۰/۰٤	۱/۲۸

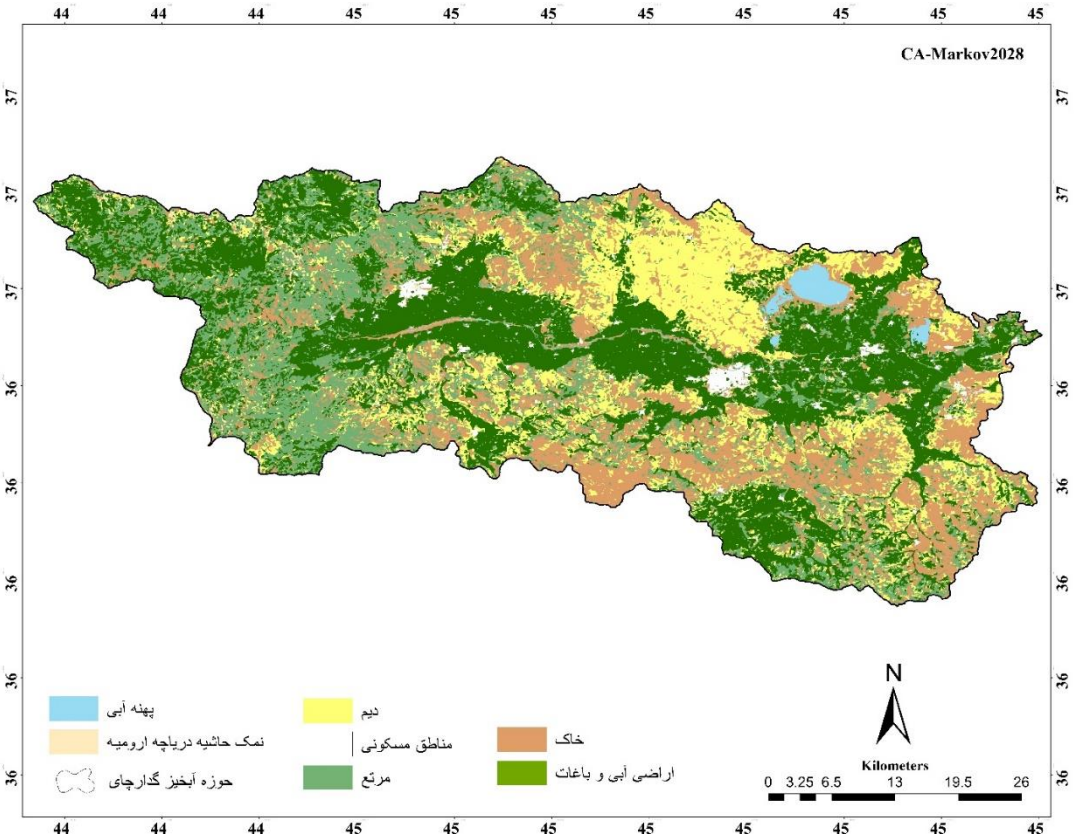
براساس نتایج حاصل از جدول (٤)، ۲۳/۷۲ کیلومترمربع از کاربری آب در سال ۲۰۱٦ در سال ۲۰۲۲ در همان کاربری آب باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۱۰/۲۰ کیلومترمربع از کاربری آب به خاک، ۰/۰٤ کیلومترمربع به کاربری مسکونی، ۱/٤۳ کیلومترمربع به کاربری باغات و اراضی آبی،۰/۷٦ کیلومترمربع از کاربری آب به مرتع، ۰/۲۸ کیلومترمربع به کاربری دیم و ۰/۷۵ کیلومترمربع به نمک حاشیه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۲ تبدیل خواهد شد. ماتریس احتمال انتقال، احتمال اینکه هر نوع کاربری اراضی را در یک دوره زمانی معین در آینده مربوط به هر پیکسل در تصویر باشد گزارش می‌دهد.

جدول ٥- ماتریس احتمال انتقال (پیش‌بینی‌شده برای ۲۰۲۸ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۲۲-۲۰۱٦) بر حسب درصد

Table5- Transition probability matrix (predicted for 2028 using 2016-2022 classification) in percentage

کاربری اراضی	آب	خاک	مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
پهنه آبی	٦٣/٨١	٢٧/٤٤	٠/١١	٣/٨٥	٢/٠٤	٠/٧٥	٢
خاک	٠/٤٤	٥٦/٤٠	١/٢٢	٦/٢١	١٨/٢٤	١٧/٢٥	٠/٢٣
مسکونی	٠/١٢	١٨/٢٨	٥٤/٥٣	٥/٥٣	١٤/٢١	٧/١٨	٠/٠٣
باغات و اراضی آبی	٠/٥٣	٣/٤٦	٠/١٨	٧٣/٤٧	١٦/٩٠	٥	٠/٤٦
مرتع	٠/٢١	١٨/١٥	٠/١٨	٢٧/٧٥	٤٣/٣١	٩/٩٢	٠/٤٩
دیم	٠/٠٧	٢١/٦٦	٠/٤٢	١٩/٧٣	٢٠/٦٢	٣٧/٤٤	٠/٠٦
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	٣/٥٥	٨٧/٥٩	٠/٠٦	٠/٢٦	٠/٠١	٠/٢٧	٨/٢٦

با توجه به نتایج جدول (٥) ٦٣/٨١ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ٢٠١٦ در همان کاربری پهنه آبی در سال ٢٠٢٨ باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ٢٧/٤٤ درصد، ٠/١١ درصد، ٣/٨٥ درصد، ٢/٠٤ درصد، ٠/٧٥ درصد و ٢ درصد از کاربری پهنه‌آبی در سال ٢٠١٦ به کاربری‌های اراضی خاک، مسکونی، باغات و اراضی آبی، مرتع، کشاورزی دیم و نمک حاشیه دریاچه ارومیه تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع (٢٠١٦) و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان (٢٠٢٨) می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ٢٠٢٢ به‌عنوان تصویر پایه، تعداد دوره ٦ سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ٢٠٢٨ تهیه شد. در تهیه نقشه پیش‌بینی سال ٢٠٢٨ از ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال به‌دست آمده سال‌های ٢٠٢٢-٢٠١٦ استفاده شد. در بازه زمانی سال‌های ٢٠١٦-٢٠٢٢ بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکرشده به ترتیب مربوط به خاک، باغات و اراضی آبی، دیم، مرتع، مسکونی، پهنه‌آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه بود. ماتریس مساحت انتقال، میزان تغییر در تعداد پیکسل‌ها را از یک طبقه کاربری به طبقه دیگر در دوره مشخص را نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن مساحت انتقال در کاربری مرتع و خاک را می‌توان افزایش اراضی آبی و باغات دانست. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی (کشاورزی آبی و باغات) به سرعت افزایش پیدا کرده است به‌طوری‌که مساحت کاربری کشاورزی آبی از ٢٠/٦٨ درصد کل مساحت حوضه در سال ٢٠١٦ به بیش ٣٤/٥٧ درصد در سال ٢٠٢٨ افزایش پیدا خواهد کرد؛ و همچنین مساحت کاربری مرتع و خاک به ترتیب ٢٨/٩٢ و ٣١/٥٧ درصد کل مساحت حوضه در سال ٢٠١٦ به ٢٣/٥٧ و ٢١/٣٠ درصد در سال ٢٠٢٨ کاهش پیدا خواهد کرد که با نتایج (Kangabam, Selvaraj, & Govindaraju, 2019) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی برای دلتای نیل مصر در طول ٢٨ سال، بیان نمودند گسترش مداوم اراضی کشاورزی و مناطق شهری، هم‌زمان با کاهش در پهنه آب و مراتع رخ‌داده است مطابقت دارد. نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ٢٠٢٨ به روش CA مارکوف با ضریب کاپا ٠/٨٧ تهیه گردید؛ که در شکل (٦) آمده است.



شکل ٦- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸

Fig.6. Predicted Land Use Map for 2028

آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱٦، ۲۰۲۲ و۲۰۲۸ به کیلومترمربع و درصد در جدول (٦) ارائه شده است.

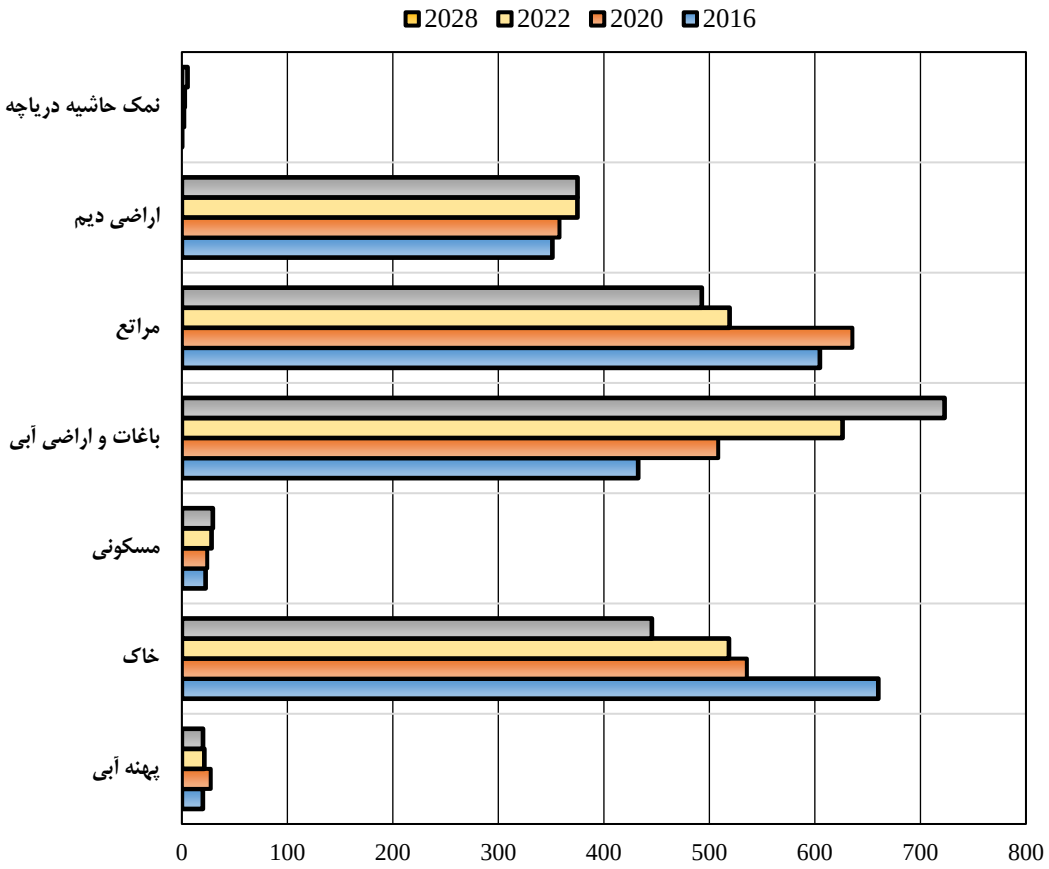
جدول ٦- مساحت کاربری اراضی به کیلومترمربع و درصد

Table6- Land use area in square kilometers and percentage

سال	۲۰۱٦		۲۰۲۰		۲۰۲۲		۲۰۲۸	
کلاس کاربری اراضی	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد
پهنه آبی	۱۹/۹۲	۰/۹۵	۲۷/۳۹	۱/۳۱	۲۱/۳	۱/۰۲	۲۰/۱	۰/۹٦
خاک	٦٦۰/۰۹	۳۱/۵۷	۵۳۵/۵	۲۵/٦۱	۵۱۸/۵	۲٤/۷۹	٤٤۵/۵	۲۱/۳
مسکونی	۲۲/۵۲	۱/۰۸	۲٤/۰۵	۱/۱۵	۲۸/۲	۱/۳٤	۲۹/٤	۱/٤۱
باغات و اراضی آبی	٤۳۲/۵۰	۲۰/٦۸	۵۰۸/۳٤	۲٤/۳۱	٦۲٦/۲	۲۹/۹٤	۷۲۲/۹	۳٤/۵۷
مراتع	٦۰٤/۷۰	۲۸/۹۲	٦۳۵/٤۹	۳۰/۳۹	۵۱۹/۱	۲٤/۸۲	٤۹۲/۸	۲۳/۵۷
اراضی دیم	۳۵۱/۱۹	۱٦/۸۰	۳۵۷/۹۱	۱۷/۱۲	۳۷٤/۹	۱۷/۹۳	۳۷۵	۱۷/۹۳
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۰/۰۵	۰/۰۰۲	۲/۳۱	۰/۱۱	۲/۸	۰/۱۳	۵/٤	۰/۲٦

با توجه به جدول (٦) بیشترین تغییرات از کل مساحت منطقه، مربوط به کلاس اراضی باغات و اراضی آبی (کشاورزی آبی) می‌باشد به گونه‌ای که مساحت این کلاس از ٤۳۲/۵۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۱٦ به ٦۲٦/۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۲ رسیده است به بیان دقیق‌تر مساحت دو کاربری خاک و مرتع مقدار کاهشی و اراضی دیم، مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه مقدار افزایشی داشته است؛ و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۸ مساحت کاربری خاک و مرتع کاهشی، و مساحت کاربری مسکونی، باغات و اراضی آبی، دیم و نمک حاشیه دریاچه ارومیه افزایش یابد. درنهایت کاربری‌های دیم، مسکونی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه با مساحت ۱٦/۸، ۱/۰۸ و ۰/۰۰۲ درصد کل مساحت در سال ۲۰۱٦ به ۱۷/۹۳، ۱/٤۱ و ۰/۲٦ درصد کل مساحت در سال ۲۰۲۸ خواهد رسید. افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی در حوزه آبخیز گدارچای بخصوص دو کاربری باغات و زمین‌های کشاورزی آبی، باعث افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. دلیل بالا بودن احتمال انتقال کاربری اراضی آبی و باغات را می‌توان گرایش مردم به سمت ایجاد باغ و درآمدهای حاصل از باغداری در منطقه موردمطالعه دانست. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح کشاورزی آبی و باغات در مجاور منابع آبی و نیز در مجاور اراضی کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت که دلیل آن را می‌توان در با توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و غیره توسط کشاورزان مرتبط دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت باغات را می‌توان علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و درآمد ناشی از محصولات باغی دانست. نتایج این تحقیق با نتایج Aburas, Abdullah, Ramli, Ash'aari, & Ahamad, (2018)، اذعان کردند که ناحیه‌های کشاورزی از ناحیه‌های شـــهری در ۱۰ سال آینده تأثیر خواهد گرفت، که این امر ناشی از توسعه اقتصادی خواهد بود، مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج Rasouli, Asgarova, & Safarov, (2021)، در مطالعه‌ای شناسایی و ارزیابی تغییرات

LU/LCبا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۱، با بکار گیری تکنیک‌های پیشرفته شیءگرا انجام گردید. درنهایت، برای پیش‌بینی انواع LU، یک مدل زنجیره مارکوف، خودکار سلولی CA استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات کاهشی در انواع LU، عمدتاً در جنگل‌ها و مراتع، و روند افزایشی قابل توجهی در زمین‌های بایر و رها شده وجود خواهد داشت. دقت کلی ۰/۹۵ و ضریب کاپا نزدیک به ۹٤ درصد بود که تأیید کرد تغییرات قابل توجهی بر نقشه‌های LU منطقه موردمطالعه وجود داشته است مطابقت دارد. روند تغییرات کاربری اراضی در شکل (۷) آمده است.



شکل ۷- روند تغییرات کاربری اراضی به روش شیءگرا

Fig.7. Trends in Land Use Changes Using the Object-Oriented Method

براساس نتایج حاصل از روند تغییرات در این تحقیق، بیش‌ترین شدت تغییرات هر یک از کاربری‌ها به کل کاربری‌ها (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 تحقیق بر روی حوضه آبریز گومارا[1] اتیوپی

2. Gomara

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.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای آشکارسازی و تحلیل تغییرات سال ۲۰۱٦ و ۲۰۲۸ از تصاویر سال‌های ۲۰۱٦، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل، نقشه شبیه‌سازی شده سال ۲۰۲۲ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپای به‌دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای بود بعد از تهیه نقشه‌های کاربری سال ۲۰۱٦، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲، و دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، با استفاده از مدل CA مارکوف، پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ تهیه شد. ضریب کاپای ۰/۸۷ به‌دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای بود. نتایج نشان دهنده افزایش اراضی آبی و باغات، مسکونی و دیم در سال‌های آتی می‌باشد. براساس نتایج تحقیق، می‌توان در راستای کنترل تغییر کاربری اراضی متناسب با قابلیت اراضی و اتخاذ استراتژی‌های کاربردی در حفظ اراضی طبیعی اقدام نمود. قابل ذکر است که نتایج حاصل از تفسیر سناریوهای مختلف کاربری اراضی می‌تواند در پیش‌بینی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های تولید رسوب، سیل‌خیزی و نیز اثرات اکولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. باید اشاره شود که کاربری اراضی به‌عنوان عامل موازنه مؤلفه‌های اکولوژی، هیدرولوژی و اقتصاد به‌شمار می‌رود که تغییرات آن می‌تواند در ارزیابی اثرات وضعیت اقتصادی و نیز معیشت آبخیزنشینان استفاده شود.

References

جویباری مقدم، یاسر؛ اخوندزاده، مهدی؛ سراجیان، محمدرضا. (۱۳۹۳). تخمین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landset8. اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. ۷ صفحه.

رسولی، علی اکبر. (۱۳۷۸). *مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای*، چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز.

Abedini, M., Pasban, A., & nezafat taklhe, B. (2023). Evaluation and Preparation of Land Use Map of Nirchai Watershed Using Object Oriented Method. *Geography and Human Relationships*, *5*(4), 318-328. [In Persian] https://doi.org/10.22034/gahr.2023.393602.1849

Aburas, M.M., Abdullah, S.H., Ramli, M.F., Ash'aari, Z.H., & Ahamad, M.S.S. (2018). Simulating and monitoring future land-use trends using CA-Markov and LCM Models. In IOP Conference Series: Earth and Environmental science, 169(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012050

Abiyat, M., Attar Roshan, S., & Abiyat, M. (2020). Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *9*(3), 183-204. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2020.67236.0

Armenteras, D., Murcia, U., González, T.M., Barón, O.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, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567

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, 4th International Conference on Ecohydrology, *Soil and Climate Change*, 109, 1-78. 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

Donnay, J.P., Longley, P.A., & Barnsley, M.J. (2001). Remote Sensing and Urban Analysis: A Research Agenda . London, CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781482268119

Ebrahimy, H., Rasuly, A., & Ahmadpour, A. (2019). Modeling dynamic changes of Land Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov approach (Case study: Shiraz city). *Geographical Data*, 27(108), 137-149. [In Persian] https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625

Ghafari, S., Moradi, H.R., & Modarres, 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 Remote sensing and Geographical information system for natural Resources*, 9(1), 40-57. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_540415.html

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a Ca-Markov Model Under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10(10). https://doi.org/10.3390/su10103421

HUA, A. (2017). Application of CA-Markov Model and Land Use/Land Cover Changes in Malacca River Watershed, Malaysia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15 (4), 605-922. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1504_605622

Igué, A.M., Houndagba C.J., Gaiser, T., & Stahr, K., (2022). Accuracy of the Land Use/Cover Classification in the Oueme Basin of Benin (West Africa). *International Journal of AgriScience*, 2(2), 174-184. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20123239823

Kangabam, R.D., Selvaraj, M., & Govindaraju, M. (2019). Assessment of Land Use Land Cover Changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot Using Geospatial Techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22 (2), 137-143. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.005.

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(01), 773-783. https://cdn.usharama.edu.in/documents/civil-eng-faculty-publications/k-sundara-kumar-research-scholar.pdf

Mirakhorlo, M., & Rahimzadegan, M. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2(4), 146-158. [In Persian] https://www.magiran.com/p2062797

Misagh, N., Neysani Samani, N., & Tomanain, A. (2018). Simulation of Urban Development in Tabriz Using CA-Markov Model and Multi-criteria Decision Making. Human Geography Research, 50(1), 217-231. https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.224800.1007382

Moe, I.R., Kure, S., Januriyadi, N.F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., Koshimura, S., 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.

Mujiono, T.L., Harmantyo, D., Rukmana, I.P., & Nadia, Z. (2017). Simulation of Land Use Change and Effect on Potential Deforestation Using Markov Chain-Cellular Automata. In AIP Conference Proceedings. 1862(1), 1-9. https://doi.org/10.1063/1.4991281

Munthali, M., Botai, J., Davis, N., Ade La Abiodun, M. (2019). Muti-Temporal Analysis of Land Use and Land Cover Change Detection for Dedza District of Malawi Using Geospatial Techniques. *Applied Engineering*, 14(5), 1151-1162. http://hdl.handle.net/2263/71103.

Rasouli, A.A., Asgarova, M.M., & Safarov, S.H. (2021). Mapping of LC/LU Changes Inside the Aghdam District of the Karabakh Dconomics Region Applying Object-Based Satellite Image Analysis. *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, 3(76), 54-69. http://dx.doi.org/10.29228/jlsb.22

Rasouli, A.A., Safarov S.H., Asgarova M., Safarov E.S., & Milani M. (2021). Detection and Mapping of Green-Cover and Landuse Changes by Advanced Satellite Image Processing Techniques (A Case Study: Azerbaijan Eastern Zangezur Economic Region). *ANAS Transactions, Earth Sciences*, 2, 27-45. https://doi.org/10.33677/ggianas20220200080

Rasuly Pirouzian, A.A., Chnung,K., 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. [In Persian] https://www.researchgate.net/publication/335107512_Signifying_of_the_Urmia_Lake_changes_using_Object-Oriented_image_processing_techniques/citations

Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario-Based Simulation on Dynamics of Land-Use-Land-Cover Change in Punjab Province, Pakistan. *Sustainability*, 9(8), 1-17. https://doi.org/10.3390/su9081285

Sarabuddin Mondal, M., Sharma, N., Kappas, M., & Garg, P. (2019). CA Markov Modeling of Land Use/Land Cover Dynamics and Sensitivity Analysis, Identify Sensitive Parameters. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2 (13), 723-729. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-723-2019

Yamani, M., & Abbasi, M. (2020). Evaluation of Flooding below Gadar Catchments Based on Morphometric Parameters and Statistical Correlation. *Town and Country Planning*, *12*(1), 205-224. [In Persian] https://jtcp.ut.ac.ir/article_74823.html

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://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77058-9_36

Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgeh, H., & Bekele, B. (2017). Land Use and Land Cover Change Modeling and the Prediction of Subsequent Changes in Ecosystem Service Values in a Coastal Area of China, the Su-Xi-Change Region. *Sustainability*, 9 (1204), 2-17. https://doi.org/10.3390/su9071204.

Vol.13, No.2, Summer 2024, pp.339-371 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75260.1176 Open access

Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan watershed of Ilam province)

Saleh Arekhi*[a], Sharam Barani[b]

[a†]*Associate Professor of Physical Geography, University of Golestan, Gorgan, Iran*
[b]*MS.c Student of Environmntal Hazard, University of Golestan, Gorgan, Iran*

Received: 11 February 2022 ***Revised: 3 May 2022*** ***Accepted: 27 July 2022***

Abstract

Soil erosion is one of the most important environmental problems in the world, which has created many problems for human societies. Qualitative and quantitative assessment of erosion using experimental models for estimating erosion and sediment is one of the solutions through which soil erosion can be controlled to some extent and its amount can be minimized. The present study was conducted to compare EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment in Chamgardalan watershed of Ilam province. In this regard, the factors affecting erosion include rain erosivity, soil erodibility, topography, vegetation and soil conservation operations as well as observable erosion coefficients, rock and soil susceptibility to erosion, land use and average slope, used as a percentage used in the mentioned models and finally the amount of erosion and sediment produced was calculated according to the proposed models and compared with the amount observed in the sedimentation station of Chamgardalan watershed. The results show that the estimated sediment rate of RUSLE model was 16.37 tons per hectare per year and in the EPM method was 21.49 tons per hectare per year, which is closer to the estimated value of RUSLE. Observed sediment of 16.58 tons per hectare per year, the efficiency of RUSLE model in estimating sediment in the study area is higher. Finally, it is recommended to use the EPM model for the initial phases of justification, overview and identification studies and RUSLE method for detailed and more accurate studies of erosion and sedimentation of the watershed.

Keywords: Soil erosion, Sediment estimation, RUSLE model, EPM model, Cham Gardalan watershed, Ilam province

* .Corresponding author: Saleh Arekhi Email: S.arekhi@gu.ac.ir Tel:+989113690648

How to cite this Article: Arekhi, S., & Barani, S. (2024). Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan watershed of Ilam province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(2), 339-371.

©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 ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۷۱-۳۳۹ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2022.75260.1176 دسترسی آزاد

مقایسه مدل‌های RUSLE و EPM در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: حوضه چم‌گردلان استان ایلام)

صالح آرخی[1]- دانشیار، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکدهٔ علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

شهرام بارانی- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکدهٔ علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۵/۵

چکیده

ارزیابی کیفی و کمی فرسایش با استفاده از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب، یکی از راهکارهایی است که از طریق آن می‌توان فرسایش خاک را تا حدودی کنترل و مقدار آن را به حداقل رساند. پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه دو مدل EPM و RUSLE در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه چم‌گردلان استان ایلام انجام شده است. در این راستا، از عوامل مؤثر بر فرسایش شامل فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات حفاظت خاک و همچنین ضرایب فرسایش مشاهده‌ای، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، استفاده از زمین یا کاربری زمین، شیب متوسط زمین به درصد مورد استفاده در مدل‌های یاد شده استفاده شده و درنهایت مقدار فرسایش و رسوب تولید شده با توجه به مدل‌های ارائه شده محاسبه و با مقدار مشاهده شده در ایستگاه رسوب‌سنجی حوضه چم‌گردلان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد میزان رسوب برآوردی مدل RUSLE، ۱۶/۳۷ تن در هکتار در سال و در روش EPM، ۲۱/۴۹ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال، کارایی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه موردمطالعه بیش‌تر است. درنهایت توصیه می‌شود، برای فازهای اولیه مطالعات توجیهی، اجمالی و شناسایی از مدل EPM و برای مطالعات تفصیلی و دقیق‌تر برآورد فرسایش و رسوب حوضه از روش RUSLE بهره گرفت.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خاک، برآورد رسوب، مدل RUSLE ، مدل EPM ، حوضه چم‌گردلان، استان ایلام

[1]. نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۶۹۰۶۴۸ Email:s.arekhi@gu.ac.ir

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین عناصر طبیعت و با ارزش‌ترین بستر تولید برای بشر است. مهم‌ترین عاملی که وجود خاک را تهدید می‌کند، فرسایش است. امروزه با پیشرفت دانش و فن و با ماشینی شدن جهان روبرو هستیم که بیش از هر زمان دیگر منابع آب‌وخاک را تهدید می‌کنند، به‌صورتی که هرساله شاهد تولید میلیون‌ها تن رسوب در سراسر دنیا هستیم (Rafahi & Nemeti, 1995)، که فرسایش خاک بر اثر عامل آب بیش از ۵۶ درصد آن را شامل می‌شود (Elirehema, 2001). روش‌های اندازه‌گیری شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز شامل روش‌های تجربی، روش‌های ریاضی و نمونه‌برداری رسوب است (Galal, Hegazy, & Alghailani, Bahrawi, Elhag, Aldhebiani 2016) روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در ایران شامل معادله جهانی تلفات خاک (USLE)[1] (Wischmeier & Smith, 1978)، معادله اصلاحی تلفات خاک (MUSLE)[2] (Ferro, Giordano, & Lovino, 1991)، یا معادله تغییر یافته تلفات خاک (RUSLE)[3] (Renard, Foster, Weesies, McCool, & Yoder, 1997) و EPM[4] (Gavrilovic, 1988) مهم‌ترین این روش‌ها می‌باشند.

در زمینه کاربرد مدل‌های فرسایش در دنیا تحقیقات متعددی صورت گرفته که در ادامه به برخی اشاره می‌گردد.(Milevski (2008 و Tazioli (2009) به مناسب بودن روش EPM در برآورد فرسایش اشاره نمودند. Bahrawi et al.(2016) در بررسی خطر فرسایش در عربستان سعودی، تکنیک‌های سنجش‌ازدور و مدل RUSLE را تکنیک مناسبی جهت برآورد رسوب اعلام نمودند. Boggs, Devonport, Evans & Puig (2001)، خطر فرسایش خاک را بر اساس مدل تجدید نظر شده RUSLE و با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع[5] و نقشه واحدهای زمین برآورد نمودند. Bartsch, Van MiegroetBoettinger, & Dobrwolski (2002)، برای محاسبه فاکتورهای مورد نیاز RUSLE جهت تعیین خطر فرسایش خاک کمپ ویلیامز، از تکنیک‌های GIS استفاده نمودند. بوگیو[6] و همکاران (۲۰۱۷) فرسایش خاک را در زمان بارندگی‌های طبیعی در شیب‌های با طول متفاوت بر روی خاک لخت اندازه‌گیری کرده و نتایج آن را با مقادیر تخمینی USLE و RUSLE مقایسه کردند. نتایج نشان داد مقادیر تخمینی بخصوص در مدل USLE کمتر از هدر رفت خاک اندازه‌گیری شده بود.

در ایران نیز (Amiri, Arzani, Farahpour, Chaeichi, & Khajeh Aldin (2009، Moradi, Ghonchepour, Nohegar, & Mahmoudi Nejad (2012) در مقایسه مدل EPM و MPSIAC در مناطق خشک ایران اذعان

---

[1]- Unversal soil Loss equation
[2] - Modified Unversal soil Loss equation
[3] - Revised Unversal soil Loss equation
[4] - Erosion Potential Model
[5] - DEM
[6] -Bagio et al

نمودند، مدل MPSIAC دچار پیش‌برآورد و EPM دچار کم‌برآورد در محاسبه نرخ فرسایش و رسوب ویژه می‌گردد و به ترتیب مدل بدبینانه و خوش‌بینانه قلمداد می‌شوند. Ansari Lari, & Ansari, (2017) و Noori, Siadatmousavi, & Mojaradi, (2017) در بررسی مدل EPM، مدل فوق را مدل مناسبی برای برآورد فرسایش معرفی نمودند. Vaezi, Abasi, & Abd Haji Maleki (2017). مدل RUSLE همراه شده با سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی را در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه‌خشک شمال غربی ایران ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، میانگین هدر رفت خاک برآوردی ٤٣/٦٨ تن در هکتار در سال بود که ٦/٥٨ برابر بیشتر از میانگین رسوب سالانه (٨/٦٧ تن در هکتار در سال) در عرصه‌های زهکش بود. (Mokhtari, Shafiei, & Rahmani, 2019) میزان فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE در حوضه آبریز نورآباد ممسنی برآورد کردند. نتایج نشان داد میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه بر حسب تن در هکتار در سال از ٨ تا ٧٥ متغیر است. Azimi Sardari, Bazrafshan, Panagupulus, & Rafiei Sardoei (2019). در مطالعه‌ای حال و آینده مقدار فرسایش خاک را در حوضه آبریز سد استقلال میناب با بهره‌گیری از مدل RUSLE-3D و سناریوهای تغییر اقلیم ارزیابی کردند. نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش در آینده نشان دهنده افزایش آن از ١٤٦/٧ میلی‌متر به ١٧٨/٦١ میلی‌متر در دوره آینده و به‌تبع آن افزایش عامل فرسایندگی باران (R) و درنتیجه افزایش نرخ فرسایش خاک در حوزه سد استقلال میناب است. شرایط سطح خاک مانند پوشش گیاهی، زبری و پوشش قطعات سنگی تأثیر مهمی بر روی نرخ نفوذ، فرسایش و رواناب دارد (Nouwakpo, Williams, Al- Hamdan, Weltz, Pierson, & Nearing, 2016).

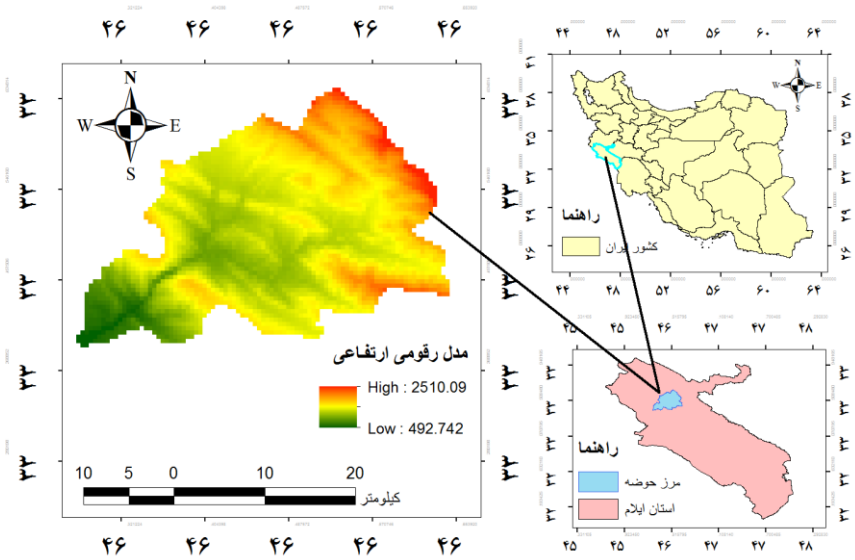
حوضه آبخیز چم‌گردلان ایلام نیز یکی از مناطقی است که متحمل فرسایش فزاینده خاک است و بررسی فرسایش و بار رسوب در آن به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب شرب شهر ایلام از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، جلوگیری از این فرسایش، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حفاظت از منابع طبیعی به شمار می‌رود (Morgan, 1995). در خصوص مطالعات و تحقیقات انجام شده در حوضه چم‌گردلان ایلام می‌توان به رساله کارشناسی ارشد Azami (2001) تحت عنوان تعیین روش مناسب برآورد بار معلق رسوبی در حوضه سد چم‌گردلان ایلام، تخمین فرسایش و رسوب با استفاده از روش‌های کیفی ژئومورفولوژیکی (واحدهای کاری) و EPM و مقایسه آن با آمار خروجی رسوب در حوضه سد چم‌گردلان ایلام Shahbazi (1999)، Asgari, Servati, & Jafari (2008) تحت عنوان برآورد فرسایش و رسوب حوضه سد ایلام با استفاده از مدل MPSIAC اشاره کرد.

در دهه‌های اخیر مخاطرات محیطی اعم از طبیعی و انسانی مانند فرسایش خاک ازجمله مسائلی است که در سطح جهان و ایران با آن روبرو هستند و سالانه هزینه‌های کلانی هم متحمل می‌شوند. ازاین‌رو، ابتدا مخاطرات محیطی از قبیل فرسایش خاک و تولید رسوب باید شناسایی شوند تا مدیران مربوطه با اطلاعات

کامل و دقیقی برای مدیریت و کنترل آن، برنامه‌ریزی مناسبی انجام دهند. ازآنجایی‌که مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب به‌عنوان ابزاری در راستای شناخت اولویت‌های فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز هستند و مدل‌های EPM و RUSLE بیشترین کاربرد را در مطالعات و تحقیقات آبخیزداری دارد، لذا ارزیابی صحت، دقت و نحوه پراکنش طبقات فرسایش و رسوب حاصل از آن‌ها در سطح حوضه می‌تواند کمک مؤثری در نتیجه‌گیری بهتر از مدل‌ها و به‌کارگیری نتایج آن‌ها در پیشگیری از وقوع مخاطرات زیست-محیطی، اولویت‌بندی مناطق برای اقدامات اجرایی و برنامه‌های حفاظتی داشته باشد که در این زمینه مطالعات زیادی انجام نشده است، لذا هدف از تحقیق فوق، برآورد فرسایش و میزان رسوب در حوضه آبخیز چم-گردلان با استفاده از مدل‌های EPM و RUSLE، مقایسه برآورد این مدل‌ها با آمار رسوب مشاهده‌ای، بررسی راستی آزمایی و اعتبارسنجی دو مدل نسبت به مقدار واقعی و درنهایت معرفی مدل کارآمد در برآورد رسوب در حوضه آبخیز موردمطالعه است.

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز چم‌گردلان در جنوب شرقی شهرستان ایلام در موقعیت بین "۳۰ '۱٦ °٤٦ تا "۳۳ '٤۰ °٤٦ طول شرقی و "۳۲ '۲۳ °۳۳ تا "۵۱ '٤۰ °۳۳ عرض شمالی قرار دارد. مهم‌ترین آبراهه اصلی در این حوضه رود کنجانچم (چم‌گردلان) است که از اتصال دو رود چاویز و گل‌گل با آبراهه متقاطع تشکیل شده است و سد ایلام نیز در محل رودخانه کنجانچم (چم گردلان) احداث شده است (Asgari, Servati, & Jafari, 2008). سد مخزنی ایلام، مهم‌ترین منبع تأمین آب شرب شهر ایلام و روستاهای اطراف می‌باشد و بند انحرافی امیرآباد در خروجی حوضه و همچنین نیاز به منابع آبی فراوان در منطقه به علت وجود شهرستان مهران و اراضی زراعی مرغوب استان در این منطقه در برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی و اجتماعی آینده این دو شهرستان نقش بسرایی خواهند داشت. این حوضه برروی سازندهای سست زمین‌شناسی دوران سوم قرار گرفته، از فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار است (شکل ۱) (Asgari, Servati, & Jafari, 2008).



شکل۱موقعیت کشوری و استانی محدوده موردمطالعه

Fig.1. National and provincial situation of the study area

۳- مواد و روش‌ها

در انجام این تحقیق از مواد زیر با توجه به موضوع، ماهیت تحقیق و روش بکار رفته استفاده شده است:

الف- آمار و اطلاعات موجود شامل داده‌های هواشناسی، نقشه‌های خاکشناسی، قابلیت اراضی خاک از منطقه موردمطالعه در ارتباط با موضوع تحقیق مشتمل بر داده‌ها و اطلاعات مربوط به سازمان هواشناسی و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور جمع‌آوری گردید.

ب- DEM حوضه آبخیز با پیکسل سایز ۳۰×۳۰ به‌عنوان نقشه پایه

ج- نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه سنگ‌شناسی و وضعیت سازند منطقه

د- تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI (به تاریخ ۱۳۹۸/۵/۱۵) از سایت Earth explorer جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه.

ه- بسته‌های نرم‌افزاری،ENVI5.3، ILWIS3.3 و Excel جهت تجزیه‌وتحلیل و استخراج اطلاعات و نقشه‌های پایه.

در این پژوهش از نرم‌افزار ArcGIS10.3 جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط به آن؛ ENVI5.3 جهت استخراج و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و Excel جهت به دست آوردن روابط رگرسیونی معادلات بهره-گیری شده است.

روش تحقیق

RUSLE

مدل RUSLE، یک مدل آماری بر پایه فرسایش آبی است که با شش فاکتور فرسایشی زیر رابطه دارد (Wischmeier & Smith, 1978):

$$A=R.K.L.S.C.P \qquad (۱)$$

در این رابطه، A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R فاکتور فرسایندگی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال)، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) فاکتور طول شیب، S فاکتور درجه شیب، C فاکتور عملیات مدیریتی و پوشش و نهایتاً P فاکتور عملیات حفاظتی می‌باشد. مقادیر L، S،C و P بدون واحد می‌باشند. در این پژوهش، روش بررسی کلی شامل استفاده از مدل RUSLE در محیط GIS می‌باشد. پاراگراف‌های بعدی نیز درباره نحوه برآورد فاکتورهای R،K،C،P و LS که به ترتیب از داده‌های بارش، نقشه‌های خاک، پردازش تصاویر ماهواره‌ای (فاکتورهای C و P) و مدل رقومی ارتفاعی به دست می‌آیند، توضیح می‌دهد.

فاکتور فرسایندگی باران (R)

فرسایندگی باران به‌صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود (Lal, 1990). معمول‌ترین شاخص فرسایندگی باران، فاکتور R مربوط به مدل‌های USLE (Yu & Rosewell, 1996) و RUSLE (Renard & Freimund, 1994) می‌باشد. بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا، فاکتور Rهمبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد. فاکتور R برای دوره‌های مختلف، از حاصل‌ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I30) به دست می‌آید. ازآنجایی‌که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به‌ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، غالباً از مقادیر متوسط بارندگی سالیانه و ماهیانه، جهت برآورد فاکتور R در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود. برای محاسبه فاکتور R، بعد از تعیین ایستگاه‌های شاخص در منطقه موردمطالعه، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی موردمطالعه بازسازی گردید (بر اساس اطلاعات ایستگاه ایلام که کامل‌ترین و بیشترین آمار را داشته است). در مرحله بعد با استفاده از معادله ذیل، شاخص فورنیر و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها به دست آمد. رابطه شاخص فورنیر،F، به‌صورت ذیل است:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \qquad (۲)$$

در این معادله، pi متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این مطالعه، با استفاده از معادله (۲)، شاخص فورینر برای تمامی ایستگاه‌ها، محاسبه گردید و سپس با جایگذاری

شاخص فورنیر (رابطه ۲) در روابط زیر که توسط Renard & Freimund (1994) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد.

اگر F<55 mm $$R-factor = (0.07397 \times F^{1.847}/17.2 \quad (۳)$$

اگر F>=55 mm $$R-factor = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^{2}/17.2 \quad (٤)$$

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، سرعت فرسایش‌پذیری خاک به ازای واحد شاخص فرسایش باران است که در پلات استاندارد اندازه‌گیری می‌شود و اغلب با استفاده از خصوصیات خاک تعیین می‌شود. اگرچه فاکتور K با بافت خاک، میزان ماده آلی خاک، نفوذپذیری و سایر فاکتورها رابطه دارد، اما عمدتاً با نوع تیپ خاک همبستگی بالایی دارد. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در مدل RUSLE از طریق نوموگراف تعیین می‌شود. این نوموگراف متشکل از پنج پارامتر پروفیل خاک می‌باشد. رابطه جبری این نوموگراف به‌صورت ذیل است:

$$K = 2.73 \times 10^{-6} m^{1.14}(12-a) + 3.25 \times 10^{-2}(b-2) + 2.5 \times 10^{-2}(c-3)$$

در این معادله، M قطر ذره (درصدسیلت + درصد شن خیلی ریز)×(درصد رس- ۱۰۰)،a درصد ماده آلی، b کد ساختمان خاک و c کلاسه نفوذپذیری پروفیل خاک می‌باشند. در این مطالعه، تمام پارامترهای اشاره شده در بالا از گزارش تفصیلی حوضه آبخیز چم‌گردلان ایلام استخراج و نقشه فاکتور K در محیط GIS تهیه شد.

فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S)

فاکتورهای L و S در مدل RUSLE، تأثیر توپوگرافی را بر روی فرسایش خاک نشان می‌دهد. ثابت شده که افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (Haan, Barfield, & Hayes, 1994) و از اینها گذشته فرسایش خالص خاک نسبت به تغییرات در درجه شیب در مقابل طول شیب حساس‌تر است (McCool, Brown, & Foster, 1987). طول شیب فاصله بین نقطه بالایی آغاز سراشیبی تا نقطه‌ای است که شیب به حداقل خود می‌رسد و در این نقطه رسوبات ته‌نشین می‌شوند. تأثیرات ویژه توپوگرافی روی فرسایش خاک توسط فاکتور LS (بدون واحد)(طول شیب (L) و درجه شیب (S) برآورد می‌شود. برای محاسبه فاکتورهای L و S از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود(Moore & Wilson, 1993):

$$L = 1.4[\frac{A_s}{22.13}]^{0.4} \quad (٦) \qquad S = [\frac{\sin\beta}{0.0896}]^{1.3} \quad (۷)$$

در این معادله As مساحت دامنه بالادست در واحد عرض خطوط توپوگرافی (m^2/m) و β زاویه شیب برحسب درجه است. در این مطالعه، نقشه فاکتور LS از نقشه DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متر از وب سایت

سازمان نقشه‌برداری امریکا به آدرس http://earthexplorer.usgs.gov دانلود و با استفاده از اکستنشن TOPOCROP آرک‌جی‌آی اس ۱۰.۳ استخراج شد که براساس کار Moore & Wilson(1993) توسعه یافته است.

فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C)

فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های کاشتی در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی روی کاهش فرسایش خاک می‌باشد. با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد. Benkobi, Trlica, & Smith (1994) و Biesemans, Meirvenne, & Gabriels (2000) گزارش کردند، فاکتور پوشش گیاهی به همراه درجه شیب و طول شیب در فرسایش خاک و تولید رسوب حساسیت بیشتری دارند. در مدل RUSLE، فاکتور پوشش گیاهی (C)، معمولاً بر اساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد. اما پرکاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به دست می‌آید. برای تصویر لندست این شاخص به‌صورت ذیل به دست می‌آید:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR-IR}}{\mathrm{NIR+IR}} \qquad (۸)$$

این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر NDVI بین ۱- و ۱+ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری‌شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می‌شود. پوشش گیاهی سالم (دارای فعالیت فتوسنتزی) در بخش طیفی مادون‌قرمز نزدیک (NIR) (باند ۵ لندست) در مقایسه با بخش طیف مرئی (قرمز، باند ٤ لندست) انعکاس بیشتری دارد. بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی از قبیل مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین ۰/۱+ و ۰/۱- را نشان می‌دهند. ابرها و منابع آبی مقادیر منفی یا صفر را نشان می‌دهند. شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای محاسبه داده‌های طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، همبستگی بالایی با زیست‌توده سطح زمین دارد. بعد از انجام تبدیل خطی معکوس از نمونه‌های تعلیمی، رابطه بین C و NDVI می‌تواند به‌صورت زیر ایجاد گردد(Lin, 1997):

$$\mathrm{C} = (1 - \mathrm{NDVI})/2 \qquad (۹)$$

درنتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند موردمحاسبه قرار گیرد.

فاکتور عملیات حفاظتی (P)

در این مطالعه، مقادیر فاکتور P از طریق طبقه‌بندی مجـدد هـر تیپ پوشش زمین و بر اساس مقادیر داده شده در جدول‌های ۱ و ۲ تعیین شدند (Deore, 2006). با توجه به اینکه در حوضه تحت بررسی هیچ‌گونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته، ارزش P تنها براساس کاربری و پوشش اراضی مختلف تعیین شده است (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- ارزش P برای کاربری و پوشش اراضی مختلف (Deore, 2006)

Table 1- P value for different land use and coverage

کلاس کاربری/پوشش اراضی	ارزش عددی P
اراضی بایر	۱
نیشکر	۰/۱۲
گندم	۰/۱
جنگل تنک	۰/۸
اراضی آیش	۱
جنگل با تراکم متوسط	۰/۸
جنگل باز	۰/۸
بستر رودخانه	۱

جدول ۲- ارزش P برای عملیات حفاظتی مختلف (Deore, 2006)

Table 2- P value for different protective measurement

شیب (درصد)	ارزش عددی P			
	کشت روی خطوط تراز	کشت نواری	تراس‌بندی	بدون اقدامات حفاظتی
۰-۱	۰/۸	-	-	۱
۱-۲	۰/٦	۰/۳	-	۱
۲-۷	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱	۱
۷-۱۲	۰/٦	۰/۳	۰/۱۲	۱
۱۲-۱۸	۰/۸	۰/٤	۰/۱٦	۱
۱۸-۲٤	۰/۹	۰/٤۵	۰/۱٦	۱

محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR)

در این مطالعه، سه روش بر اساس مساحت (USDA,1975؛ Boyce, 1975؛ Vanoni, 1975) به‌منظور محاسبه نقشه نسبت تحویل رسوب مورد استفاده قرار گرفتند. معادلات مربوط به این سه روش به شرح زیر می‌باشد:

۱- مدل وانونی (ارائه شده در سال ۱۹۷۵) به شرح رابطه ۱۰

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \quad (۱۰)$$

که A = مساحت حوضه (کیلومترمربع)

۲- مدل ارائه شده توسط USDA در سال ۱۹۷۲ به شرح رابط ۱۱

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \quad (۱۱)$$ که A = مساحت حوضه (کیلومترمربع)

۳- مدل بویس (۱۹۷۵) که به شرح رابطه ۱۲ است

$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \quad (۱۲)$$ که A = مساحت حوضه (کیلومترمربع)

مدل EPM

در روش EPM چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبخیز (ψ)، ضریب استفاده از زمین (Xa)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه (I) در واحدهای همگن موردبررسی قرار گرفت. در هر یک از واحدهای همگن بر اساس این چهار عامل، مقدار (Z) یا ضریب شدت فرسایش از رابطه ۱۳ محاسبه گردید (Gavrilovic, 1988).

$$Z = Y.Xa(\psi + I^{0.5}) \quad (۱۳)$$ که در آن

Y : عامل حساسیت خاک و سنگ به فرسایش

Xa : عامل استفاده از زمین

Ψ : عامل فرسایش

I : عامل شیب زمین به درصد

با محاسبه ضریب شدت فرسایش و قرار دادن مقدار آن در جدول استاندارد (جدول ۳) (Gavrilovic, 1988) که بر اساس شدت فرسایش و ضریب شدت فرسایش (Z) تنظیم شده است، طبقه فرسایشی هر یک از واحدهای همگن مشخص می‌شود.

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت فرسایش

Table 3- Erosion intensity classification

کلاس فرسایش	شدت فرسایش	محدوده Z	مقدار متوسط Z
V	خیلی شدید	>۱	۱/۲۵
IV	شدید	۱ > Z >۰/۷۵	۰/۸۵
III	متوسط	۰/۷ > Z >۰/٤۱	۰/۵۵
II	کم	۰/٤ > Z >۰/۲	۰/۳
I	خیلی کم	Z < ۰/۱۹	۰/۱

در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه که در حقیقت میزان فرسایش را در واحد سطح (هکتار یا کیلومترمربع) حوضه را نشان می‌دهد، از رابطه ۱٤ استفاده می‌شود.

$$W_{SP} = \mathrm{T.H.\pi.Z^{1.5}} \qquad (۱٤)$$

که در آن:

H: بارندگی متوسط سالانه به میلی‌متر، Π: عدد ثابت پی برابر با ۳/۱٤

T: ضریب درجه حرارت که از رابطه ۱۵ به‌دست می‌آید (Gavrilovic, 1988):

$$\mathrm{T} = (\frac{\mathrm{t}}{10} + 0.1)^{0.5} \qquad (۱۵)$$

که در آن:

t= میانگین درجه حرارت سالانه در حوضه به درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بعد از محاسبه فرسایش ویژه، مقدار فرسایش سالانه برای حوضه موردمطالعه با استفاده از رابطه ۱٦ محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{W_s = W_{sp} \times A} \qquad (۱٦)$$

که در آن

w_s : فرسایش کل حوضه بر حسب مترمکعب در سال،

A: مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع

w_{sp}: محاسبه شده در رابطه فوق بیانگر مقدار خاکی است که از بستر خود جدا کرده و انتقال یافته است؛ اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد، بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که در واقع بر نسبت رسوب‌دهی حوضه تأثیر می‌گذارند. در این مدل از ضریبی برای تبدیل میزان فرسایش به رسوب استفاده می‌شود که ضریب رسوب-دهی حوضه نامیده می‌شود.

محاسبه ضریب رسوبدهی حوضه

با اعمال این ضریب معین می‌شود که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی حوضه خارج خواهد شد. ضریب رسوب‌دهی در روش EPM براساس رابطه ۱۷ (Gavrilovic, 1988) و با استفاده از عواملی مثل محیط و ارتفاع و طول حوضه به دست می‌آید:

$$\mathrm{Ru} = 4 \times (\mathrm{O} \times \mathrm{D})^{0.5}/[\mathrm{L} + 10] \qquad (۱۷)$$

که در این رابطه:

Ru: ضریب رسوب‌دهی حوضه، O: محیط حوضه، به کیلومتر، L: طول حوضه آبخیز، کیلومتر، D: اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط و ارتفاع نقطه خروجی حوضه، به کیلومتر که از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$D = D_{av} - D_O \quad (۱۸)$$

که در این رابطه:

D_{av}: ارتفاع متوسط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

D_o: ارتفاع نقطه خروجی در رودخانه بر حسب کیلومتر است؛ بنابراین مقدار D را پس از محاسبه، در رابطه ۵ قرار داده و ضریب رسوب‌دهی حوضه محاسبه می‌شود. سپس رسوب ویژه از رابطه ۱۹ محاسبه می‌شود (Gavrilovic, 1988).

$$Gsp = Wsp \times Ru \quad (۱۹)$$

که در این

Gsp : تولید رسوب ویژه، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال

Wsp : فرسایش ویژه، بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال

Ru : ضریب رسوب‌دهی حوضه که از رابطه ۱۷ به دست می‌آید (Gavrilovic, 1988)

و درنهایت رسوب کل حوضه از رابطه ۲۰ محاسبه می‌شود:

$$G_s = G_{sp} \times A \quad (۲۰)$$

که در این رابطه:

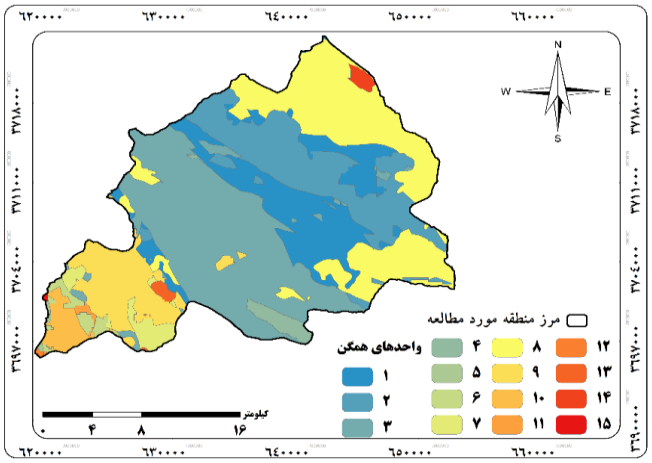
G_s : رسوب کل بر حسب مترمکعب در سال در حوضه،

A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومترمربع می‌باشد.

در این تحقیق برای برآورد شدت فرسایش و پتانسیل رسوبدهی حوضه آبخیز موردمطالعه از روش EPM و تکنیک GIS استفاده شده است. بعد از وارد کردن نقشه‌ها به محیط نرم‌افزار ArcGIS و زمین مرجع کردن آن‌ها، لایه‌های مورد نیاز رقومی و پایگاه اطلاعاتی برای آن‌ها ایجاد شد. سپس با استفاده از مدل EPM، عوامل مؤثر در فرسایش در واحدهای همگن (شکل ۲) ارزیابی و امتیازبندی شد. در این روش که در حقیقت ضریب شدت فرسایش است، چهار عامل ضریب فرسایش حوضه (ψ)، ضریب استفاده از زمین یا کاربری اراضی (Xa)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه آبخیز (I) در واحدهای همگن و درنهایت در کل حوضه موردمطالعه قرار گرفت. در هریک از واحدهای همگن، بر اساس چهار عامل فوق، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش، متوسط سالانه فرسایش ویژه، فرسایش کل، رسوب ویژه و رسوب کل تولید شده در طول سال در سطح واحدهای همگن و بالاخره در کل حوضه آبخیز محاسبه گردیده است.

همان‌طور که ذکر شد، برای سهولت و دقت کار در به دست آوردن میزان فرسایش و تولید رسوب، ابتدا کل حوضه آبخیز چم‌گردلان، به واحدهای همگن تقسیم شد (۱۵ واحد همگن). سپس عوامل مؤثر در تولید

رسوب در هر یک از واحدهای همگن موردمطالعه قرار گرفت. در مرحله آخر، میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از فرمول‌ها و ضرایب مربوطه به دست آمد که در زیر به بررسی هر یک از عوامل چهارگانه خواهیم پرداخت.



شکل ۲- واحدهای همگن

Fig.2. Homogeneous units

ارزیابی کارایی مدل‌ها

ارزیابی دقت مدل برای اطمینان از صحت برآوردها ضروری است. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از داده‌های برآوردی رسوب و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوضه انجام گرفت. همچنین کارایی مدل که اغلب برای کالیبراسیون، صحت سنجی و برآورد دقت مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد از رابطه زیر تعیین شد (رابطه ۲۱). پس از برآورد رسوبات توسط مدل مذکور، برای ارزیابی کارایی مدل بکار رفته از رابطه زیر استفاده گردید.

$$R_E = (|S_O - S_E|/S_o) \times 100 \qquad (۲۱)$$

R_E=درصد خطای نسبی مدل،

S_O= مقدار رسوب مشاهده‌ای،

S_E= مقدار رسوب برآوردی

مقدار R_E بیانگر میانگین انحراف است که می‌تواند مثبت یا منفی باشد. به‌بیان‌دیگر مشخص می‌کند که مدل، متغیر موردنظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند. از نظر تئوری هرگاه این دو مقدار برابر با صفر شوند، نمایانگر این مطلب است که دقت روش صد در صد بوده و مقدار برآورد شده یک کمیت، دقیقاً برابر با مقدار واقعی آن است.

نتایج و بحث

مدل RUSLE

شاخص‌های فورنیر و مقادیر فرسایندگی باران با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (٤) برای ۱۸ ایستگاه در طی دوره آماری ۲۲ ساله (۱۳۷٦–۱۳۹۸) محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده شاخص فورنیر و فاکتور R در جدول ٤، نشان داده شده است. ابتدا بر اساس رابطه بین ارتفاع و بارش و سپس بر اساس رابطه بارش و فاکتور R، نقشه فاکتور R حوضه چم‌گردلان در محیط نرم‌افزار ILWIS3.3 به دست آمده است (شکل ۳). مقدار متوسط فاکتور R از ۱۳٦ تا ۳۹٦ (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال) متغیر بوده و مقدار متوسط و انحراف معیار آن به ترتیب ۲٦٤ و ٤٤ (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال) می‌باشد. فرسایندگی باران در شمال‌شرقی و جنوب‌غربی حوضه موردمطالعه که ارتفاع بالاتری داشتند بیش‌تر بوده که با رنگ قرمز نشان داده شده است یا به‌عبارت‌دیگر، کاهش ارتفاع و باران رابطه مستقیمی با کاهش فاکتور R دارد و از شمال–غرب و جنوب‌غرب به مرکز حوضه داشته است.

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

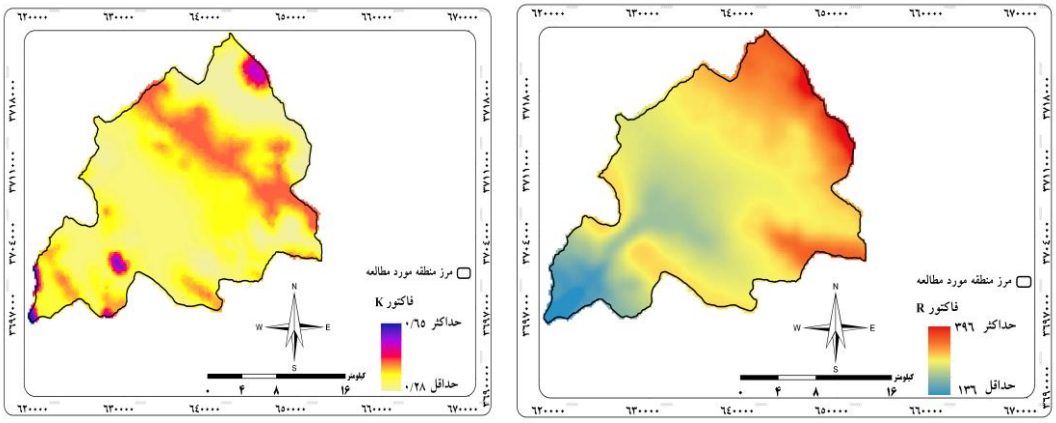
جهت محاسبه فاکتور K اطلاعات مورد نیاز از نقشه‌های تفصیلی حوضه چم‌گردلان و لایه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی استفاده شده که متوسط مقدار K در حوزه موردمطالعه بین ۰/۲۸ تا ۰/٦٦ متغیر بوده میانگین و انحراف معیار آن به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۰۵ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد. شکل ٤ توزیع مکانی فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد.

جدول ٤– محاسبه و برآورد F و R برای ایستگاه‌های بارندگی

Table 4- Calculation and estimation of F and R for rainfall stations

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	F	R مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال
ارکواز	٦٤٨٤٧٨	۳٦۹۵۸۱۹	۱۲۹۰	٦٤۳/۵۰	۱۱٦/۵٤	۳٤۱/۰۲
صالح‌آباد	٦۱۰٤۰۸	۳۷۰٤۱۲۹	٦۲۰	۳٦۳/۷۰	۸۷/٦۳	۱۸۷/۵۵
سراب کلان	٦۵۹۳۷۹	۳۷۱٦۲۷۰	۹۷۰	٤۸۱	۸۷/۱۷	۱۸۵/٤٦
شهید طالقانی	٦۵۱۹۰۰	۳٦۹۲۵۸۰	۱٤۰۰	٤۷۷/۹۰	۸۱/۳۱	۱٦۰/۱۸
طولاب	٦٤۷۰٤۹	۳۷۱۳۸۸٦	۱٦۰۰	۵۲۲/۵۰	۹٦/۸٦	۲۳۱/۵۱
قلندرعلیا	٦۵۱۰۱۰	۳۷۲۳۹٦٦	۱۰٤۵	٤۹۹/۵۰	۸۷/٤۸	۱۸٦/۸۸
میشخاص	٦٤۲۸۰٤	۳۷۰۸٦۳٦	۱۲۵۰	۵۹۰/۲۰	۱۱۲	۳۱۳/۸۳

کارزان	٦٤١٨٦٠	٣٧٣٣٦١٧	١٢٨٠	٤٩٤	٨٥/٨٦	١٧٩/٦٣
گناباد	٦٤٣٣٠٧	٣٦٨٠٤٥٩	٨٦٠	٤٧٤	٨٦/٧٤	١٨٣/٥٥
درگه	٦٤٧٣٤٤	٣٦٨٦٩٦٩	١٣٠٠	٧٤٧/٤٠	١٢٠/٢٨	٣٦٤/٢٨
قجر	٦٣٨٧٦٨	٣٧١٥٥٥٤	١٤٨٠	٤٧٧/٧٠	٨٩/٥٤	١٩٦/٢٥
بان رحمان	٦٢٦٣٥٥	٣٦٦٩٩٨١	٢٩٠	٢٨٨/٧٠	٥٨/١٨	٧٨/٨٦
سیاه آب	٦٣٩٠٩٠	٣٦٨٩٩٨٤	١٢٢٠	٤٨٦	٩٣/٧٢	٢١٦/٠٤
گل گل	٦٣٧٧٣٦	٣٧٠٣٨٢٦	١١٤٠	٥٩٧	١١٠/٩٠	٣٠٧/٤٤
گلان	٦١٧٤٧١	٣٦٩٨٥١٤	٥٦٠	٣٤٤/٧٠	٧٧/١١	١٤٣/٢٠
ایلام	٦٣٣٠١٣	٣٧١٦٨٧٩	١٣٣٧	٥٩٧/٧٠	١١١/٤٤	٣١٠/٥٥
مهران	٦٠٨٧١٣	٣٦٦٥١٠٦	٢٠٠	٢٣١	٦٤/٣٠	٩٧/٤٨
اما	٦٣٣٢١٤	٣٧٠٢٠٩٤	١٠٩٠	٥١١/٥٠	٩٦/٧٢	٢٣٠/٨٣



شکل ۳- نقشه عامل فاکتور R

Fig.3. R factor factor map

شکل ٤- نقشه فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

Fig.4.Map of Soil erodibility factor (K)

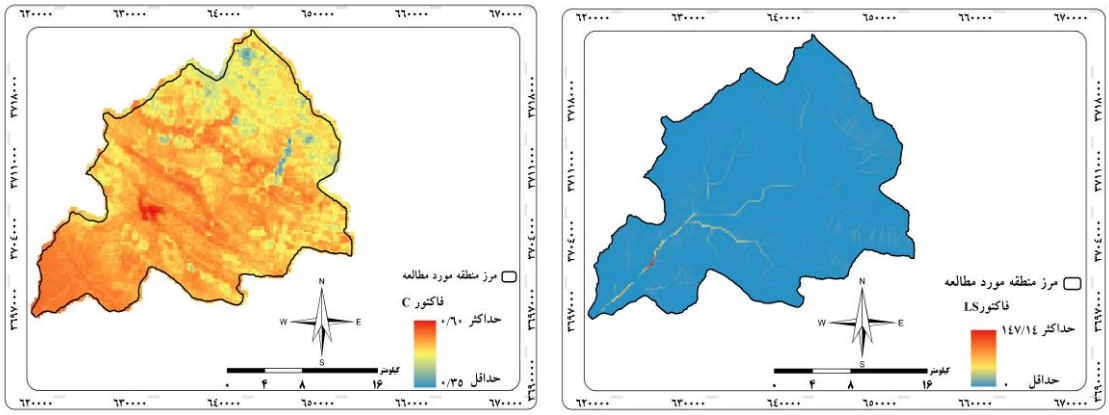
فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S)

نقشه توپوگرافی منطقه موردمطالعه به‌منظور ایجاد طول شیب و درجه شیب (LS) مورد استفاده قرار گرفته است. فاکتور LS به‌وسیله معادله‌های مربوطه با استفاده از نقشه DEM حوضه و با در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و تجمع جریان آب محاسبه شد. همان‌طور که از شکل ٦ برمی‌آید، فاکتور LS در

منطقه موردمطالعه بین ۰ تا ۱٤۷ در سطح پیکسل متغیر بوده و مقدار متوسط آن ۲ می‌باشد. مقادیر LS در بعضی از مناطق با شیب‌های تند مانند رودخانه‌ها و یال‌ها بیش‌تر است.

فاکتور مدیریت پوشش (C)

نقشه فاکتور C براساس NDVI تهیه گردید (شکل ٦). در حقیقت این فاکتور به‌طور کامل، رابطه معکوس با NDVI دارد. مقدار فاکتور C بین ۰/۳۵ تا ٦۰ /۰ متغیر است و متوسط آن ۰/۵۱ می‌باشد. نقشه فاکتورC نشان می‌دهد این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی حداکثر است و کمترین مقدار آن در مناطقی است که پوشش متراکم وجود دارد که با رنگ روشن‌تر نشان داده شده است.



شکل ۵ نقشه فاکتور طول شیب و درجه شیب (LS)

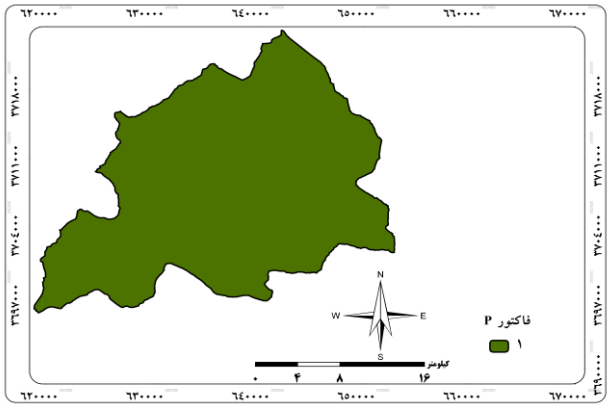
Fig.5. Map of Slope length factor and slope degree (LS)

شکل ٦ نقشه مدیریت پوشش، فاکتور (C)

Fig.6. Coverage Management Map, Invoice (C)

- فاکتور عملیات حفاظتی (P)

با توجه به اینکه در حوضه تحت بررسی هیچ‌گونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته، فاکتور عملیات حفاظتی (P)، یک در نظر گرفته می‌شود (شکل ۷). آمار مربوط به فاکتورهای R، K،LS، C و P در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۷- نقشه عملیات حفاظتی فاکتور (P)

Fig.7. Map of factor protection operations (P)

جدول ۵- آمار مربوط به فاکتورهای معادله RUSLE در حوضه چم‌گردلان ایلام

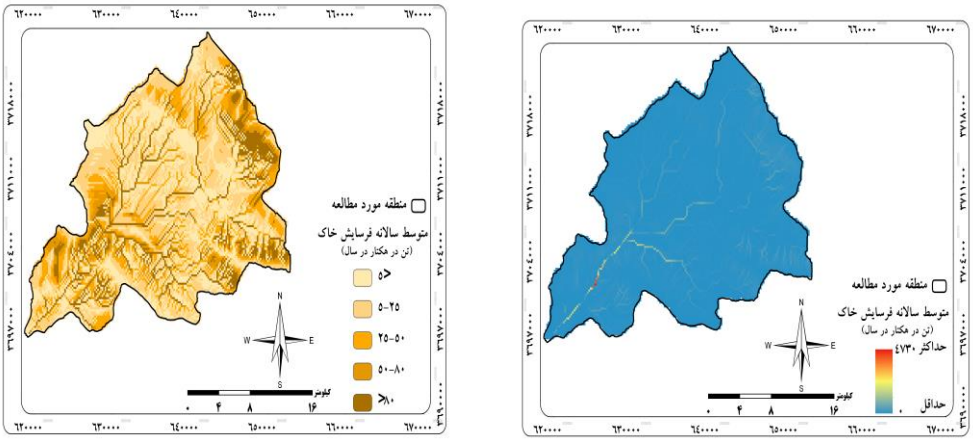
Table 5- Statistics related to the factors of the RUSLE equation in the Cham-Gardlan basin of Ilam

	فاکتور R	فاکتور K	فاکتور LS	فاکتور C	فاکتور P
حداقل	۱۳۶	۰/۲۸	۰	۰/۳۵	۱
حداکثر	۳۹۶	۰/۶۶	۱۴۷	/۶۰	۱
میانگین	۲۶۴	۰/۳۵	۲	۰/۵۱	۱
انحراف معیار	۴۴	۰/۰۵	۹	۰/۰۳	۰

فرسایش سالانه خاک

متوسط فرسایش سالیانه خاک به‌وسیله ضرب کردن فاکتورهای فرسایندگی (R)، فاکتور فرسایش‌پذیری (k)، فاکتور توپوگرافی (LS)، فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) و فاکتور عملیات حفاظتی (P) در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 محاسبه شد. نقشه به دست آمده از این مدل، در شکل ۸ نشان داده شده است. مقادیر فرسایش خاک در منطقه موردمطالعه بین صفر و ۴۷۳۰ تن در هکتار در سال تعیین شد. در مرحله بعد نقشه فرسایش سالانه خاک به ۵ کلاس خطر طبقه‌بندی شده است (شکل ۹). مقادیر فرسایش خاک در منطقه موردمطالعه بین صفر(بدون فرسایش) تا ۴۷۳۰ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می‌باشد. متوسط و انحراف معیار آن نیز به ترتیب برابر با ۸۶/۵۰ و ۳۴۶/۰۰ تن در هکتار در سال تعیین شد. نقشه به دست آمده از این مدل، در شکل ۸ نشان داده شده است. در مرحله بعد نقشه فرسایش سالانه خاک به ۵ کلاس خطر طبقه‌بندی شده است (شکل ۹) (Yue-Qing, Shao, & Kong, 2008). فراوانی هر یک از کلاس‌های

خطر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بیشترین قسمت حوضه موردمطالعه، جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم (٦٥ درصد) قرار داشت که عمدتاً این کلاس‌ها در بخش میانی حوضه واقع شده بودند. حدود ۲۰ درصد حوضه نیز تحت خطر زیاد تا خیلی زیاد قرار داشت که ازاین‌بین، بیشترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق شمال غربی، غرب و شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه قرار داشتند. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد، فاکتور LS با ضریب همبستگی ۰/۸۱ بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است (شکل ۱۱). این در حالی است که همبستگی بسیار پایینی بین سایر فاکتورها و فرسایش سالیانه خاک وجود داشت (جدول ٦).

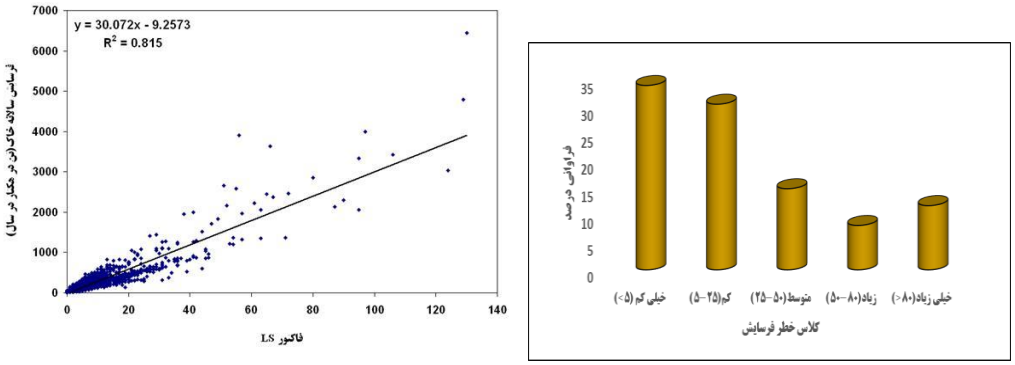


شکل ۸- نقشه متوسط سالانه فرسایش

Fig.8. Annual average erosion map

شکل ۹- نقشه کلاس فرسایش خاک

Fig.9. Soil erosion class map



شکل ۱۱- رابطه فاکتور LS با متوسط سالانه فرسایش خاک شکل ۱۰- فراوانی کلاس‌های خطر فرسایش

Fig.10. Frequency of erosion risk classes

Fig.11. Relationship between LS factor and average annual soil erosion

جدول ٦- میزان همبستگی و روابط رگرسیونی بین مقدار فرسایش سالانه خاک و پارامترهای مدل RUSLE

Table 6-

فاکتورهای RUSLE	تلفات سالانه خاک
R	$r^2 = 0.0024$, $y = -0.3526x + 195.16$
K	$r^2 = 0.0151$, $y = 270.91x + 198.17$
LS	$r^2 = 0.8111$, $y = 20.337x + 45.145$
C	$r^2 = 0.0866$, $y = 503.16x - 67.268$
P	$r^2 = 0.0993$, $y = 1642.6x - 1071.3$

بار رسوب

در این مطالعه، متوسط مقادیر نسبت تحویل رسوب بین ۰/۱۲ تا ۰/۳٤ و متوسط بار رسوب در خروجی حوضه بین ۵/۳٦ تا ۱٦/۳۷ تن در هکتار در سال متغیر بود (جدول ۷).

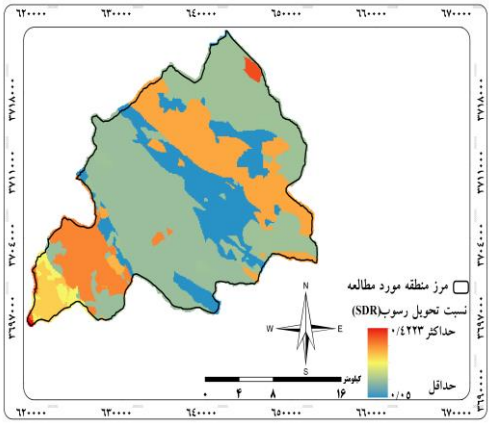
میزان رسوب مشاهده و محاسبه شده بر اساس ۱٦ سال آمار ایستگاه هیدرومتری با استفاده از منحنی‌های سنجه (حد وسط دسته‌ها) به‌طور متوسط معادل ۱٦/۵۸ تن در هکتار در سال (Azami, 2001) بوده و مقدار رسوب برآورد شده (متوسط رسوب برآورد شده) بر اساس مدل RUSLE با استفاده از روش نسبت تحویل رسوب USDA معادل ۱٦/۳۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. در ضمن مقدار بار رسوبی برآورد شده در این حوضه توسط Shahbazi (1999) با استفاده از روش EPM برابر ۱۸/۹۰ تن در هکتار در سال (آمار مشاهده‌ای معادل ۱٦ تن در هکتار در سال) و(Asgari, Servati, & Jafari, (2008 با استفاده از مدل MPSIAC برابر ۱٤/۹۸ تن در هکتار در سال می‌باشد (آمار مشاهده‌ای ۱٦/۵۸ تن در هکتار در سال). بنابراین اختلاف بین مقدار رسوب مشاهده شده با مقدار برآورد شده توسط مدل RUSLE در این مطالعه برابر ۰/۲۱ تن در هکتار در سال است. به‌عبارت‌دیگر مقدار رسوب برآورد شده حدود ۱ در صد کمتر از مقدار رسوب اندازه گیری شده (مشاهده شده) (براساس محاسبه خطای نسبی) می‌باشد.

بنابراین اختلاف معنی‌داری بین نتایج این کار و آمار واقعی مشاهده نمی‌شود؛ بنابراین ازآنجایی‌که مقدار بار رسوب برآوردی با استفاده از روش USDA (جدول ۷) تقریباً نزدیک به مقدار بار رسوب ثبت‌شده در ایستگاه رسوب‌سنجی حوضه چم‌گردلان ایلام (۱٦/۵۸ تن در هکتار در سال) بود (Azami, 2001). ازاین‌رو، این روش به‌عنوان بهترین روش برای محاسبه نسبت تحویل رسوب انتخاب گردید و براساس آن، نقشه نسبت تحویل رسوب و بار رسوب تهیه شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). در این روش، متوسط نسبت تحویل رسوب و رسوب سالانه از ۰/۰۵ تا ۰/٤۲ و ۰ تا ۵٤٦۸ تن در سال به ترتیب متغیر است.

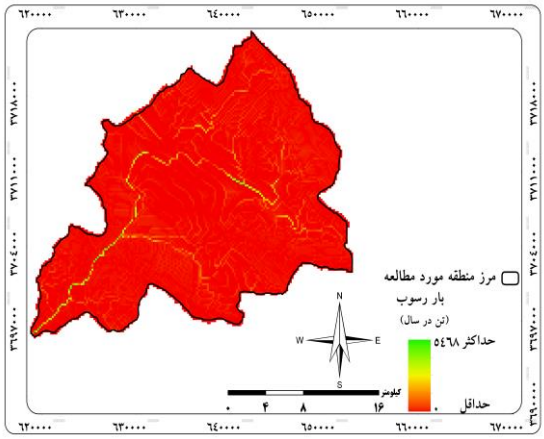
جدول ۷- روش‌های نسبت تحویل بار رسوب، مقادیر نسبت تحویل و بار رسوب در حوزه موردمطالعه

Table 7- Sediment load delivery ratio methods, delivery ratio values and sediment load in the study area

روش‌های تحویل بار رسوب	میزان نسبت تحویل	بار رسوب (تن در هکتار در سال)
وانونی	۰/۲۶	۱۱/۶۲
بویس	۰/۱۲	۵/۳۶
USDA	۰/۳۴	۱۶/۳۷



شکل ۱۲- نقشه نسبت تحویل رسوب



شکل ۱۳- نقشه بار رسوب

Fig.12. Sediment delivery ratio map

Fig.13. Sediment load map

محاسبه فرسایش و رسوب با مدل EPM

در حوضه موردنظر، برای تعیین میزان فرسایش خاک و همچنین تولید رسوب از مدل EPM استفاده گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات پایه و بازدیدهای میدانی انجام شده، ضرایب تعدادی از پارامترهای مدل برای منطقه موردمطالعه به شرح جدول ۸ می‌باشد. در این قسمت، میانگین چهار ضریب، موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. نتایج چهار ضریب در فرسایش خاک در جدول ۸ مشخص شده است و سپس این چهار لایه (شکل ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷) در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 با هم همپوشانی شدند و نقشه شدت فرسایش منطقه به دست آمد؛ بنابراین و بر اساس رابطه ۱۳ و با همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی، نقشه شدت فرسایش حوضه (شکل ۱۸) تهیه گردید. لازم به ذکر است ضریب شدت فرسایش (Z) برای هر یک از واحدهای همگن به‌صورت جداگانه محاسبه گردید (جدول ۸) و میانگین آن برای کل حوضه در نظر گرفته شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از جدول ۸، ضریب استفاده از زمین حداقل ۰/۲۰

و حداکثر ۰/۶۰ می‌باشد و متوسط آن در مدل EPM، ۰/۴۰ برآورد شده است. متوسط ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) ۰/۷۱ می‌باشد که کمترین آن ۰/۵۰ و بیشترین آن ۱/۲۰ بر آورد شده است. ضریب فرسایش مشاهده‌ای یا حوضه منطقه که حداقل آن ۰/۲۰ و حداکثر آن ۰/۷۰ برآورد شده است. ضریب فرسایش (Z) در این منطقه به‌طور متوسط در کل حوضه برابر ۰/۸۹ می‌باشد که بر اساس جدول ۳ در محدوده فرسایش II یا شدید قرار دارد. جدول ۸، ضرایب فرسایش حوضه و ضریب شدت فرسایش را در واحدهای همگن به تفکیک مساحت نشان داده است. نتایج حاصل از بررسی نقشه شدت فرسایش نشان می‌دهد که بیشترین فرسایش در قسمت غرب و شرق حوضه قرار دارد. چون این منطقه از سازندهای ناپایدار و مستعد فرسایش تشکیل شده است. شیب زیاد منطقه به‌اضافه بارش باران و تغییر کاربری اراضی در این محدود بسیاری از عرصه‌های آن را با بحران فرسایش خاک مواجه کرده است. مقدار Z برای این مناطق بیش از ۱ است که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری شدید این ناحیه می‌باشد(شکل ۱۸)

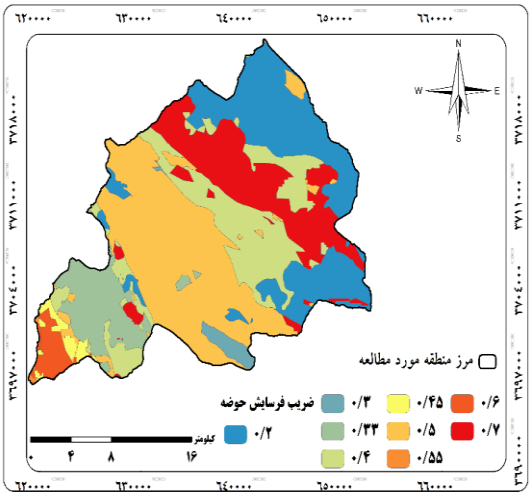
جدول ۸- داده‌های لازم جهت محاسبه شدت فرسایش خاک در واحدهای همگن با مدل EPM

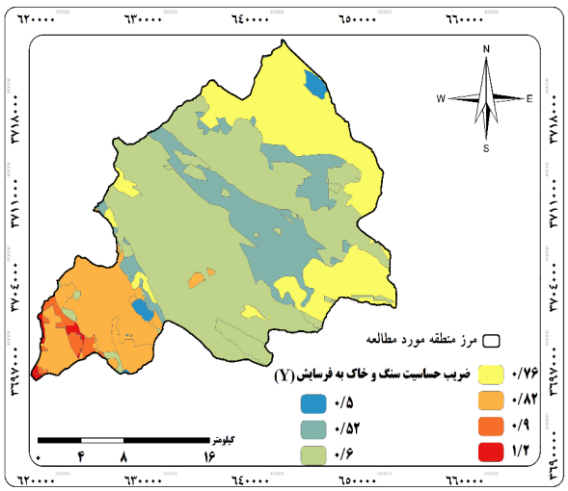
Table 8- Necessary data to calculate soil erosion intensity in homogeneous units with EPM model

شماره واحد همگن	ضریب استفاده از زمین	ضریب حساسیت سنگ و خاک	ضریب عامل فرسایش	شیب متوسط (در صد)	ضریب شیب	ضریب شدت فرسایش	کلاس فرسایش	مساحت (هکتار)
PN	Xa	y	Ψ	slope	$I^{0.5}$	Z	Erosion intensity	ha(area)
۱	۰/۶	۰/۵۲	۰/۴۰	۴	۲/۰۰	۰/۷۴	شدید	۸۸۱۲/۰۲
۲	۰/۳۵	۰/۶۰	۰/۷۰	۷	۲/۶۴	۰/۷۰	شدید	۹۵۸۰/۳۹
۳	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۹	۳/۰۰	۰/۶۳	متوسط	۱۶۶۶۴/۶۷
۴	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۳۰	۷	۲/۶۴	۰/۸۸	شدید	۸۲۵/۸۲
۵	۰/۴۰	۱/۲	۰/۶۰	۱۰	۳/۱۶	۱/۸۰	خیلی شدید	۱۴۱/۶۵
۶	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۴۵	۷	۲/۶۴	۰/۵۵	متوسط	۸۹۵/۶۷
۷	۰/۲۰	۰/۸۲	۰/۴۰	۱۳	۳/۶۰	۰/۶۵	متوسط	۱۱۸۲/۵۸
۸	۰/۲۲	۰/۷۶	۰/۲۰	۲۲	۴/۶۹	۰/۸۱	شدید	۱۳۵۱۱/۴۹
۹	۰/۳۰	۰/۸۲	۰/۳۳	۳۲	۵/۶۵	۱/۴۷	خیلی شدید	۴۷۰۷/۲۴
۱۰	۰/۳۵	۰/۸۲	۰/۶۰	۱	۱/۰۰	۰/۴۵	متوسط	۱۲۷۷/۸۲
۱۱	۰/۳۰	۱/۲	۰/۵۰	۲	۱/۴۱	۰/۶۸	متوسط	۱۴۱/۰۷
۱۲	۰/۶۰	۱/۲	۰/۵۵	۲	۱/۴۱	۱/۴۱	خیلی شدید	۵۸/۱۶
۱۳	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۷۰	۲	۱/۴۱	۰/۶۳	متوسط	۲۳۹/۲۶

۱۴	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۲۰	۴/۴۷	۰/۹۹	شدید	۲۹۱/۹۱
۱۵	۰/۳۰	۱/۲۰	۰/۵۵	۵	۲/۲۳	۱/۰۰	خیلی شدید	۴۰/۵۸
میانگین	۰/۳۷	۰/۸۱	۰/۴۸	۹/۵۳	۲/۸۰	۰/۸۹		58370

همان‌طور که ذکر شد، نقشه‌های ضرایب شدت فرسایش در حوضه چم‌گردلان استان ایلام در شکل‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۸ نقشه شدت فرسایش در حوضه چم‌گردلان نشان داده شده است که بر اساس آن کمترین مقدار فرسایش در قسمت‌های مرکزی و هموارتر منطقه است و بیشتر زیر کشت آبی و دیم و باغ‌کاری در مناطق با شیب کم قرار می‌گیرد که دارای فرسایش‌پذیری کمتری می‌باشد.

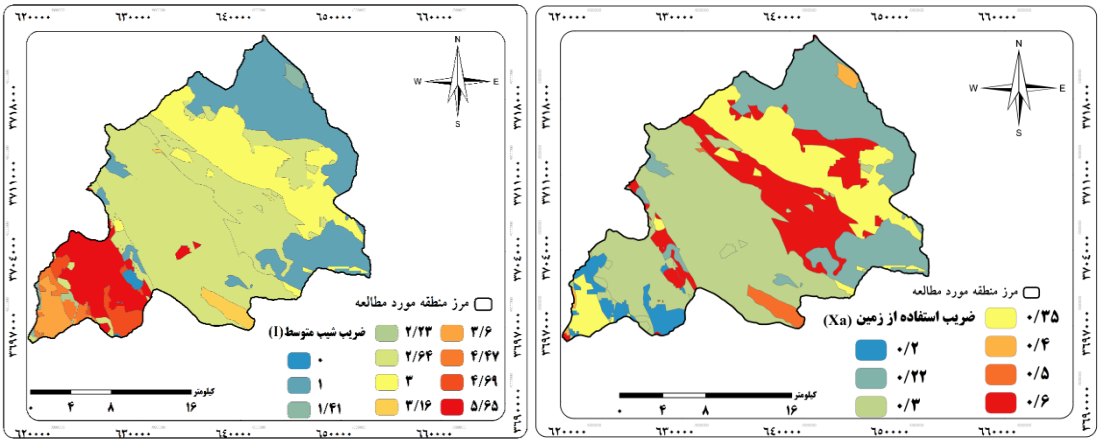




شکل ۱۴- ضریب فرسایش حوضه(Ψ) **شکل ۱۵- ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش(Y)**

Fig.14. basin erosion coefficient (Ψ)

Fig.15. Coefficient of sensitivity of rock and soil to erosion (Y)

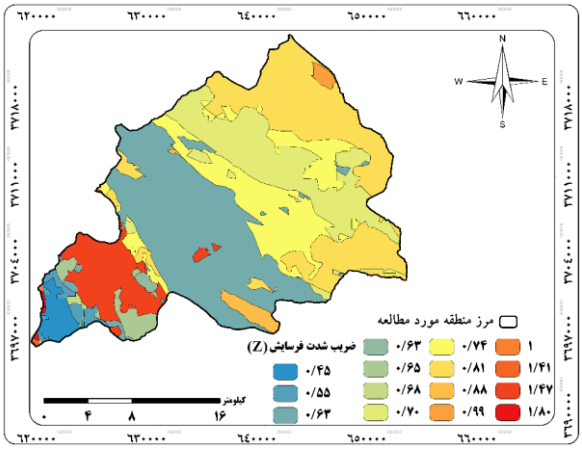


شکل ۱۶- ضریب استفاده از زمین(Xa)

Fig.16. Land use coefficient (Xa)

۱۷- ضریب شیب متوسط حوضه(I)

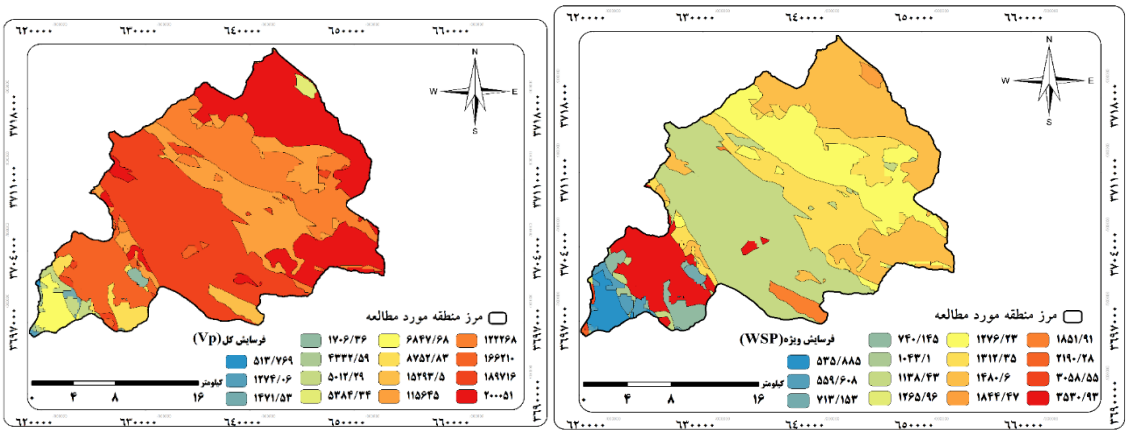
Fig.17. Average slope coefficient of the basin (I)



شکل ۱۸- ضریب شدت فرسایش(Z)

Fig.18. Erosion intensity coefficient (Z)

طبق رابطه ۱۴، لایه‌های دما، بارش و لایه‌های شدت فرسایش با توابع تحلیلی ذکر شده در عدد پی ضرب گردیده و با همپوشانی، نقشه سالانه فرسایش ویژه و فرسایش کل در حوضه به دست آمد(شکل‌های ۱۹ و ۲۰).



شکل۱۹- فرسایش ویژه

Fig.19. Special erosion

شکل ۲۰- فرسایش کل

Fig.20. total erosion

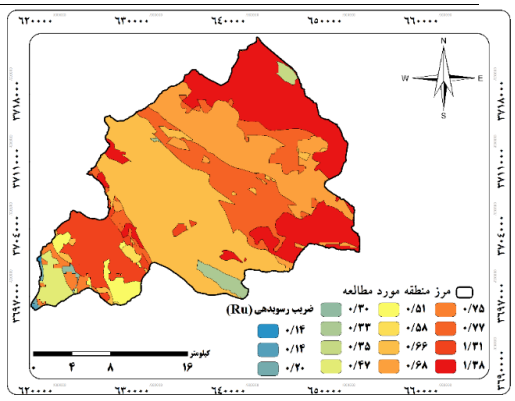
درنهایت از تلفیق نتایج به دست آمده، فرسایش ویژه، فرسایش کل، رسوب ویژه و رسوب کل در واحدهای همگن به دست آمد (جدول ۹). بر این اساس، میزان فرسایش ویژه و فرسایش کل به ترتیب معادل ۱۵۰۲ مترمکعب در کیلومترمربع در سال و ۸۷۷۱۷٤ مترمکعب در سال است. همچنین میزان رسوب ویژه و رسوب کل در حوضه آبخیز چم‌گردلان به ترتیب ۲۹۵٦ مترمکعب در کیلومترمربع در سال و ۱۱۹۱۰۰۲ مترمکعب در سال است. همچنین، در شکل‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ به ترتیب نقشه‌های ضریب رسوب، رسوب ویژه و رسوب کل نشان داده شده است. با توجه به جدول شماره ۹، میزان فرسایش ویژه بسته به میزان ضریب شدت فرسایش در واحدهای همگن تغییر می‌کند. این تغییرپذیری، نتیجه کاربری‌های مختلف حوضه و همچنین سازندهای مختلف و شیب متغیر منطقه است.

مقدار رسوب ویژه برای واحدهای همگن و کل حوضه بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال به دست آمد. سپس با در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/٤۳)، مقدار رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار در سال محاسبه شد و مقدار آن ۲۱/٤۹ تن در هکتار در سال بر آورد گردید (جدول ۹). این در حالی است که مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب سنجی برابر ۱٦/۵۸ تن در هکتار در سال می‌باشد؛ به‌عبارت‌دیگر، مقایسه نتایج ایستگاه هیدرومتری و رسوب سنجی در خروجی حوضه با مدل EPM نشان‌دهنده هم‌خوانی ۷۱ درصدی رسوبی خروجی این مدل است. در جدول ۱۰، مقادیر مشاهده شده و برآورد شده در حوضه آبخیز چم‌گردان استان ایلام را مشاهده می‌فرمایید.

جدول ۹- فرسایش و رسوب محاسبه شده برای واحدهای همگن و کل حوضه با مدل EPM

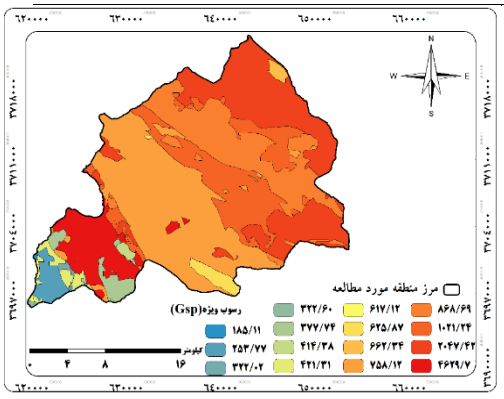
Table 9- Erosion and sedimentation calculated for homogeneous units and the entire basin with the EPM model

شماره واحد همگن	فرسایش ویژه (مترمکعب در کیلومترمربع در سال)	مساحت (km^2)	فرسایش کل (مترمکعب در سال)	ضریب رسوبدهی در واحدهای همگن	Gsp ($m^3/year/km^2$)	Gs ($m^3/year$)
۱	۱۳۱۲/۴۰	۸۸/۱۲	۱۱۵۶۴۴/۶۰	۰/۷۸	۱۶۸۶/۴۵	۱۴۸۶۱۰/۱۰
۲	۱۲۷۶/۲۰	۹۵/۸۰	۱۲۲۲۶۸/۳۰	۰/۶۸	۱۸۷۴/۹۷	۱۷۹۶۲۹/۴۰
۳	۱۱۳۸/۴۰	۱۶۶/۶۴	۱۸۹۷۱۶/۳۰	۰/۶۷	۱۷۰۹/۵۳	۲۸۴۸۸۶/۹۰
۴	۱۸۵۱/۹۰	۸/۲۵	۱۵۲۹۳/۵۴	۰/۳۴	۵۴۷۹/۶۷5	۴۵۲۵۲/۳۰
۵	۳۰۵۸/۵۰	۱/۴۱	۴۳۳۲/۵۹	۰/۲۰	۱۵۱۵۸/۴۶	۲۱۴۷۲/۷۰
۶	۵۵۹/۶۰	۸/۹۵	۵۰۱۲/۲۸	۰/۷۵	۷۴۳/۳۰	۶۶۵۷/۵۰
۷	۷۴۰/۱۰	۱۱/۸۲	۸۷۵۲/۸۲	۰/۵۱	۱۴۵۰/۲۴	۱۷۱۵۰/۲۰
۸	۱۴۸۰/۶۰	۱۳۵/۱۱	۲۰۰۰۵۰/۹۰	۰/۸۱	۱۸۲۷/۹۰	۲۴۶۹۷۶/۴۰
۹	۳۵۳۰/۹۰	۴۷/۰۷	۱۶۶۲۰۹/۵۰	۰/۸۷	۴۰۵۸/۵۴	۱۹۱۰۴۵/۴۰
۱۰	۵۳۵/۹۰	۱۲/۷۷	۶۸۴۷/۶۸	۰/۴۷	۱۱۳۱/۶۱	۱۴۴۶۰/۰۰
۱۱	۱۰۴۳/۱۰	۱/۴۱	۱۴۷۱/۵۳	۰/۳۱	۳۳۷۸/۸۲	۴۷۶۶/۶۰
۱۲	۲۱۹۰/۳۰	۰/۵۸	۱۲۷۴/۰۵	۰/۱۵	۱۴۸۷۰/۵۰	۸۶۴۹/۹۰
۱۳	۷۱۳/۲۰	۲/۳۹	۱۷۰۶/۳۵	۰/۵۸	۱۲۲۷/۳۲	۲۹۳۶/۶۰
۱۴	۱۸۴۴/۵۰	۲/۹۱	۵۳۸۴/۳۳	۰/۳۶	۵۱۳۶/۴۲	۱۴۹۹۴/۱۰
۱۵	۱۲۶۶/۰۰	۰/۴۰	۵۱۳/۷۶	۰/۱۵	۸۶۵۷/۸۲	۳۵۱۳/۶۰
میانگین	۱۵۰۲/۷۷	۵۸۳/۷۰	۸۷۷۱۷۴/۹۰	۰/۵۱	۲۹۵۶/۷۸	۱۱۹۱۰۰۲



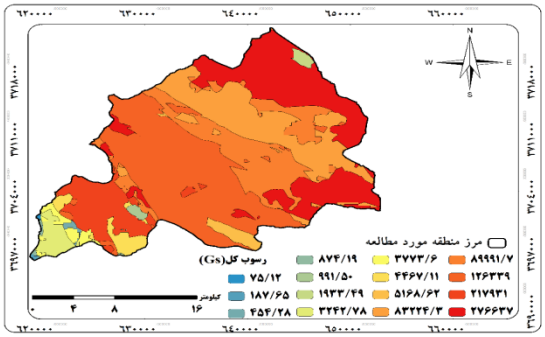
شکل ۲۱- ضریب رسوبدهی(RU)

Fig.21. Sedimentation coefficient (RU)



شکل ۲۲- رسوب ویژه

Fig.22. Special sediment



شکل ۲۳- رسوب کل

Fig.23. Total sediment

در جدول ۱۰، مقادیر مشاهده شده و برآورد شده در حوضه آبخیز چم‌گردان استان ایلام را مشاهده می‌فرمایید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان رسوب برآوردی مدل RUSLE، ۱۶/۳۷ تن در هکتار در سال و در روش EPM، ۲۱/۴۹ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال، کارایی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه موردمطالعه بیش‌تر است. درنهایت توصیه می‌شود، برای فازهای اولیه مطالعات توجیهی، اجمالی و شناسایی از مدل EPM و برای مطالعات تفصیلی و دقیق‌تر برآورد فرسایش و رسوب حوضه از روش RUSLE بهره گرفت.

جدول ۱۰- مقایسه مقادیر مشاهده شده و برآورد شده در حوضه آبخیز چمگردان استان ایلام

Table 10- Comparison of the observed and estimated values in Chamgardan aquifer basin of Ilam province

مقدار مشاهده شده (تن در هکتار درسال)	مقدار برآورد شده با مدل RUSLE (تن در هکتار درسال)	مقدار برآورد شده با مدل EPM (تن در هکتار درسال)
۱۶/۵۸	۱۶/۳۷	۲۱/۴۹

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری مقدار فرسایش و رسوب به دلایل فنی، حفاظتی و اقتصادی در تمامی نقاط امکان‌پذیر نیست. ازاین‌رو مناسب‌ترین راهکار، برآورد مقدار فرسایش و تولید رسوب با مدل‌های تجربی است که لازمه آن آگاهی از مکانیسم‌های فرسایش و عوامل مؤثر بر آن است. از طرفی انتخاب مدل مناسب برای هر منطقه مستلزم ارزیابی دقت مدل‌های مختلف از طریق مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری آن‌ها به ضریب رسوبدهی واقعی در یک حوضه آبخیز می‌باشد. بر این اساس، در این تحقیق، میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز

چم‌گردلان ایلام با استفاده از دو مدل **EPM** و **RUSLE** موردبررسی قرار گرفت، از طرفی میزان رسوب مشاهده‌ای با استفاده از روش منحنی سنجه رسوب (حدواسط دسته‌ها) برآورد گردید و درنهایت مؤثرترین و کاراترین روش معرفی گردید.

در این مطالعه به‌منظور بررسی میزان فرسایش و برآورد مقدار رسوب در حوضه آبخیز چم‌گردلان استان ایلام، پس از امتیازدهی و تلفیق عوامل مؤثر به‌صورت لایه‌های رقومی در محیط نرم‌افزار **ArcGIS**، با استفاده از مدل‌های تجربی نقشه میزان فرسایش و رسوب حوضه موردنظر تعیین گردید.

نتایج برآورد معیارهای موردبررسی در روش **RUSLE** در حوضه آبخیز موردمطالعه نشان داد، فاکتور فرسایش‌پذیری از ۰/۲۸ تا ۰/٦٦ و معیار پوشش گیاهی از ۰/۳۵ تا ۰/٦۰ متغیر بوده که نشان‌دهنده تفاوت در ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی در مناطق مختلف حوضه است. نقشه فاکتور پوشش گیاهی نشان می‌دهد این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی حداکثر است و کمترین مقدار آن در مناطقی است که پوشش متراکم وجود دارد. نتایج حاصل از فاکتور فرسایندگی در حوضه چم‌گردلان نشان داد، میزان این فاکتور از ۱۳٦ در پایین‌دست تا ۳۹٦ مگاژول در میلی‌متر در سال در هکتار در بالادست حوضه در نوسان است و میزان فاکتور فرسایندگی باران در نقطه خروجی حوضه به حداقل می‌رسد. Miguel, Samuel-Rosa, Simao Dennis Dalmolin, Arajo Pedron, & Moura Bueno (2011)؛ Bahrawi et al.(2016) و Rezaee, Faridi, Ghorbani, & Kazemi (2018) معتقدند افزایش ارتفاع از سطح دریا سبب افزایش فاکتور فرسایندگی باران می‌گردد، چون که میزان بارش زیاد می‌شود. فرسایندگی باران در شمال‌شرقی و جنوب‌غربی حوضه موردمطالعه که ارتفاع بالاتری داشتند بیش‌تر بوده که با رنگ قرمز نشان داده شده است یا به‌عبارت‌دیگر، کاهش ارتفاع و باران رابطه مستقیمی با کاهش فاکتور **R** دارد. بررسی همبستگی آماری بین فاکتورهای **RUSLE** و مقدار فرسایش سالیانه خاک در منطقه موردمطالعه نیز نشان داد که فاکتور **LS** با ضریب همبستگی ۰/۸۱ بیشترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک در مدل **RUSLE** دارد.

در انجام محاسبات مربوط به مدل **EPM**، میانگین ضرایب فرسایش حوضه (**Ψ**)، استفاده از زمین (**Xa**)، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (**Y**) و شیب متوسط (**I**) محاسبه و با مقایسه با جدول استاندارد، میزان فرسایش و کلاس فرسایش برای هرکدام از واحدهای همگن و درنهایت در کل حوضه برآورد گردید. چنانچه در جدول مربوطه مشاهده می‌فرمایید، ضریب شدت فرسایش (**Z**)، به‌جز ٦ واحد از ۱۵ واحد در کلاس شدت فرسایش شدید تا خیلی شدید قرارداشته و میانگین آن در کل حوضه ۰/۸۹ برآورد گردید. همچنین میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه کل حوضه به ترتیب ۱۵۰۲/۷۷ و ۲۹۵٦/۷۸ مترمکعب در کیلومترمربع در سال برآورد گردید. نتایج حاصل از کاربرد **EPM** در برآورد فرسایش نشان داد که میزان ٦۵ در صد از مساحت حوضه در کلاس فرسایشی شدید (زیاد) و خیلی شدید (زیاد) دارد (شرقی و میانی

حوضه) و حدود ۳۵ درصد حوضه در کلاس فرسایش کم تا متوسط است. با استفاده از روش فوق، مقدار رسوب سالانه ۲۱/٤۹ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

بر اساس نتایج حاصل از روش **RUSLE** بیشترین وسعت حوضه مربوط به کلاس فرسایشی خیلی‌کم، کم و متوسط است که عموماً در کل حوضه پراکنش دارد و کمترین مساحت حوضه در کلاس فرسایشی زیاد تا خیلی زیاد (۲۰ درصد) قرار می‌گیرد و بر این اساس مقدار رسوب سالانه در این روش ۱٦/۳۷ تن در هکتار در سال برآورد گردید. بنابراین، نتایج حاصل از **EPM**، غالب فرسایش را در کلاس شدید تا خیلی شدید و مدل **RUSLE** در کلاس خیلی‌کم تا متوسط برآورد نموده‌اند، بدین معنی که مدل **EPM** دچار پیش‌برآورد و مدل **RUSLE** دچار کم‌برآورده شده است. نتایج حاصل از بررسی نقشه فرسایش در هر دو مدل نشان می‌دهد که بیشترین فرسایش در قسمت غرب و میانه حوضه قرار دارد. چون این منطقه از سازندهای ناپایدار و مستعد فرسایش تشکیل شده است. شیب زیاد منطقه به اضافه بارش باران و تغییر کاربری اراضی در این محدود بسیاری از عرصه‌های آن را با بحران فرسایش خاک مواجه کرده است. مقدار **Z** برای این مناطق بیش از ۱ است که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری شدید این منطقه می‌باشد.

یکی از عوامل مؤثر بر فرسایش و تولید رسوب، رژیم بارندگی و اقلیم حوضه است که با بررسی آن مشخص شد که قسمت عمده ریزش‌های جوی در حوضه آبخیز چم‌گردلان از نوع باران است و در فصل زمستان با برف همراه می‌شود ولیکن بارندگی به‌خصوص با شدت‌های بالا و زمان کم، باعث جریان سریع و شدت رواناب شده که با خود مقدار زیادی از خاک سطحی را تخریب و به‌صورت رسوب و بار معلق به مناطق پایین‌دست و خروجی حوضه حمل می‌کند.

از دیگر عوامل مؤثر بر فرسایش و تولید رسوب و ایجاد سیلاب حوضه، خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی ازجمله شیب و ارتفاع است. شیب حوضه آبخیز چم‌گردلان در اکثر قسمت‌های آن چشمگیر است به‌طوری‌که در بیشتر قسمت‌های این حوضه شیب بیشتر از ۲۰ درصد است که در سرعت بخشیدن به فرسایش و پارامترهای مؤثر در آن ازجمله رواناب تأثیرگذار است. به‌طورکلی در حوضه‌های با شیب ملایم به دلیل اینکه قدرت آب جاری کاهش پیدا می‌کند، بنابراین اشکال مختلف فرسایش نیز کمتر دیده می‌شود؛ درحالی‌که در حوضه آبخیز چم‌گردلان به دلیل کوهستانی بودن قسمت‌های زیادی از آن، عکس این حالت اتفاق می‌افتد.

پوشش گیاهی و کاربری اراضی یکی دیگر از عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب حوضه به شمار می‌رود. طبیعی است مناطقی که دارای پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی مناسب باشد، کمتر در معرض تخریب و فرسایش قرار می‌گیرند. در حوضه آبخیز چم‌گردلان که حدود ۷۰ درصد از مساحت حوضه را جنگل و مرتع با تراکم‌های مختلف پوشانده است، انتظار می‌رود، وضعیت کنترل فرسایش در سطح حوضه آبخیز مناسب و

میزان ضریب فرسایش در حد کم باشد؛ لیکن به دلایل مختلف ازجمله چرای مفرط و دائم مرتع توسط دام-های منطقه، عدم رعایت تعادل دام و مرتع توسط دامداران، اعمال روش‌های غلط شخم اراضی، قطع بی‌رویه درختان، درختچه‌ها و بوته‌ها، عدم رعایت اصول بهره‌برداری صحیح از اراضی، تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی، خاک و زمین‌شناسی و تأثیر عوامل اقلیمی به‌خصوص پراکنش و شدت بارندگی، باعث شده است که وضعیت فرسایش حوضه آبخیز در حد شدید و بسیار شدید قرار گیرد. لذا اعمال روش‌های مختلف کنترل فرسایش در سطح حوضه ضروری است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد میزان رسوب برآوردی در روش **RUSLE**، ۱۶/۳۷ تن در هکتار در سال و در روش **EPM**، ۲۱/۴۹ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی **RUSLE** به مقدار مشاهده‌ای ۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال، کارایی مدل **RUSLE** در برآورد رسوب منطقه موردمطالعه بیشتر است. محققینی چون Bahrawi et al.(2016)؛Miguel et al., (2011)؛ Vaezi, Bahrami, Sadeghi, & Mahdian (2010)؛ Rezaee, Faridi, Ghorbani, & Kazemi, (2018)و Teimourri & Bazrafshan (2018)کارایی بالای مدل **RUSLE** را تأیید می‌نمایند.(Rafahi & Nemeti (1995 ؛ Abedini, Shabrang, & Esmaeli (2014). ؛ Khodabakhsh, Mohammadi, Rafie, & Bozorg Zadeh, (2010) و Sadog, Hoseinzadeh, & Azadi (2015) کارایی نامناسب مدل **EPM** را در برآورد فرسایش و رسوب در مطالعات تفصیلی تائید نموده‌اند.

References

Abedini, M., Shabrang, S., & Esmaeli, A. (2014). Review on Soil Erosion and Sedimentation in Meshkin Chai Catchment Area by EPM Method. *Geography and Development*, *11*(30), 87-100. [In Persian] https://doi.org/10.22111/gdij.2014.245

Amiri, F., Arzani, H., Farahpour, M., Chaeichi, M.R., & Khajeh Aldin, S.J.A.D. (2009). Efficiency of Mpsiac and EPM Models for Assessment Soil Erosion in Range Suitability. Rangeland, 3(1), 138-154. [In Persian] https://sid.ir/paper/136360/en

Ansari Lari, A., & Ansari, M. (2017). Evaluation of soil erosion risk and sedimentation potential by using EPM model in Gabric basin- SE Hormozgan- Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *6*(11), 1-14. [In Persian] https://doi.org/10.22111/jneh.2017.2965

Asgari, S.A., Servati, M.R., & Jafari, M.R. (2008). Estimating the ًOil Erosion and Production of Sediment in the Basin of the Ilam Dam by using MPSIAC Model. *Physical Geography Research*, 40(64), 29-35. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/5427/en

Azami, A. (2001). Comparison of Various Methods for Estimating Sediment Yield in Ilam Dam Watershed. (published M.sc. thesis). Gorgan University. (in persian).

Azimi Sardari, M.R., Bazrafshan, O.A., Panagupulus, T., & Rafiei Sardoei, E. (2019). Current and Future Assessment of Soil Erosion in the Catchment Area of Esteghlal Dam in

Minab Using RUSLE-3D Model and Climate Change Scenarios. *Desert Management*, 7 (14), 132-119. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/jdmal.2020.38480.

Bahrawi, A.J., Elhag, M., Aldhebiani, A.Y., Galal, H.K., Hegazy, A.K., & Alghailani, E. (2016). Soil Erosion Estimation Using Remote Sensing Techniques in Wadi Yalamlam Basin, Saudi Arabia. *Advances in Materials Science and Engineering*. https://doi.org/10.1155/2016/9585962.

Bartsch, K.P., Van Miegroet, H., Boettinger, J., & Dobrwolski, J.P. (2002). Using Empirical Erosion Models and GIS to Determine Erosion Risk at Camp Williams. *Journal of Soil and Water Conservation,* 57(1), 29-37. https://www.jswconline.org/content/57/1/29/tab-references.

Benkobi, L., Trlica, M.J., & Smith, J.L. (1994). Evaluation of a Refined Surface Cover Subfactor for Use in RUSLE. Journal of Range Manage 47(1),74–78. https://doi.org/10.2307/4002845

Biesemans, J., Meirvenne, M.V., & Gabriels, D. (2000). Extending the RUSLE with the Monte Carlo Error Propagation Technique to Predict Long-Term Average Off-Site Sediment Accumulation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(1), 35–42. https://www.jswconline.org/content/55/1/35

Bagio, á., Bertol, I., Wolschick, N.H., Schneiders, D., & Aparecida, M. (2017). Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. Revista Brasileira de Ciência do Solo. DOI: 10.1590/18069657rbcs20160132

Boggs, G., Devonport, C., Evans, K., & Puig, P. (2001). GIS-Based Rapid Assessment of Erosion Risk in a Small Catchment in the Wet/Dry Tropics of Australia. *Land Degradation and Development*, 12(5), 417–434. https://doi.org/10.1002/ldr.457

Boyce, R. C. (1975). Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios. In: *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources,* US Dept. Agric. Publ. ARS-S-40, 61-65.

Deore, S.J. (2006). *Prioritization of Micro-watersheds of Upper Bhama Basin on the Basis of Soil Erosion Risk Using Remote Sensing and GIS Technology*. (published doctoral. dissertation). University of Pune, Department of Geography.

Elirehema, Y. (2001). Soil Water Erosion Modeling in Selected Watersheds in Southern Spain. IFA, ITC, Enschede. https://doi.org/10.1002/ldr.457

Ferro, V., Giordano, G., & Lovino, M. (1991). Isoerosivity and Erosion Risk Map for Sicily. *Hydrological Science Journal*, 36(6),549–564. https://doi.org/10.1080/02626669109492543.

Gavrilovic, Z. (1988, May). The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential streams. Paper presented at the International Conference of River Regime, Wallingford. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1840329.

Haan, C.T., Barfield, B.J., & Hayes, J.C. (1994). *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. San Diego*, Academic Press. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1687737

Khodabakhsh, S., Mohammadi, A., Rafie, B., & Bozorg Zadeh, I. (2010). Comparison of erosion and sediment yield estimation in Sezar sub-basin (Dez drainage basin) by MPSIAC and EPM empirical methods, using GIS. *Iranian Journal of Geology*, 3(12), 51-61. [In Persian] https://www.magiran.com/p886221

Lal, R. (1990). Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management. New York, McGraw-Hill. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2193850

Lin, C.Y. (1997). A Study on the Width and Placement of Vegetated Buffer Strips in a Mudstone-Distributed Watershed. *Journal of China. Soil Water Conserve*, 29 (3), 250-266 [In Chinese with English abstract].

McCool, D.K., Brown, L.C., & Foster, G.R. (1987). Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 30, 1387–1396. https://doi.org/10.13031/2013.30576.

Miguel, P.A., Samuel-Rosa, R., Simao Dennis Dalmolin, F., Arajo Pedron, J., & Moura Bueno, A. (2011). The USLE Model for Estimating Soil Erosion in Complex Topography Areas. Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing, (SBSR), Brasil, 85, 9227-9230.

Milevski, I. (2008, July). Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper Part of Bregalnica Watershed-Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery. Paper presented at the 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-)(Turkey), Istanbul,(pp.351-358). https://www.researchgate.net/publication/265012436

Mokhtari, L.G., Shafiei, N,. & Rahmani, A. (2019). Estimation of Soil Erosion Using RUSLE Model, A Case Study of Noorabad Mamasani Basin. *Hydrogeomorphology*, 5(17), 1-21. [In Persian). https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_8601_en.html?lang=en

Moore, I.D., & Wilson, J.P. (1993). Length-Slope Factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified Method of Estimation. *Journal of Soil and Water Conservation* 47(4),423–428. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=674926.

Moradi, M., Ghonchepour, D., Nohegar, A., & Mahmoudi Nejad, V. (2012). A Comparison of the MPSIAC and EPM Models for Estimating Erosion and Sediment in the Poorahmadi Catchment. Environmental Erosion Researches, 1(4), 54-68. [In Persian] https://www.sid.ir/paper/223084/en

Morgan, R.P.C. (1995). Soil Erosion and Conservation. London, Longman. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=117218

Noori, H., Siadatmousavi, S. M., & Mojaradi, B. (2017). Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Based on Satellite Imagery Using the GIS Technique and Employing Erosion Potential Method (EPM) on Watersheds (Case study: the Dez Watershed). *Water Resources Engineering*, *10*(32), 45-54. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1396.10.32.6.2

Nouwakpo, S.K., Williams, C.J., Al-Hamdan, O.Z., Weltz, M.A., Pierson, F. & Nearing, M. (2016). A Review of Concentrated Flow Erosion Processes on Rangelands: Fundamental Understanding and Knowledge Gaps. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 75-86. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.003

Rafahi, H., & Nemeti, M. (1995). Application of EPM Method in Studying Rate of Erodibility and Sedimentation in Alamut-Rud Watershed. *Iranian Journal of Agricultur Science,* 26(1), 33-46. [In Persian] https://journal.ut.ac.ir/article_16105_601401dd19a510faf4563182d15e1ac5.pdf

Renard, K.G., & Freimund, J.R. (1994). Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157(1-4), 287–306. https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook, 703, USDA-ARS. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/ruslech2.pdf

Rezaee, P., Faridi, P., Ghorbani, M., & Kazemi, M. (2018). Estimation of Soil Erosion Using the RUSLE Model and Identification of its Most Effective Factor in the Gabrik

Watershed-South-Eastern Hormozgan Province *Quantitative Geomorphological Research*, *3*(1), 97-113. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1393.3.1.7.3

Sadog, H., Hoseinzadeh, M.M., & Azadi, F. (2015). Determining the Erosion in Kahman Drainage Basin Using EPM, BLM and Fargas Models. *Hydrogeomorphology*, *2*(2), 137-154. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.2.8.7

Shahbazi, K. (1999). Estimation of Erosion and Sediment by Qualitative Geomorphology (Homogenous Units) and EPM Methods and Comparing them with Outlet Sediment Data in Ilam Dam Basin. (published MS.c thesis). Tarbiat Modarres University, School of Natural Resources. [In Persian].

Tazioli, A. (2009). Evaluation of Erosion in Equipped Basins: Preliminary Results of a Comparison Between the Gavrilovic Model and Direct Measurements of Sediment Transport. *Environmental Geology*, 56(5), 825-831. https://doi.org/10.1007/s00254-007-1183-y

Teimourri, F., & Bazrafshan, O. (2018). Comparison of the Efficiency the RUSLE and EPM Models in Estimating Soil Erosion and Sediment Yield According to the Sediment Rating curve (case study :Jask-Gabrik watershed). *New Findings in Applied Geology*,12(23), 50-62. [In Persian] https://journals.basu.ac.ir/article_2278_101b5eaf999bfabc46cbcf8240155c1e.pdf

USDA. (1975). Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation. https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part632_SedimentationGeology/NEH3_06.PDF

Vaezi, A.R., Abasi, M., & Abd Haji Maleki, K.H. (2017). Evaluation of RUSLE Model Combined with Remote Sensing and GIS in Small Drainage Areas in the Semi-Arid Region, Northwestern Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11 (38), 1-10. [In Persian]. https://www.sid.ir/paper/134808/en#downloadbottom.

Vaezi, A.R., Bahrami, H.A., Sadeghi, S.H.R., & Mahdian, M.H. (2010). Spatial Variability of Soil Erodibility Factor (K) of the USLE in North West of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 241-252. [In Persian]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2010.12.2.11.9

Vanoni, V.A. (1975). Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y. https://webstore.ansi.org/preview-pages/ASCE/preview_9780784471340.pdf.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion. Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook*, 537. US Department of Agriculture, Washington, DC,. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf

Yu, B., & Rosewell, C.J. (1996). A Robust Estimator of the R Factor for the Universal Soil Loss Equation. American Society of Agricultural Engineers, 39(2), 559–561. https://typeset.io/pdf/a-robust-estimators-of-the-r-reaction-for-the-universal-soil-7rxy1i22im.pdf

Yue-Qing, X., Shao, X-M., & Kong, X-B. (2008). Adapting the RUSLE and GIS to Model Soil Erosion Risk in a Mountain Karst Watershed, Guizhou Province, China, *Environment Monitoring and Assessment*, 141, 275-286. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9894-9.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)

VOLUME 13, NO. 50, Summer 2024

CONTENTS

- **Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County)** 1
  Mahdi Najjarian, Hossein Etemadfard, Mostafa Golmohammadi
- **Estimation of Sheet Erosion by Dendrogeomorphology Method** 22
  Zahra Younesian, Adel Sepehr, Seyed Reza Hosseinzadeh
- **Evaluation of function and landscape ecological connectivity in Khamir-Qeshm mangrove forests** 45
  Parvaneh Sobhani, Afshin Danehkar
- **Flood risk assessment using fuzzy logic and HEC-HMS: The case of Ojan Chay** 65
  Marziyeh Esmaeilpour
- **Investigation of the Thermal Anomaly Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran** 92
  Mostafa Heidari, Ahmad Mazidi, Iman Rousta
- **Estimation of mechanism of earthquakes in active seismic areas around Tehran, Mashhad and Tabriz cities** 115
  Fatemeh Naghdi Dodaran, Majid Nemati
- **Evaluation of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main channel of Khoda Afarin city (East Azarbaijan Province)** 140
  Ali Khodaie, Rahman Zandi
- **Modeling and Prediction of Groundwater Level in Izadkhast Plain, Fars Province** 162
  Maryam Ansari , Iraj Jabbari
- **Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake)** 186
  Gholam Hassan Jafari, Mobina Timaji
- **Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province** 210
  Morteza Akbari, Mahboobeh Sarbazi, Ali Sibevei, Somayeh Fadaie
- **Explaining the economic resilience of touristic villages against the disease of Kovid-19 (case study: villages of Rasht County)** 240
  Shiva Ganjian, Nasrollah Molaei Hashjin, Atosa Bigdeli
- **The pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change** 263
  Ali Mokhtari Karchegani, Ali Khodadadi, Mortaza Tavakoli
- **The Influence Factors of Farmers' Adaptive Behavior in Kermanshah Province Under Water Scarcity Conditions: ...** 292
  Yousof Azadi, Jafar Yaghoubi, Heydar Gholizadeh, Saeed Gholamrezai, Fatemeh Rahimi-Feyzabad
- **Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods** 316
  Tayebeh Irani , Hirad Abghari, Ali Akbar Rasouli
- **Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan ...** 339
  Saleh Arekhi, Sharam Barani

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 50, Summer 2024 Pages

- **Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County)** **1**
  Mahdi Najjarian, Hossein Etemadfard, Mostafa Golmohammadi
- **Estimation of Sheet Erosion by Dendrogeomorphology Method** **22**
  Zahra Younesian, Adel Sepehr, Seyed Reza Hosseinzadeh
- **Evaluation of function and landscape ecological connectivity in Khamir-Qeshm mangrove forests** **45**
  Parvaneh Sobhani, Afshin Danehkar
- **Flood risk assessment using fuzzy logic and HEC-HMS: The case of Ojan Chay** **65**
  Marziyeh Esmaeilpour
- **Investigation of the Thermal Anomaly Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran** **92**
  Mostafa Heidari, Ahmad Mazidi, Iman Rousta
- **Estimation of mechanism of earthquakes in active seismic areas around Tehran, Mashhad and Tabriz cities** **115**
  Fatemeh Naghdi Dodaran, Majid Nemati
- **Evaluation of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main channel of Khoda Afarin city (East Azarbaijan Province)** **140**
  Ali Khodaie, Rahman Zandi
- **Modeling and Prediction of Groundwater Level in Izadkhast Plain, Fars Province** **162**
  Maryam Ansari , Iraj Jabbari
- **Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake)** **186**
  Gholam Hassan Jafari, Mobina Timaji
- **Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province** **210**
  Morteza Akbari, Mahboobeh Sarbazi, Ali Sibevei, Somayeh Fadaie
- **Explaining the economic resilience of touristic villages against the disease of Kovid-19 (case study: villages of Rasht County)** **240**
  Shiva Ganjian, Nasrollah Molaei Hashjin, Atosa Bigdeli
- **The pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change** **263**
  Ali Mokhtari Karchegani, Ali Khodadadi, Mortaza Tavakoli
- **The Influence Factors of Farmers' Adaptive Behavior in Kermanshah Province Under Water Scarcity Conditions: ...** **292**
  Yousof Azadi, Jafar Yaghoubi, Heydar Gholizadeh, Saeed Gholamrezai, Fatemeh Rahimi-Feyzabad
- **Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods** **316**
  Tayebeh Irani , Hirad Abghari, Ali Akbar Rasouli
- **Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan ...** **339**
  Saleh Arekhi, Sharam Barani

JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Research Journal

Volume. 13, No. 50, Summer 2024

- **Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County)**
  Mahdi Najjarian, Hossein Etemadfard, Mostafa Golmohammadi
- **Estimation of Sheet Erosion by Dendrogeomorphology Method**
  Zahra Younesian, Adel Sepehr, Seyed Reza Hosseinzadeh
- **Evaluation of function and landscape ecological connectivity in Khamir-Qeshm mangrove forests**
  Parvaneh Sobhani, Afshin Danehkar
- **Flood risk assessment using fuzzy logic and HEC-HMS: The case of Ojan Chay**
  Marziyeh Esmaeilpour
- **Investigation of the Thermal Anomaly Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran**
  Mostafa Heidari, Ahmad Mazidi, Iman Rousta
- **Estimation of mechanism of earthquakes in active seismic areas around Tehran, Mashhad and Tabriz cities**
  Fatemeh Naghdi Dodaran, Majid Nemati
- **Evaluation of the environmental effects of the irrigation and drainage network of the main channel of Khoda Afarin city (East Azarbaijan Province)**
  Ali Khodaie, Rahman Zandi
- **Modeling and Prediction of Groundwater Level in Izadkhast Plain, Fars Province**
  Maryam Ansari , Iraj Jabbari
- **Spatial Identity of Landslide Risk in Eastern Alamut (Case Study: Ovan Lake)**
  Gholam Hassan Jafari, Mobina Timaji
- **Desertification Risk Assessment and Providing Management Strategies using the DPSIR-M Model in Khorasan Razavi province**
  Morteza Akbari, Mahboobeh Sarbazi, Ali Sibevei, Somayeh Fadaie
- **Explaining the economic resilience of touristic villages against the disease of Kovid-19 (case study: villages of Rasht County)**
  Shiva Ganjian, Nasrollah Molaei Hashjin, Atosa Bigdeli
- **The pattern of livelihood adaptation of rural communities in Iran in the face of climate change**
  Ali Mokhtari Karchegani, Ali Khodadadi, Mortaza Tavakoli
- **The Influence Factors of Farmers' Adaptive Behavior in Kermanshah Province Under Water Scarcity Conditions: ...**
  Yousof Azadi, Jafar Yaghoubi, Heydar Gholizadeh, Saeed Gholamrezai, Fatemeh Rahimi-Feyzabad
- **Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods**
  Tayebeh Irani , Hirad Abghari, Ali Akbar Rasouli
- **Comparison of EPM and RUSLE models in estimating erosion and sediment production using GIS (Case study: Chamgardalan ...**
  Saleh Arekhi, Sharam Barani

ISSN:2322-1682
Published by
Ferdowsi University of Mashhad