

- اولویت‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکره فتح‌الله نادری، بهروز ناصری، یاسم خان محمدیان، عماد سلامت، محمدتقی کوشا
- صحت‌سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش ERA5 (مطالعه موردی: حوضه زشک) سعیده پورانتظاری، کاظم اسماعیلی، علیرضا فریدحسینی، الهه غفاری
- بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدوده متمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه رضا عباسیان ولندر، شهرام روستایی
- پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تأکید بر سیل‌خیزی حمیدرضا معصومی، علیرضا حبیبی، محمدرضا پارسامهر
- اثرات تحول سنی لن‌دفرم‌ها بر دینامیک کربن پدوسفر ... امیر محسنی، ندا محسنی، علیرضا کریمی
- ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی مجید احمدی ملاوردی، ایرج جباری، امان‌اله فتح‌نیا
- ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور... عقیل مددی، صیاد اصغری سراسکانرود، سعید نگهبان، مهری مرحمت
- بررسی نقش کاربری بهینه اراضی در تولید رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهر اعظم شیراز) محمدتقی دستورانی، محمود رضا براهیمی، علی‌اکبر کریمیان، امیر اسماعیل‌پور زرمهری
- ارزیابی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان مهرشاد طولابی‌نژاد، محمد آزادپور، زینب دولتشاهی
- بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با ... صالح آرخی، مرضیه برزگر سواسری، سمیه عمادالدین
- بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین‌ماه ... کوهزاد رئیس‌پور، حسین عساکره
- جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک طوفان برف با کولاک گسترده در ایران-۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰ مهدی صداقت، حمید نظری‌پور، علیرضا صادقی‌نیا
- تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (محدوده موردبررسی: شهر کاشمر) علی حاجی‌زاده شیخوانلو، حبیب خاوری، مهناز رمضانی
- تحلیل و سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده ... امین لطیفی، کرامت‌اله زیاری، سید مجید نادری
- تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری در دوران پاندمی کرونا ... یاسر قلی‌پور





فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی (نشریه علمی)

سال یازدهم، شمارهٔ چهل و سوم، پائیز ۱۴۰۱

شاپا الکترونیکی: ۳۰۷۶-۲۳۸۳

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۱۶۸۲

- **اولویت‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکترونیک**
فتح‌الله نادری، بهروز ناصری، یاسم خان محمدیان، عماد سلامت، محمدتقی کوشا
- **صحت‌سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش ERA5 (مطالعه موردی: حوضه زشک)**
سعیده پورانتظاری، کاظم اسماعیلی، علیرضا فریدحسینی، الهه غفاری
- **بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدودهٔ تتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه**
رضا عباسیان ولندر، شهرام روستایی
- **پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانود با تأکید بر سیل‌خیزی**
حمیدرضا معصومی، علیرضا حبیبی، محمدرضا پارسامهر
- **اثرات تحول سنی لندها بر دینامیک کربن پدوسفر ...**
امیر محسنی، ندا محسنی، علیرضا کریمی
- **ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی**
مجید احمدی ملاوردی، ایرج جباری، امان‌اله فتح‌نیا
- **ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور...**
عقیل مددی، صیاد اصغری سراسکانرود، سعید نگهبان، مهری مرحمت
- **بررسی نقش کاربری پهنه اراضی در تولید رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نهر اعظم شیراز)**
محمدتقی دستورانی، محمود رضا براهیمی، علی‌اکبر کریمیان، امیر اسماعیل‌پور زرمهری
- **ارزیابی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان**
مهرشاد طولابی‌نژاد، محمد آزادپور، زینب دولتشاهی
- **بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با ...**
صالح آرخی، مرضیه برزگر سواسری، سمیه عمادالدین
- **بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین‌ماه ...**
کوهزاد رئیس‌پور، حسین عساکره
- **جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک طوفان برف با کولاک گسترده در ایران-۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰**
مهدی صداقت، حمید نظری‌پور، علیرضا صادقی‌نیا
- **تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (محدوده موردبررسی: شهر کاشمر)**
علی حاجی‌زاده شیخ‌انلو، حبیب‌خاوری، مهناز رضائی
- **تحلیل و سطح‌بندی پیران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده ...**
امین لطیفی، کرامت‌اله زیاری، سید مجید نادری
- **تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری در دوران پاندمی کرونا ...**
یاسر قلی‌پور



دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول: دکتر سیدرضا حسین زاده
سرمدیر: دکتر محمد رحیم رهنما
هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

شعبان شتایی جویباری - دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (دکترای علوم جنگل - سنجش از دور)
بختیار فیضی زاده - دانشیار دانشگاه تبریز (دکتری جغرافیا - سنجش از دور و GIS)
منیژه قهرودی تالی - استاد دانشگاه شهید بهشتی تهران (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
ابوالفضل مسعودیان - استاد دانشگاه اصفهان (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)
مسعود مینائی - دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد (دکتری جغرافیا - سنجش از دور GIS)
حسین نگارش - دانشیار دانشگاه سیستان و بلوچستان (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
احمد نوحه گر - استاد دانشگاه تهران (گروه برنامه ریزی مدیریت و آموزش محیط زیست)
سعدالله ولایتی - استاد دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای زمین شناسی)
مجتبی یمانی - استاد دانشگاه تهران (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)

Prof. Victor R. Baker (Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona)
Prof. Ziyadin Çakır (Department of Geology, Istanbul Technical University)
Prof. Gao-Lin Wu (Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences)

جعفر جوان - استاد دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای جغرافیا - روستایی)
زهرا بیگم حجازی زاده - استاد دانشگاه خوارزمی تهران (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)
سید رضا حسین زاده - دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
بهروز ساری صراف - استاد دانشگاه تبریز (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)

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

بر اساس آئین نامه کمیسیون نشریات وزارت علوم تحقیقات و فناوری 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 ندا محسنی کارشناس اجرایی: سید محمد علی موسوی ویراستاری انگلیسی: مرکز ویراستاری دانشکده ادبیات و علوم انسانی (عبداله نوروزی)
ویراستاری ادبی: دکتر جواد میزبان حروف نگاری و صفحه آرایی: الهه تجویدی طراحی جلد: امیراسفندیار عامل محرابی

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 ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی، کد پستی ۹۱۷۹۴۸۸۳

<http://geoeh.um.ac.ir>

E-mail: geo.eh@um.ac.ir

نشانی اینترنتی:

شماره پروانه: ۳/۲۷۱۱۶ - این مجله در نشست کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۰، رتبه علمی - پژوهشی دریافت کرده است.

این مجله در پایگاه های زیر نمایه می شود:

- 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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پائیز ۱۴۰۱

شاپا چاپی : ۱۶۸۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی : ۲۳۸۳-۳۰۷۶

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

جغرافیا و مخاطرات محیطی

۱-مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی به دلیل تخصصی بودن فقط در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیطی (طبیعی و انسانی) پذیرای مقالات می باشد.

۲-مقاله باید حاصل کار پژوهشی نویسنده (یا نویسندگان) باشد، قبلاً در نشریه دیگری اعم از داخلی و خارجی و یا مجموعه مقالات همایش‌ها به چاپ نرسیده باشد و همچنین به طور همزمان برای مجله دیگری ارسال نشده باشد.

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.

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

۴-ساختار مقاله باید مشتمل بر عنوان، اسامی نویسنده (یا نویسندگان) چکیده فارسی، واژگان کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها (شامل زیر بخش‌های: منطقه مورد مطالعه، مطالعات میدانی، آنالیزهای آزمایشگاهی و روش‌های استفاده شده)، نتایج و بحث، جمع‌بندی، قدردانی و تشکر، فهرست منابع و ضمايم و چکیده مبسوط انگلیسی باشد.

نکته: لطفاً دقت شود که همه بخش‌ها و زیر بخش‌ها به استثنای تیتیر "چکیده" شماره‌گذاری شوند. همچنین زیر بخش‌های مربوط به "مواد و روش‌ها" بر حسب ماهیت کار قابل تغییر است.

۵- علاوه بر شماره صفحه، تمامی خطوط بطور پیوسته باید شماره گذاری شوند (Line Numbers).

۶-چکیده مبسوط انگلیسی حداقل ۲ و حداکثر ۳ صفحه و اجزاء آن شامل: Introduction, Materials and methods, Result and discussion, Conclusion, Key words باشد

۷-حجم مقاله شامل تمام اجزاء آن با رعایت استانداردهای حروفچینی مجله باید حداکثر ۱۸ صفحه باشد. مقالات با حجم بیش از ۱۸ صفحه قابل بررسی نخواهد بود.

۸- حروفچینی مقاله باید در برنامه Word 2007 و بالاتر بر روی کاغذ A4 با فواصل ۳,۵ سانتی‌متر از بالا، ۳,۵ سانتی‌متر از پایین، ۳ سانتی‌متر از چپ و ۳ سانتی‌متر از راست صورت گیرد. Header: ۲,۷۵ و Footer: ۳ عنوان مقاله با قلم ۱۳ پرنرنگ B Lotus. اسم، فامیل- مرتبه علمی با قلم ۱۱ پرنرنگ B Lotus، نویسنده مسؤول، شماره تلفن و ایمیل نویسنده به صورت پاورقی و با قلم ۱۱ B Lotus باشد. چکیده ۱۲ پرنرنگ B Lotus، متن چکیده ۱۲ B Lotus. (چکیده و متن آن با فواصل ۲ سانتی‌متر از سمت چپ و ۲ سانتی‌متر از سمت راست از متن اصلی باشد). تیتیرهای اصلی متن ۱۲ پرنرنگ B Lotus با فاصله ۱۲ pt از پاراگراف قبل و ۸ pt از پاراگراف بعد. کل متن با ۱۳ B Lotus.

۹- شماره و عنوان جداول در بالا و با قلم ۱۲ پرنرنگ B Lotus نوشته شود.

۱۰- تمام نقشه‌ها، نمودارها، شکل‌ها و عکس‌ها به طور یکنواخت با عنوان شکل شماره گذاری و شماره و عنوان اشکال در زیر آن با قلم ۱۲ پرنرنگ B Lotus درج گردد.

۱۱- شیوه ارجاع انواع منابع در انتهای مقاله باید بر اساس حروف الفبا و بصورت زیر باشد. در ابتدا منابع فارسی (B Lotus 12) و در ادامه منابع انگلیسی (Times New Roman 11) ذکر شوند:

Johnson RM, Warburton J. 2002. Flooding and geomorphic impacts in a mountain torrent: Raise Beck, central Lake District, England. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 945-969.

کتاب انگلیسی:

Bull WB. 1991. *Geomorphic Responses to Climate Change*. University Press, Oxford.

Amoroso GG, Fassina V. 1983. *Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection*. Elsevier Science Publishers: Amsterdam

مقالات فارسی:

حجازی زاده، زهرا. (۱۳۷۶). نقش پرفشار جنب حاره در تغییر فصل ایران. چاپ در مجموعه مقالات کنگره جغرافیدان ایران. تبریز، صص ۱۸۵-۱۷۴.

بحری، معصومه؛ دستورانی، محمدتقی. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۲۲، ۳۷-۵۷.

کتاب فارسی:

مخدوم، مجید. (۱۳۸۱). *شالوده آمایش سرزمین*. انتشارات دانشگاه تهران.

تبصره ۱: در صورتی که صاحب اثر شخصیت حقوقی یعنی سازمان یا نهاد دولتی باشد به جای نام خانوادگی و نام نویسنده عنوان سازمان و یا نهاد مربوطه ذکر می شود.

تبصره ۲: در صورت استفاده از پایان نامه و رساله های تحصیلات تکمیلی، ذکر نام استاد راهنما، عنوان رشته و نام دانشگاه الزامی است.

- نحوه ارجاع داخل متن بر اساس نام نویسنده و سال انتشار طبق نمونه های زیر با قلم ۱۲ B Lotus برای مقالات فارسی و قلم Times New Roman برای مقالات انگلیسی:

(محمودی، ۱۳۶۸)، (بحری و دستورانی، ۱۳۹۶)، (محمودی و همکاران، ۱۳۶۸)

(Johnson & Warburton, 2002)، (Baker et al., 1988)، (Knox, 2000)

۱۳- مقاله در دو قالب، یک فایل Word و یک فایل Pdf آماده و با ثبت نام در سامانه مجله به آدرس: <http://Geoeh.um.ac.ir> ارسال گردد. مکاتبات بعدی می تواند از طریق پست الکترونیک مجله به آدرس Geo.eh@um.ac.ir انجام گیرد.

۱۴- مسئولیت صحت مطالب مقاله از نظر حقوقی به عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود.

۱۵- مجله حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ داشته و مقالات دریافتی عودت داده نخواهد شد.

۱۶- مقاله های ارسال شده به نویسنده جهت انجام اصلاحات در صورت عدم دریافت پاسخ در تاریخ تعیین شده، به منزله انصراف از چاپ تلقی می گردد.

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. پاکزاد آزادخانی (استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه باختر ایلام)
۲. مرضیه اسمعیل پور (استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی دانشگاه مراغه)
۳. مرتضی اکبری (استادیار بیابان زدایی گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۴. شهرام بهرامی (دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی)
۵. خدیجه بوزرجمهری (دانشیار جغرافیای برنامه ریزی روستایی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۶. بهرام چوبین (استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی)
۷. حسن حاجی حسینلو (استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی)
۸. صابر حیدری (استادیار تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان)
۹. امیدعلی خوارزمی (استادیار مدیریت نوآوری - توسعه ملی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۰. رضا دوستان (استادیار جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۱. حمید رحیمی (دکتری مخاطرات اقلیمی و اتمسفریک دانشگاه رازی - کرمانشاه)
۱۲. محسن رضائی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری - مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)
۱۳. حمدااله سجاسی قیداری (دانشیار جغرافیای برنامه ریزی روستایی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۴. حمید شایان (استاد جغرافیای انسانی گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۵. طاهره صادقلو (استادیار جغرافیای برنامه ریزی روستایی گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۶. بختیار فیضی زاده (دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS دانشگاه تبریز)
۱۷. جمیله قلی پور (دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی (گروه علوم و مهندسی آب) دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۸. فرانک کرمان (دانشجوی دکتری مدیریت کارآفرینی دانشگاه رازی کرمانشاه)
۱۹. ندا محسنی (دانشیار جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۰. وحید محمدنژاد (استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا دانشگاه ارومیه)
۲۱. ابوالفضل مساعدی (استاد هیدرولیک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۲. سید عادل مفتخرزاده (دانشجوی دکتری علوم دامی دانشگاه تبریز)
۲۳. مسعود مینائی (دانشیار جغرافیا - سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۴. روح الله ندیری (استادیار مخاطرات ژئومورفیک - هیدرولوژیک دانشگاه پیام نور قم)
۲۵. سعید نگهبان (دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه شیراز)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱	• اولویت‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکتره فتح‌الله نادری، بهروز ناصری، یاسم خان محمدیان، عماد سلامت، محمدتقی کوشا
۲۳	• صحت‌سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش ERA5 (مطالعه موردی: حوضه زشک) سعیده پورانتظاری، کاظم اسماعیلی، علیرضا فریدحسینی، الهه غفاری
۴۳	• بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدودهٔ متممان نازلوچای، شمال غرب ارومیه رضا عباسیان ولندر، شهرام روستایی
۶۷	• پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تأکید بر سیل‌خیزی حمیدرضا معصومی، علیرضا حبیبی، محمدرضا پارسامهر
۸۵	• اثرات تحول سنی لن‌دفرم‌ها بر دینامیک کربن پدوسفر ... امیر محسنی، ندا محسنی، علیرضا کریمی
۱۰۱	• ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی مجید احمدی ملاوردی، ایرج جباری، امان‌اله فتح‌نیا
۱۲۳	• ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور... عقیل مددی، صیاد اصغری سراسکانرود، سعید نگهبان، مهری مرحمت
۱۴۷	• بررسی نقش کاربری بهینه اراضی در تولید رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهر اعظم شیراز) محمدتقی دستورانی، محمود رضا براهیمی، علی‌اکبر کریمیان، امیر اسماعیل‌پور زرمهری
۱۶۳	• ارزیابی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان مهرشاد طولابی‌نژاد، محمد آزادپور، زینب دولتشاهی
۱۸۹	• بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، VCI و TCI در ارزیابی خشکسالی با ... صالح آرخی، مرضیه برزگر سواسری، سمیه عمادالدین
۲۲۵	• بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین‌ماه ... کوهزاد رئیس‌پور، حسین عساکره
۲۵۱	• جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک طوفان برف با کولاک گسترده در ایران-۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰ مهدی صداقت، حمید نظری‌پور، علیرضا صادقی‌نیا
۲۶۹	• تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (محدوده موردبررسی: شهر کاشمر) علی حاجی‌زاده شیخوانلو، حبیب‌خاوری، مهناز رمضان
۲۸۵	• تحلیل و سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده ... امین لطیفی، کرامت‌اله زیاری، سید مجید نادری
۳۱۱	• تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری در دوران پاندمی کرونا ... یاسر قلی‌پور



بسمه تعالی

توافقنامه همکاری علمی

این توافقنامه فی مابین مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی و انجمن کواترنری ایران و به منظور همکاری در ادامه انتشار نشریه علمی با عنوان: جغرافیا و مخاطرات محیطی در زمینه بررسی مخاطرات محیطی منعقد می گردد.

ماده ۱- نشریه به صورت فصلنامه و هرسال چهار شماره به زبان فارسی منتشر می شود. صاحب امتیاز نشریه دانشگاه فردوسی مشهد بوده و اهداف آن عبارت اند از: گسترش و ارتقاء پژوهش در سطح کشور، کمک به ایجاد ارتباط و همکاری علمی بین محققین این زمینه در ایران، انتشار نتایج پژوهش های علمی.

ماده ۲- امور علمی نشریه را هیأت تحریریه که حداقل یک چهارم اعضای آن از اعضای انجمن هستند انجام خواهند داد. تبصره ۱: انجمن متعهد می شود 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 خواهد شد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

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

ماده ۴- روی جلد نشریه علاوه بر نشان دانشگاه فردوسی مشهد نشان انجمن کواترنری ایران با اندازه یکسان چاپ خواهد شد.

ماده ۵- در صفحه حقوقی تمامی شماره های نشریه، این جمله آورده شود «این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن کواترنری ایران است».

ماده ۶- کلیه هزینه های آماده سازی نشریه اعم از هزینه های داوری، حق الزحمه ویراستار مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ، ... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

ماده ۷- هزینه های 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 خواهد شد.

ماده ۸- هرگاه یکی از طرفین قرارداد مایل به فسخ آن باشد بایستی تصمیم خود را حداقل شش ماه زودتر کتباً به اطلاع طرف مقابل برساند. در صورت توافق طرفین به فسخ توافقنامه، نتیجه توسط دبیر انجمن یا مدیر مسئول 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.

۹- این قرارداد در ۸ ماده و دو تبصره در دو نسخه به مدت ۴ سال تنظیم گردید و در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ توسط دکتر احمد رضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر فریبرز قریب (رئیس هیأت مدیره انجمن کواترنری ایران) به امضاء رسید.

دکتر احمد رضا بهرامی
معاون پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد



دکتر فریبرز قریب
رئیس هیأت مدیره انجمن کواترنری ایران

معاونت پژوهش و فناوری

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: امور علمی نشریه را هیأت تحریریه، که حداقل یک چهارم اعضای آن از بین اعضای انجمن هستند، انجام خواهند داد. تبصره ۱: 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 خواهد شد. 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 خواهد شد.

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

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، حق الزحمه ویراستار، مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ، ... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

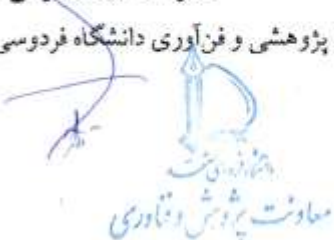
ماده ۷: هزینه‌های لیتوگرافی و چاپ نشریه (فیلم و زینگ، کاغذ، چاپ نشریه و جلد، صحافی) به صورت مشترک و با سهم مساوی توسط انجمن و موسسه متقاضی پرداخت خواهد شد.

ماده ۸: هرگاه یکی از طرفین قرارداد مایل به فسخ آن باشد باید تصمیم خود را حداقل شش ماه زودتر کتباً به اطلاع طرف مقابل برساند. در صورت توافق طرفین به فسخ توافقنامه، نتیجه توسط دبیر انجمن یا مدیر مسئول 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.

۹- 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 احمد رضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر مجتبی یمانی (رییس هیأت مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی) به امضاء رسید.

دکتر احمد رضا بهرامی

معاون پژوهشی و فن آوری دانشگاه فردوسی مشهد



دکتر مجتبی یمانی

رییس هیأت مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی



معاونت پژوهش و فن آوری



Prioritization of Flood Risk in Ganjvan Watershed of Ilam Province using ELECTRE Model

Fathollah Naderi^a, Behroz Naseri^{b*}, Yasem KhanMohamadian^c, Emad Salamat^d,
MohamadTaqhi Kosha^e

^a PhD Candidate in Geomorphology, Environmental Management, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

^b Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran

^c PhD Candidate in Biological Sciences, Ilam University, Ilam, Iran

^d MSc in Agricultural Extension and Education, University of Agriculture and Natural Resources, Khuzestan, Iran

^e MSc in Natural Resources (Forestry), Ilam University, Ilam, Iran

Received: 9 November 2021

Revised: 6 February 2022

Accepted: 13 February 2022

Abstract

Environmental hazards and dealing with them are among the most important concerns of researchers in the field of environmental planning and crisis management. Among these hazards, flood is one of the most dangerous natural disasters that should be given special attention in crisis management. Therefore, prioritizing sub-basins for watershed management operations considering flood control seems necessary. The study tried to prioritize the Ganjvan watershed basins in Ilam province to implement flood control management plans against floods using the multi-criteria ELECTRE decision-making method. For this purpose, the studied watershed was divided into five sub-basins of Rizevand, Sarcham Deh Haroon, Sarpetak, Sartang Bijar and Ganjvan. The criteria for prioritization were lithology, slope, height, precipitation, land use and drainage density. The weights of the criteria were obtained based on their entropy model and using the ELECTRE model of watershed sub-basins in the prioritization area. The prioritization map of these sub-basins was then prepared. Flood risk prioritization map in the studied area shows that Ganjvan sub-basin with the highest flood potential has the first priority and Sartang Bijar sub-basin is the second priority to implement flood control watershed management plans.

Keywords: Watershed Management, Entropy, ELECTRE, Flood, Ganjvan

*. Corresponding author: Behroz Naseri E-mail: naseribehroz@yahoo.com Tel: +989181402383

How to cite this Article: Naderi, F., Naseri, B., Khanmohamadian, Y., Salamat, E., & Kosha, M. (2022). Prioritization of flood risk in Ganjvan Watershed of Ilam province using ELECTRE Model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 1-21.

DOI: 10.22067/geoh.2022.73531.1131



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant
With open access mandates, by publishing its articles under Creative
Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73531.1131> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۱-۱

مقاله پژوهشی

اولویت‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکترون

فتح‌الله نادری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی گرایش مدیریت محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

 بهروز ناصری^۱ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

یاسم خان‌محمدیان - دانشجوی دکتری علوم زیستی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

عماد سلامت - کارشناس ارشد ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران

محمدتقی کوشا - کارشناسی ارشد منابع طبیعی، گرایش جنگلداری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴

چکیده

امروزه مخاطرات محیطی و مقابله با آن‌ها از جمله مهم‌ترین دغدغه‌های پژوهشگران در زمینه برنامه‌ریزی محیطی و مدیریت بحران است. از میان این مخاطرات، پدیده سیل به‌عنوان یکی از پرخطرترین بلایای طبیعی است که در مدیریت بحران باید نگاه ویژه‌ای را به آن معطوف داشت؛ بنابراین اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها جهت اجرای عملیات آبخیزداری با نگاه مقابله با سیل و کنترل آن، امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی شده تا حوضه‌های حوضه آبخیز گنجوان در استان ایلام جهت اجرای طرح‌های آبخیزداری مقابله با سیل‌خیزی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره الکترون الکترون اولویت‌بندی شود. برای این منظور حوضه آبخیز مورد مطالعه به پنج زیرحوضه ریزه وند، سرچم ده‌هارون، سرپتک، سرتنگ بیجار و گنجوان تقسیم گردید. معیارهای مورد نظر جهت اولویت‌بندی شامل سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، بارش، کاربری اراضی و تراکم زهکشی می‌باشد. وزن معیارها بر اساس مدل آنتروپی آن‌ها به‌دست آمده و با استفاده از مدل الکترون الکترون الکترون در منطقه اولویت‌بندی، بررسی و سپس

Email: naseribehroz@yahoo.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۴۰۲۳۸۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

نادری، فتح‌الله؛ ناصری، بهروز؛ خان‌محمدیان، یاسم؛ سلامت، عماد؛ کوشا، محمدتقی. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی خطر سیل در

حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکترون الکترون الکترون. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۲۱-۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73531.1131>

نقشه‌ی اولویت‌بندی این زیرحوضه‌ها تهیه شد. نقشه‌ی اولویت‌بندی خطر سیل در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که زیرحوضه‌ی گنجوان با بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی در اولویت اول و زیرحوضه‌ی سرتنگ بیچار در اولویت دوم جهت اجرای طرح‌های آبخیزداری مقابله با سیل قرار دارند. دلیل بالا بودن خطر سیل‌خیزی این زیرحوضه، ساختار زمین‌شناسی منطقه است که در قسمت بالادست از سازند گچساران با نفوذپذیری کم و در قسمت پایین‌دست از سازندهای بسیار حساس به فرسایش رسوبات آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی پوشیده شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: آبخیزداری، آنتروپی، الکترو، سیل‌خیزی، گنجوان.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین نتایج بهره‌برداری غیراصولی انسان از محیط طبیعی را می‌توان افزایش پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز برشمرد که هر ساله خسارات هنگفتی به سرمایه‌های ملی کشور وارد می‌نماید (روغنی و همکاران، ۱۳۸۷). به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی ناشی از بارش‌های مداوم و شدید باران به علت افزایش سریع و ناگهانی مقدار دبی رودخانه‌ها و سرریز به دشت‌ها و مناطق اطراف ایجاد می‌شود. با بررسی دشت‌های سیلابی قدیمی و آبرفت‌ها مشخص می‌شود این پدیده طبیعی تابع شدت بارندگی، نفوذپذیری زمین و وضع توپوگرافی مناطق است. البته امروزه به دلیل دخالت‌های بی‌رویه در بسیاری نقاط کشور، طغیان‌های بزرگی مشاهده می‌شود و دخالت‌های بشر از جمله ساختمان‌سازی در حاشیه رودخانه‌ها احتمال وقوع سیل را افزایش می‌دهد. در کنار عملیات بازگشایی حریم رودخانه‌ها، آبخیزداری یکی از فعالیت‌های پایه‌ای در زمینه حفظ خاک و پیشگیری از سیلاب‌های ناگهانی است. از مهم‌ترین مسائلی که در مدیریت حوضه‌های آبخیز می‌بایست در نظر گرفت، مشخص نمودن اولویت، نوع و میزان مشکلات در هر یک از زیرحوضه‌ها در سطح حوضه آبخیز می‌باشد؛ بنابراین اولویت‌بندی هر یک از زیرحوضه‌ها به‌منظور شناسایی و آگاهی از میزان سیلاب تولیدی و اثرات آن در خروجی حوضه می‌تواند نقش بسیار عمده‌ای در مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز داشته باشد. از مهم‌ترین مطالعات در زمینه اولویت‌بندی حوضه‌ها از نظر سیلاب و کنترل آن به‌منظور کاهش خطرات ناشی از آن می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

خیاط خلقی (۱۳۸۱) در تحقیقی با استفاده از روش MCDM زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کن در شمال تهران به‌منظور کنترل سازه‌های سیلاب را اولویت‌بندی نمود. نتایج نشان داد که روش تصمیم‌گیری چند معیاره با توجه به در نظر گرفتن معیارهای مختلف و چندین تابع هدف در برنامه‌ریزی خطی، می‌تواند در مدیریت آبخیزها مؤثر باشد. **تقیان و فرازجو (۱۳۸۶)**، در تحقیقی مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان را تعیین کردند. در این مقاله با تلفیق GIS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، شدت سیل‌خیزی یا به عبارتی میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی کل حوضه در محل سد گلستان تعیین می‌شود. بدین منظور

با استفاده از روش واکنش سیل واحد در محیط مدل HEC-HMS، زیر حوضه‌های آبخیز سد گلستان از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی شده‌اند. **روغنی و همکاران (۱۳۸۷)** عملیات کنترل سیلاب از طریق به‌کارگیری شاخص مکانی سیل حوضه آبخیز باغملک را اولویت‌بندی کردند. نتایج تحقیق بیانگر این است که با تمرکز عملیات آبخیزداری و مهار سیلاب در زیرحوضه‌های واقع در سطوح حوضه، مطابق با اولویت‌های تعیین شده ضمن دسترسی مطلوب به اهداف طرح، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در هزینه‌های اجرائی پروژه‌ها قابل حصول است. **محمدی و احمدی (۱۳۹۰)** اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز معروف جهت ارائه برنامه‌های احیائی آبخیزداری را موردبررسی قرار دادند. سپس بر اساس ماتریس به دست آمده میزان اهمیت هریک از معیارها، به‌صورت کمی، در سطح زیرحوضه‌ها تعیین شد. درنهایت با جمع دامنه کلی تغییرات در سطح هر یک از زیرحوضه‌ها میزان کمی اهمیت هریک از عوامل در ایجاد مشکلات در هشت اولویت‌کاری تعیین گردید. **بهرامی و همکاران (۱۳۹۰)** نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد بوستان از نظر سیل‌خیزی و ارائه راهکارهای مدیریتی را مورد مطالعه قرار دادند. **رحمتی و همکاران (۱۳۹۴)** در تحقیقی اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان براساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین زیرحوضه‌های با بیشترین اولویت، جهت اجرای اقدامات آبخیزداری شناسایی کند. **شعبانی بازنشین و همکاران (۱۳۹۵)** پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل در حوضه آبخیز نکا را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سهم زیر حوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست و عواملی چون موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها و روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیر قابل توجهی دارند. **بدری و همکاران (۱۳۹۵)** اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی را موردبررسی قرار دادند. نتایج اولویت‌بندی براساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نشان‌دهنده این است که زیرحوضه بهشت‌آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها بیشترین و زیرحوضه تنگ دهنو کمترین تأثیر را داشته است. **جورب اسویل و وارگاس (۲۰۱۴)** در تحقیقی از مدل هیدرولوژیکی MIKE SHE با مقایسه داده‌های مشاهداتی جهت ارزیابی خطر سیل در مکزیکوسیتی را شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که از این مدل در مناطقی که از داده‌های مشاهداتی کمتری جهت ارزیابی خطر سیل برخوردارند، می‌توان مورد استفاده قرار داد. **فرانک و همکاران^۲ (۲۰۱۶)** در تحقیقی خطر سیل و اولویت‌بندی اقدامات دو ابزار کلیدی در توسعه برنامه ملی اقدامات مدیریت خطر سیل در مولداوی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق با استفاده از ۱۲ شاخص خطر سیل که نشان‌دهنده تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیل است، ارزیابی شدند. اولویت‌بندی اقدامات شامل فراوانی اندازه‌گیری،

1 Gourbesville et al

2 Frank et al

میزان ریسک قابل کاهش با اندازه‌گیری، نسبت منافع و هزینه اندازه‌گیری بود. اسکورزینی و لئوپاردی^۱ (۲۰۱۷) در تحقیقی با عنوان برنامه‌ریزی حوضه رودخانه ارزیابی خطر سیل با تلفیق مدل‌های کیفی و کمی در منطقه ابروزو (مرکز ایتالیا) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که اگر از نقشه‌برداری کیفی در مقیاس حوضه برای شناسایی اولیه مناطق پرخطر استفاده کرد، بایستی با ارزیابی تحلیلی خسارات ناشی از سیل از طریق مدل‌های کمی ادغام شود، تا نتایج مورد قبول و عینی باشد.

از مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته توسط محققین راجع به مدل الکتره می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: عطایی (۱۳۸۷) در تحقیقی انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا سیمان با استفاده از روش الکتر در استان آذربایجان شرقی را انجام دادند. در این مقاله به منظور محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا سیمان در استان آذربایجان شرقی از روش الکتر استفاده شده است. خدابخشی و جعفری (۱۳۸۹) در یک کار مطالعاتی کاربرد مدل دسته‌بندی چند معیاره Electre-TRI در تعیین اهمیت آثار محیط زیستی در سد و شبکه آبیاری زهکشی اردبیل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از کاربرد این مدل برای تعیین اهمیت آثار محیط زیستی فعالیت‌های طرح سد و شبکه آبیاری زهکشی اردبیل و مقایسه آن با روش رایج استفاده شده در این طرح گامی به منظور معرفی روش‌های جدید ارزیابی آثار محیط زیستی در سطح جهانی و امکان‌سنجی کاربرد آن در فرایند EIA در ایران است. فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۹۳) تبیین نابرابری فضایی سطح سلامت در شهرستان‌های استان خراسان رضوی را با استفاده از مدل تصمیم‌گیری الکتره مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر وجود نابرابری فضایی سلامت بین شهرستان‌های استان است. شماعی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به منظور رتبه‌بندی مناطق شهر اهواز از روش تحلیل تصمیم‌گیری چند متغیره (الکتر) استفاده کردند که در این تحقیق از ۱۲ شاخص در جهت توسعه شهری بکار گرفتند. همچنین به منظور وزن دهی معیارها نیز از مدل AHP استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که توزیع منابع و امکانات شهر اهواز متناسب با توزیع جمعیت مناطق نیست. ملماسی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی روش ELECTRE را در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های سدسازی مورد استفاده قرار دادند. در این تحقیق استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد، باعث انجام فرآیند تصمیم‌گیری صحیح برای ارزیاب ریسک و انتخاب گزینه برتر از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها در تقابل با معیارهای تعیین شده، گردید. سدیدی و همکاران (۱۳۹۶) در یک کار تحقیق از روش ترکیبی ELECTRE-FAHP برای ارزیابی تناسب اراضی با رویکرد مکان‌یابی دفن پسماند در شهر اهواز استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که رویکرد ترکیبی به دلیل لحاظ کردن ماهیت نادقیق پدیده‌ها در وزن‌دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها، کارایی بهتری نسبت به روش‌های پیشین انتخاب مراکز دفن جدید (صفیره) و قدیم (برومی) دارد. پرورش و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل

سیل‌خیزی به کمک روش الکترو نوع ۳ و ضریب جریان سیلابی در زیرحوضه‌های آبخیز سرخون بندرعباس را انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که روش الکترو می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های دارای اولویت معرفی شود. **سیدمحمدی و همکاران (۱۳۹۷)** کاربرد روش‌های ELECTRE TRI و پارامتریک در ارزیابی تناسب بخشی از اراضی دشت مغان برای کشت ذرت تحت آبیاری بارانی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. در این تحقیق با مقایسه میانگین مقادیر ویژگی‌های خاک و اراضی بین کلاس‌های تناسب تفکیک شده در روش الکترو برای آزمون LSD اختلاف معنی‌دار را نشان داد که حاکی از دقت بالای این روش به دلیل تعیین حدود مناسب انتقالی (مرز بین کلاس‌ها)، مقادیر مناسب آستانه‌ها و وزن‌های ویژگی‌ها و استفاده از روابط و اصول منطق فازی در اجرای فرایندهای محاسبات می‌باشد. **مددی و همکاران (۱۳۹۷)** در تحقیقی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان چای، با استفاده از مدل ELECTRE را مورد پهنه‌بندی قرار دادند که در این تحقیق جهت تحلیل و مدل‌سازی نهایی از روش ELECTRE به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نمودند. **حلبیان و همکاران (۱۳۹۷)** در تحقیقی با استفاده از روش ELECTRE بهترین مکان برای احداث سد خاکی در حوضه آبخیز شاه‌رود- بسطام را انتخاب کردند. یافته‌ها و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در روش ELECTRE بین هفت پهنه حاصله، پهنه‌های (۳، ۴، ۵) با ۴ بار تسلط و با ۲ بار مغلوب شدن با (۲) امتیاز در رتبه اول قرار گرفتند و لذا مناسب‌ترین پهنه جهت احداث سدهای خاکی هستند. **انتظاری و جلیلیان (۱۳۹۸)** در تحقیقی حوضه‌های آبخیز از نظر ریسک خطر وقوع زمین‌لغزش در استان کرمانشاه براساس مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ELECTRE-1 را اولویت‌بندی کردند. در این تحقیق از روش الکترو به دلیل نداشتن مقایسات زوجی زیاد و طاقت‌فرسای روش‌هایی مانند AHP و همچنین کاربردهای موفقیت‌آمیز آن در رتبه‌بندی مناطق از نظر وقوع مخاطرات نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد، انتخاب گردیده است. **یو و همکاران^۱ (۲۰۱۸)** در تحقیقی ارزیابی مخاطرات هواشناسی چین بر اساس الگوریتم تکامل افتراقی و VIKOR را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق وزن نسبی شاخص‌ها از طریق الگوریتم تکامل افتراقی به دست آمد. **وانگ و همکاران^۲ (۲۰۲۱)** در تحقیقی بهینه‌سازی چندهدفه سیستم آب یکپارچه با استفاده از روش FUCOM-VIKOR را مورد بررسی قرار دادند. است. FUCOM شامل محاسبه ریاضی ساده است و نتایج ثابتی را به همراه دارد. از سوی دیگر، VIKOR یک تکنیک تصمیم‌گیری ثابت برای یکپارچه‌سازی فرایند است. در این تحقیق از رویکرد FUCOM-VIKOR برای ادغام اندازه مفید (ویژگی مثبت) و معیار پشیمانی (ویژگی منفی) استفاده شده است. **ونچائو و همکاران^۳ (۲۰۲۱)** در یک کار تحقیقاتی مهم‌ترین کاربردهای مدل‌های سیل شهری در به‌منظور کاهش سیل را در نواحی مختلف جهان

1 Yu et al

2 Ong et al

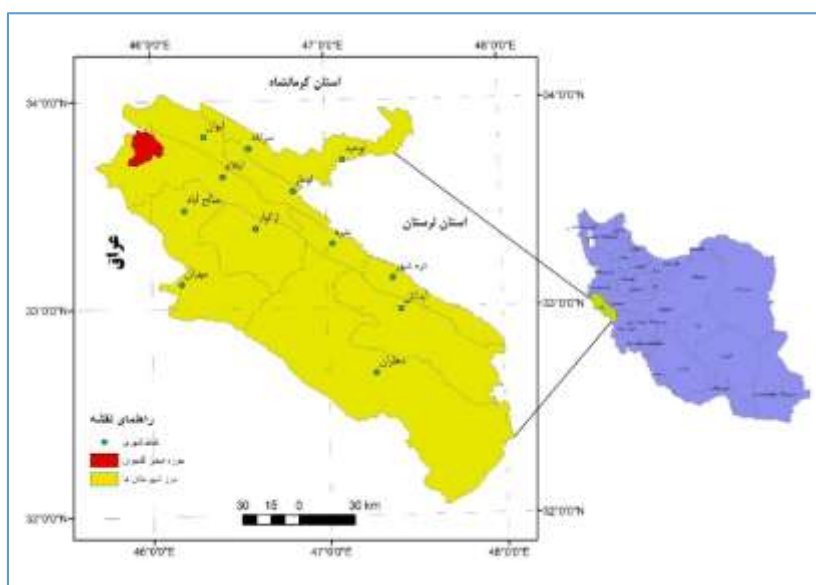
3 Wenchao et al

موردبررسی قرار دادند. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از این تحقیقات و همچنین خصوصیات تأثیرگذار بر وقوع سیل خیزی در منطقه‌ی مورد مطالعه، از تکنیک الکترون به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز گنجوان استان ایلام نسبت به خطر وقوع سیل استفاده شده است. لذا با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، امکان در نظر گرفتن معیارهای متنوع کمی و کیفی و استفاده از برآیند نظرات کارشناسی در وزن‌دهی معیارها میسر می‌شود که در این حالت تصمیم‌گیری نهایی با شرایط واقعی موجود در طبیعت همخوانی بیشتری دارد که این می‌تواند مهم‌ترین مزیت این روش نسبت به دیگر روش‌های مطالعاتی باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گنجوان به‌عنوان یکی از حوضه‌های آبخیز مرزی استان ایلام در ۳۵ کیلومتری شمال غرب شهر ایلام و در محدوده‌ی دهستان بولی از توابع شهرستان ایلام واقع شده است. این حوضه آبخیز در مختصات جغرافیایی ۵۲° ۵۲' تا ۵۵° ۲۶' و ۴۶° ۰۴' طول شرقی و ۳۱° ۴۱' تا ۳۳° ۵۲' عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت کل حوضه آبخیز ۲۱۱۷۸ هکتار و حداکثر ارتفاع آن ۱۶۸۵ و حداقل ۳۶۲ متر می‌باشد. از نظر اقلیمی این حوضه آبخیز تحت تأثیر جریان‌های غربی است. متوسط بارش سالانه آن ۵۶۰ میلی‌متر و نوع اقلیم بر اساس طبقه‌بندی دمارتن نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای می‌باشد. موقعیت حوضه آبخیز گنجوان در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گنجوان در کشور و استان

۲-۲- تعیین معیارها

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی در حوضه‌ها وجود دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر وقوع سیل در منطقه‌ی موردبحث، مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار که عبارتند از سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، تراکم شبکه زهکشی، بارش و کاربری اراضی انتخاب شدند.

عامل سنگ‌شناسی: ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و یا آبدوی مستقیم و در نتیجه تعادل جریان رودخانه و یا سیل‌خیزی حوضه تأثیر بسزایی دارند. چگونگی تخلیه آب زیر قشری و آب‌های زیرزمینی کم‌عمق به رودخانه که متأثر از ویژگی‌های زمین‌شناسی است بر روی جریان پایه و در نتیجه دبی سیلابی اثر می‌گذارد.

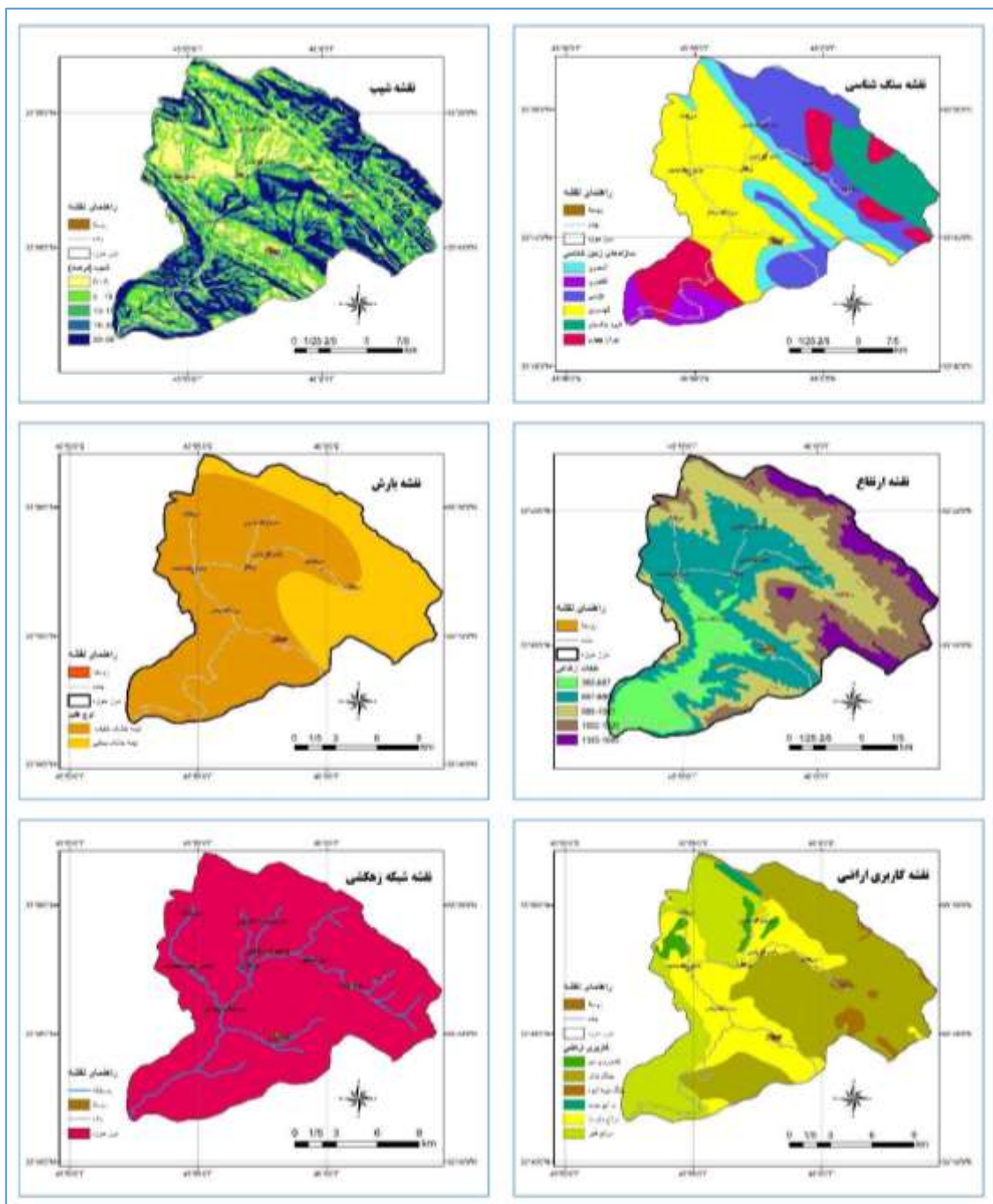
شیب دامنه‌ها: تأثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر عمق و ظرفیت نگهداری آب‌و خاک و همچنین فرصت نفوذ آب در آن و میزان نفوذ آب در خاک است. چنانچه مقدار شیب افزایش یابد، نقش عوامل افزایشنده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب زیاد می‌شود، زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه نزدیک با شیب آبخیز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد. در شرایط مساوی سرعت جریان در حوضه‌های با شیب تند نسبت به حوضه‌های با شیب ملایم سریع‌تر است. زیرا هر چه شیب بیشتر باشد، سرعت آب بیشتر شده و سریع‌تر به انتهای حوضه رسیده و زودتر تجمع می‌یابد و در نتیجه دبی اوج هیدروگراف تیزتر می‌گردد.

طبقات ارتفاعی: عامل ارتفاع هم نقش عمده‌ای در سیل‌خیزی حوضه‌ها دارد. دامنه‌های ارتفاعی بالاتر به جهت دریافت بارش‌های بیشتر زمینه‌ساز سرازیر شدن رواناب‌ها به سمت مناطق پایین هستند.

بارش: بارش نقش بسیار مهمی در ایجاد سیلاب و شکل هیدروگراف دارد. به‌طور مثال اگر در زمان بارش، حوضه از نظر رطوبت خاک اشباع و یا در حد اشباع باشد، میزان بارش مازاد به‌شدت افزایش می‌یابد و سیلاب به وجود می‌آید؛ و یا اگر بارش در نزدیکی خروجی حوضه اتفاق افتد، امکان تشکیل سیلاب خیلی بیشتر از مواقعی است که در نقطه‌ای دورتر از آن اتفاق افتد.

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. مثلاً از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت سبب افزایش حجم جریان و فزونی بده سیلاب می‌گردد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش بده سیلابی می‌گردد. چرای مفرط دام سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود و از سوی دیگر احداث مخازن تأخیری و تعدیلی موجب کاهش بده سیلابی می‌شود.

تراکم شبکه‌ی زهکشی: نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوضه‌ی آبخیز، تراکم زهکشی است. هرچه تراکم بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد.



شکل ۲- نقشه عوامل شش گانه مؤثر بر سیل خیزی حوضه آبخیز گنجوان

۲-۳- روش انجام پژوهش

۲-۳-۱- معرفی روش الکتراه

روش الکتراه^۱ یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه براساس تعدادی معیار است. در این روش کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسه‌های غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و به این ترتیب گزینه‌های غیر مؤثر حذف می‌شوند. کلیه مراحل تکنیک الکتراه بر مبنای یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهماهنگ پایه‌ریزی می‌شود که به همین خاطر به «آنالیز هماهنگی» معروف است. الکتراه در لغت به معنی «حذف و انتخاب مطابق با واقعیت» است (روی^۲، ۱۹۹۱). در این روش به جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهوم جدیدی معروف به مفهوم غیررتبه‌ای استفاده می‌شود. به طور مثال ممکن است از نظر ریاضی گزینه‌ای هیچ ارجحیتی به دیگر گزینه نداشته باشد اما تصمیم‌گیرنده و تحلیل‌گر بهتر بودن آن گزینه به دیگری را بپذیرد.

تکنیک الکتراه (ELECTRE) اولین بار توسط بنایون^۳ در سال ۱۹۶۶ معرفی شد و سپس در سال‌های بعد توسط افراد دیگری توسعه داده شد و نسخه‌های مختلفی از این روش شامل الکتراه ۱ و ۲ و ۳ و ۴ ارائه شدند. کلیه مراحل این تکنیک بر اساس یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهماهنگ ایجاد می‌شود. به طور کلی وظیفه این روش رتبه‌بندی گزینه‌ها (آلترناتیوهای) پژوهش است (روی^۲، ۱۹۹۰). این روش قادر به محاسبه وزن معیارها نیست؛ بنابراین باید با استفاده از روش‌های دیگر از جمله AHP و یا آتروپی و یا روش‌های جدید وزن معیارها را محاسبه نمود و به عنوان ورودی به این روش داد.

۲-۳-۲- مراحل اجرای روش الکتراه

مراحل اجرایی این مدل در نرم‌افزار اکسل EXCEL پیاده‌سازی و تحلیل شده است و گام به گام این تکنیک به زبان ساده بیان شده است. در ادامه به گام‌های اجرایی آن پرداخته می‌شود.

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و تعیین وزن معیارها و نوع معیارها: ماتریس تصمیم‌گیری روش الکتراه از نوع معیار-گزینه می‌باشد؛ یعنی یک ماتریسی که معیارها در ستون و سطرها گزینه‌های پژوهش را تشکیل می‌دهند.

گام دوم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری یا بی‌مقیاس‌سازی ماتریس: شاخص‌های کمی، مقیاس اندازه‌گیری مخصوص به خود را دارند که این کار مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. بنابراین باید به روشی آن‌ها را مستقل از واحد اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. با استفاده از نرم اقلیدسی مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس می‌شوند (رابطه ۱).

1 ELECTRE (Elimination et Choice in Translating to Reality)

2 Roy

3 benayoun

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه: n_{ij} مقادیر نرمالایز شده و x_{ij} عملکرد گزینه i ام تحت معیار j ام و m تعداد گزینه‌ها می‌باشد.
گام سوم: تشکیل ماتریس نرمال وزین: با استفاده از ماتریس اوزان شاخص‌ها (W) ماتریس بی‌مقیاس وزین به دست می‌آید. در این گام ماتریس نرمال را در وزن معیارها ضرب می‌کنیم (رابطه ۲).

$$V = N * W \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه: V ماتریس بی‌مقیاس وزین و N ماتریس نرمالایز شده و W وزن معیارها می‌باشد.
گام چهارم: تشکیل مجموعه معیارهای هماهنگ و ناهماهنگ: در این گام با توجه به ماهیت معیارها (مثبت یا منفی بودن) در مقایسه دوبه‌دوی گزینه‌ها معیارهای هماهنگ و ناهماهنگ را تعیین می‌کنیم. با استفاده از عناصر ماتریس V مجموعه هماهنگی $C(k,l)$ که شامل معیارهایی می‌باشد که در آن‌ها گزینه k بر گزینه l ترجیح داده می‌شود و مجموعه ناهماهنگی $D(k,l)$ که شامل معیارهایی می‌باشد که در آن‌ها گزینه l بر گزینه k ترجیح داده می‌شود؛ با استفاده از روابط (۳ و ۴) به دست آورده می‌شود.

$$C(k,l) = \left[\begin{array}{l} j \mid v_{kj} \geq v_{lj} \mid j \in J^+ \\ j \mid v_{kj} < v_{lj} \mid j \in J^- \end{array} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$D(k,l) = \left[\begin{array}{l} j \mid v_{kj} < v_{lj} \mid j \in J^+ \\ j \mid v_{kj} \geq v_{lj} \mid j \in J^- \end{array} \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

جایی که J^+ شاخص‌های مثبت و J^- شاخص‌های منفی می‌باشد.
 با استفاده از اطلاعات فوق ماتریس مربع $m*m$ هماهنگی (I) که عناصر آن از جمع اوزان شاخص‌هایی که به مجموعه هماهنگی تعلق دارند و ماتریس $m*m$ ناهماهنگی (NI) که عناصر آن از رابطه (۴) به دست می‌آید به‌صورت زیر تشکیل می‌شود (رابطه ۵ تا ۸).

$$I_{m*m} = \left[\begin{array}{cccc} - & I_{12} & \dots & I_{1m} \\ I_{21} & - & & I_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{m1} & I_{m2} & \dots & - \end{array} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$I_{kl} = \sum_{j \in C(k,l)} w_j \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$NI_{m*m} = \left[\begin{array}{cccc} - & NI_{12} & \dots & NI_{1m} \\ NI_{21} & - & & NI_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ NI_{m1} & NI_{m2} & \dots & - \end{array} \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$NI_{kl} = \frac{\max_{j \in D(k,l)} |v_{kj} - v_{lj}|}{\max_{j \in J} |v_{kj} - v_{lj}|} \quad \text{رابطه (۸)}$$

گام پنجم: تشکیل ماتریس هماهنگ مؤثر (F): برای ایجاد این ماتریس ابتدا یک مقدار آستانه تعیین کرده، سپس هر عنصر ماتریس I را که بزرگ‌تر یا مساوی این مقدار آستانه بود در ماتریس F مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. یک روش عمومی برای تعیین این مقدار آستانه ($\bar{I}$) عبارت است از میانگین مقادیر ماتریس I. (روابط ۹ و ۱۰).

$$\bar{I} = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \frac{I_{kl}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$F_{kl} = \begin{cases} 0 & I_{kl} < \bar{I} \\ 1 & I_{kl} \geq \bar{I} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

گام ششم: تشکیل ماتریس ناهماهنگ مؤثر (G): برای این ماتریس نیز مقدار آستانه ($\overline{NI}$) مانند ماتریس F به دست می‌آید. تنها تفاوت در اینجا است که هر عنصر ماتریس NI که کوچک‌تر یا مساوی این مقدار آستانه بود در ماتریس G مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد (روابط ۱۱ و ۱۲)

$$\overline{NI} = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \frac{NI_{kl}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$G_{kl} = \begin{cases} 0 & NI_{kl} > \overline{NI} \\ 1 & NI_{kl} \leq \overline{NI} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

گام هفتم: تشکیل ماتریس جامع مؤثر (H): با ترکیب دو ماتریس هماهنگ مؤثر و ناهماهنگ مؤثر، ماتریس جامع مؤثر (H) که یک ماتریس بولی (صفر و یک) می‌باشد به دست می‌آید. عناصر این ماتریس به صورت **رابطه (۱۳)** محاسبه می‌شود:

$$H_{kl} = F_{kl} * G_{kl} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

ماتریس H نشان دهنده ترتیب ارجحیت‌های نسبی از گزینه‌هاست و ملاک رتبه‌بندی و گروه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. به منظور حذف گزینه‌های کم جاذبه می‌توان گزینه‌های مؤثر را از ماتریس H تشخیص داد. بدین طریق که هر ستونی از ماتریس H را که حداقل دارای یک عنصر برابر با یک باشد، حذف نمود؛ زیرا آن ستون تحت تسلط ردیف یا ردیف‌هایی می‌باشد؛ به عبارت دیگر سطری که بسامد عدد یک در آن بیشتر باشد، بیانگر رتبه بالاتر آن گزینه می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

تشخیص نواحی حساس به سیل می‌تواند برنامه‌ریزان را به پیش‌بینی نتایج فعالیت‌های انسانی و هدایت درست این فعالیت‌ها براساس آسیب‌رسانی کمتر به منابع طبیعی، سرمایه‌های ملی و حتی خصوصی یاری رساند. لذا به منظور

مدیریت بهینه و صرفه‌جویی در هزینه و زمان، تعیین زیرحوضه‌های پرخطر از لحاظ وقوع سیل در طرح‌ها و اقدامات آب‌خیزداری ضروری به نظر می‌رسد. روش الکترون توانایی به‌کارگیری معیارهای کیفی با مقیاس‌های وصفی یا ترتیبی در همان ماهیت اولیه و بدون تبدیل مقیاس را دارد. انتخاب روش الکترون به دلیل نداشتن مقایسات زوجی زیاد و طاقت‌فرسای روش‌هایی مانند AHP و همچنین کاربردهای موفقیت‌آمیز آن در رتبه‌بندی مناطق از نظر وقوع مخاطرات نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد (سیدمحمدی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به موقعیت منطقه، به‌منظور شناسایی نواحی سیل‌خیز، از بین عوامل مؤثر در وقوع سیل، پارامترهای سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، بارش، کاربری اراضی و تراکم شبکه زهکشی انتخاب شدند. در ادامه برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مورد نظر، این معیارها ارزیابی شده و به دلیل پیچیدگی و حجم بالای محاسبات مورد نیاز، الگوریتم تکنیک مدل الکترون در نرم‌افزار اکسل برنامه‌نویسی شده و مقادیر هر مرحله به دست آمده است.

۳-۱- ایجاد ماتریس کارایی (تصمیم‌گیری)

برای اجرای مدل الکترون تهیه ماتریس کارایی یکی از مهم‌ترین مراحل ورودی اصلی این مدل است. در ماتریس کارایی معیارها در مقابل گزینه‌ها به‌صورت ماتریسی مقایسه می‌شوند. در ستون ماتریس نام گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) و در سطرها آن نام معیار نوشته شده است، از آنجاکه لازم است ارزش کلیه معیارها به‌صورت کمی وارد مدل پیشنهادی در این تحقیق شود (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- ماتریس اولیه تصمیم‌گیری

زیرحوضه	سنگ‌شناسی	شیب	ارتفاع	بارش	کاربری اراضی	تراکم زهکشی
ریزه‌وند	۵	۷	۶	۹	۳	۸
سرچم ده‌ارون	۷	۶	۷	۷	۲	۷
سرپتک	۸	۸	۸	۸	۴	۶
سرتنگ بیجار	۷	۹	۶	۶	۳	۹
گنجوان	۸	۵	۳	۷	۲	۸
وزن	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۸	۰/۰۵

۳-۲- تعیین مقادیر وزن معیارها

تاکنون امتیاز ارزیابی هر حوضه براساس هر شاخص به دست آمد. با توجه به سایر ورودی‌ها روش الکترون نیاز است میزان اهمیت یا وزن هریک از شاخص‌ها مشخص گردد. برای این کار از روش وزن‌دهی به روش آنتروپی شانون استفاده شده است. این روش بر این پایه استوار است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است (جدول ۱). با اجرای مراحل قبل، اولویت‌بندی مسئله تصمیم از طریق

تکنیک ELECTRE فراهم می‌شود. در این روش پس از تشکیل ماتریس کارایی محاسبه ماتریس بی‌مقیاس وزین و محاسبه پارامترهای هماهنگی و ناهماهنگی لازم است به دلیل پیچیدگی و حجم بالای محاسبات مورد نیاز، الگوریتم تکنیک مدل اکثره در نرم‌افزار EXCEL برنامه‌نویسی شده و مقادیر هر مرحله به‌دست آمده‌اند.

۳-۳- نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌سازی ماتریس

شاخص‌های کمی، مقیاس اندازه‌گیری مخصوص به خود را دارند که این کار مقایسه آن‌ها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. بنابراین باید به روشی آن‌ها را، مستقل از واحد، اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. ماتریس بی‌مقیاس وزین در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- ماتریس وزین

حوضه	سنگ‌شناسی	شیب	ارتفاع	بارش	کاربری اراضی	تراکم زهکشی
ریزه‌وند	۱/۰۱	۰/۷۲	۰/۸۴	۰/۵۶	۱/۶۹	۱/۶۹
سرچم ده‌هارون	۰/۷۲	۰/۸۴	۰/۷۲	۰/۷۲	۲/۵۳	۰/۷۲
سرپتک	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۲۷	۰/۸۴
سرتنگ بیجار	۰/۷۲	۰/۵۶	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۹	۰/۵۶
گنجوان	۰/۶۳	۰/۰۱	۱/۶۹	۰/۷۲	۲/۵۳	۰/۶۳

۳-۴- ماتریس هماهنگی و ناهماهنگی

در گام بعد شاخص هماهنگی و ناهماهنگی محاسبه می‌گردد. این شاخص به‌صورت زوجی به ازای هر شاخص محاسبه می‌شود. به این صورت که اگر حوضه یک از نظر شاخص اول به حوضه دو از نظر شاخص اول ارجحیت دارد یک در غیر این صورت صفر، عدد ۱ نشان دهنده ارجحیت و عدد صفر نشان‌دهنده عدم ارجحیت است (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- ماتریس هماهنگی

وزن	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۰	۰/۲۳	
معیار	سنگ‌شناسی	شیب	ارتفاع	بارش	کاربری اراضی	تراکم زهکشی	مجموع
C12	۰/۱۸		۰/۱۵		۰/۱۰		۰/۴۳
C13	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۵				۰/۳۹
C14	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۵			۰/۲۳	۰/۶۲
C15	۰/۱۸				۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۵۱
C21		۰/۰۶		۰/۲۸		۰/۲۳	۰/۵۷
C23	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۲۸			۰/۶۷

۰/۴۷	۰/۲۳				۰/۰۶	۰/۱۸	C24
۰/۶۹	۰/۲۳		۰/۲۸			۰/۱۸	C25
۰/۵۱	۰/۲۳		۰/۲۸				C31
۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۱۰					C32
۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۱۰			۰/۰۶		C34
۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۱۰				۰/۱۸	C35
۰/۵۳		۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۱۵			C41
۰/۷۱		۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۱۵		۰/۱۸	C42
۰/۶۱			۰/۲۸	۰/۱۵		۰/۱۸	C43
۰/۵۶		۰/۱۰	۰/۲۸			۰/۱۸	C45
۰/۷۲	۰/۲۳		۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۶		C51
۰/۵۹		۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۶		C52
۰/۷۷		۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۸	C53
۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۱۰		۰/۱۵	۰/۰۶		C54

جدول ۴- ماتریس ناهماهنگی

وزن	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۰	۰/۲۳	
معیار	سنگ شناسی	شیب	ارتفاع	بارش	کاربری اراضی	تراکم زهکشی	مجموع
D12	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۵	۱/۰۰
D13	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۲	۱/۰۰
D14	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۹۷
D15	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۰	۱/۰۰
D21	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۰۵	۱/۰۰
D23	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷۱	۰/۰۷	۱/۰۰
D24	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۰۹	۱/۰۰
D25	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۱/۰۰
D31	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۲	۱/۰۰
D32	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۱۷
D34	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۵۰
D35	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۰۵	۰/۷۱	۰/۱۲	۰/۸۳
D41	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۴	۱/۰۰
D42	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۳۳
D43	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۱۶	۱/۰۰
D45	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۰۴	۱/۰۰
D51	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۰	۱/۰۰

۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۱۰	۰/۰۵	D52
۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۰۵	۰/۵۹	۰/۲۱	۰/۰۰	D53
۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۴۸	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۰۵	D54

۳-۵- ماتریس هماهنگ مؤثر و ناهماهنگ مؤثر

در این مرحله باید درجه اعتبار رابطه غیررتبه ای برای مقایسات زوجی گزینه‌ها از طریق ترکیب شاخص‌های مقادیر هماهنگی و ناهماهنگی محاسبه گردد. محاسبات مورد نظر از طریق رابطه گفته شده صورت گرفته و در نتیجه ماتریس F و G که بیان گر درجه اعتبار و برتری یک گزینه بر گزینه دیگر براساس جمیع شاخص‌هاست مطابق جداول (۵ و ۶) به دست می‌آید.

جدول ۵- ماتریس هماهنگ مؤثر

حوضه	ریزه وند	سرچم ده‌هارون	ورهای	جمال الدین	گنجوان
ریزه‌وند		۰	۰	۱	۰
سرچم ده‌هارون	۱		۱	۰	۱
سرپتک	۰	۰		۰	۰
سرتنگ بیجار	۰	۱	۱		۱
گنجوان	۱	۱	۱	۰	

جدول ۶- ماتریس ناهماهنگ مؤثر

حوضه	ریزه وند	سرچم ده‌هارون	ورهای	جمال الدین	گنجوان
ریزه‌وند		۱	۰	۰	۰
سرچم ده‌هارون	۰		۰	۰	۰
سرپتک	۰	۱		۱	۰
سرتنگ بیجار	۰	۱	۰		۰
گنجوان	۰	۱	۱	۰	

۳-۶- ماتریس نهایی

در گام بعدی باید نسبت به رتبه‌بندی گزینه‌ها و رتبه‌بندی نهایی آنها اقدام کرد. بدین منظور ابتدا ماتریس ماتریس هماهنگ مؤثر را در ماتریس ناهماهنگ نامؤثر ضرب کرد و ماتریس کلی را تشکیل داده، ماتریس کلی، نتیجه کلیه

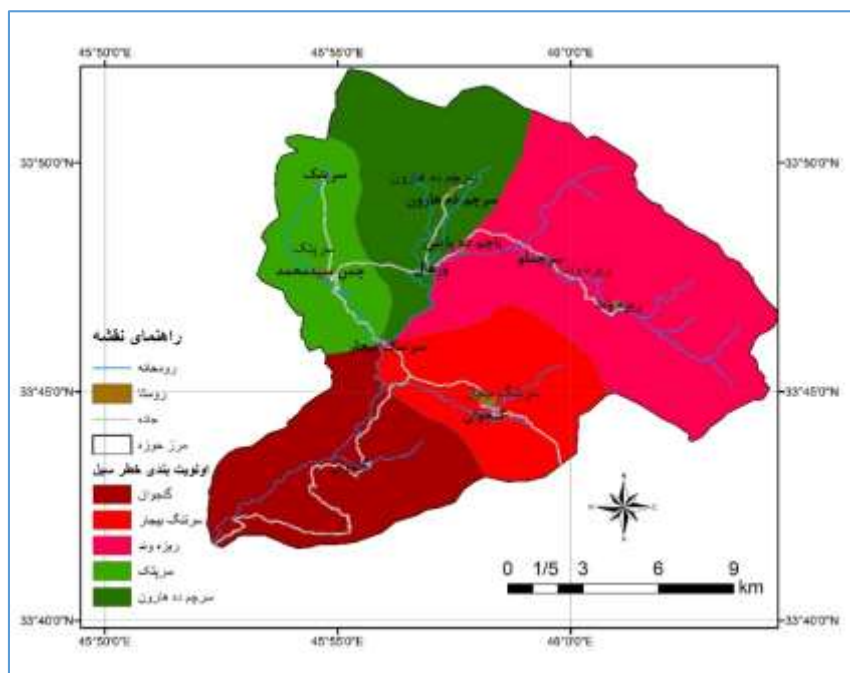
مراحل ذکر شده است. در این ماتریس، با توجه به جمع هر سطر جایگاه هر حوضه را نسبت به حوضه‌های دیگر از نظر اولویت سیل‌خیزی رتبه‌بندی می‌کند (جدول ۷).

جدول ۷- ماتریس نهایی

حوضه	ریزه وند	سرچم ده‌هارون	سرپتک	سرتنگ بیجار	گنجوان	برد	باخت	جواب نهایی
ریزه وند		۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سرچم ده‌هارون	۰		۰	۰	۰	۰	۲	-۲
سرپتک	۰	۰		۰	۰	۰	۱	-۱
سرتنگ بیجار	۰	۱	۰		۰	۱	۰	۱
گنجوان	۰	۱	۱	۰		۲	۰	۲

۳-۷- اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر خطر سیل بر اساس مدل الکتره

باتوجه به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی که از تکنیک الکتره استخراج گردید، گنجوان با بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی، اولویت اول را در اجرای طرح‌های آبخیزداری به خود اختصاص داده است. دلیل بالا بودن خطر سیل‌خیزی این زیرحوضه ساختار زمین‌شناسی منطقه که در قسمت بالادست از سازند گچساران با نفوذپذیری کم و در قسمت پایین دست از سازندهای بسیار حساس به فرسایش از جمله رسوبات آبرفتی دوران چهارم پوشیده شده‌اند. همچنین زیرحوضه سرتنگ بیجار در رتبه دوم جای گرفته است؛ که دلیل اصلی آن وجود تنوع در سازندهای زمین‌شناسی از جمله سازندهای آسماری، کژدمی و گچساران است. زیرحوضه‌های ریزه‌وند، سرپتک و سرچم ده‌هارون به ترتیب دارای کمترین پتانسیل سیل‌خیزی برخوردارند، در اولویت‌های بعدی اجرای طرح‌های آبخیزداری قرار دارند (شکل ۳).



شکل ۳- اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر خطر سیل بر اساس مدل الکتره

۴- جمع بندی

سیل از جمله خطرهای طبیعی است که فراوانی وقوع آن در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته و خسارت‌های ناشی از آن همه ساله بخشی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی تأثیر مهمی در مدیریت حوضه‌های آبخیز دارد. در این تحقیق زیرحوضه‌های آبخیز گنجان در استان ایلام جهت اجرای طرح‌های آبخیزداری مقابله با سیل‌خیزی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره الکترونیک، اولویت‌بندی شود. برای این منظور حوضه آبخیز مورد مطالعه به ۵ زیرحوضه ریزه‌بند، سرچم ده‌هارون، سرپتک، چمن سید محمد و سرتنگ بیجار تقسیم گردید.

بر اساس نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارهای مؤثر در سیل‌خیزی منطقه بر اساس مدل آنتروپی به ترتیب عامل سنگ‌شناسی، بارش و شیب بیشترین تأثیر در سیل‌خیزی منطقه دارند. هر چه میزان نفوذپذیری کمتر باشد، میزان رواناب بیشتر و سیل‌خیزی زیر حوضه شدت بیشتری پیدا می‌کند.

با توجه به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی که از تکنیک الکتره استخراج گردید، زیرحوضه گنجوان با بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی، اولویت اول را در اجرای طرح‌های آبخیزداری به خود اختصاص داده است. دلیل بالا بودن خطر سیل‌خیزی این زیرحوضه، ساختار زمین‌شناسی منطقه است که در قسمت بالادست از سازند گچساران با نفوذپذیری کم و در قسمت پایین‌دست از سازندهای بسیار حساس به فرسایش رسوبات آبرفتی دوران

چهارم زمین‌شناسی پوشیده شده‌اند. مورفولوژی این رسوبات از دشت سرهای کم ارتفاع و رسوبات تراس رودخانه‌ای تشکیل شده است. با شروع بارش‌ها و جاری شدن سیل، پتانسیل سیل‌خیزی این منطقه به شدت بالا می‌رود. همچنین زیرحوضه سرتنگ بیجار در رتبه دوم جای گرفته است؛ که دلیل اصلی آن وجود تنوع در سازندهای زمین‌شناسی از جمله سازندهای کژدمی و گچساران است که استعداد بالایی نسبت به سیل‌خیزی دارند. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند روشی کاربردی در جهت مطالعه و اجرای عملیات آبخیزداری و مهار سیلاب در آبخیز مورد مطالعه و مشابه این حوضه مورد استفاده قرار گیرد. با انجام عملیات آبخیزداری و مهار سیل در زیرحوضه‌های واقع در سطوح مذکور، مطابق با اولویت‌های تعیین شده توسط این روش، ضمن دسترسی به اهداف مطلوب می‌تواند تأثیر مستقیمی در جهت کاهش هزینه‌های اجرایی پروژه‌ها توسط ادارات و سازمان‌های مرتبط از جمله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام و شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام داشته باشد.

کتابنامه

انتظاری، مژگان؛ جلیلیان، طاهره؛ ۱۳۹۸. اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز از نظر ریسک خطر وقوع زمین‌لغزش در استان کرمانشاه براساس مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ELECTRE-1، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۶، شماره ۱۸، صص ۳۸-۱۹.

<https://20.1001.1.23833254.1398.6.18.2.1>

بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ آتشخوار، فاطمه؛ ۱۳۹۵. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۱۵۸-۱۴۳.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_57032.html

بهرامی، سیدعلیرضا؛ اوتق، مجید؛ فرازجو، حسن؛ ۱۳۹۰. نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد بوستان از نظر سیل‌خیزی و ارائه راهکارهای مدیریتی. نشریه حفاظت منابع آب‌ونخاک، دوره ۱، شماره ۱، صص ۲۷-۱۱.

https://wsrj.srbiau.ac.ir/article_1930.html

پرورش، الیاس؛ مهدوی، رسول؛ ملکیان، آرش؛ اسماعیل‌پور، یحیی؛ حلی‌ساز، ارشک؛ ۱۳۹۷. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی به کمک روش الکترون نوع ۳ و ضریب جریان سیلابی (مطالعه موردی زیر حوضه‌های آبخیز سرخون، بندرعباس). نشریه خشک بوم، دوره ۸، شماره ۱، صص ۸۷-۷۵.

<https://www.sid.ir/paper/398961/fa>

ثقفیان، بهرام؛ فرازجو، حسن؛ ۱۳۸۶. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۱-۱.

<https://www.sid.ir/paper/134831/fa>

حلبیان، امیرحسین؛ عرب عامری، علیرضا؛ سلطانیان، محمود؛ ۱۳۹۱. انتخاب بهترین مکان برای احداث سد خاکی با استفاده از روش ELECTRE (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود- بسطام). نشریه جغرافیایی سرزمین. دوره ۹. شماره ۳۴. صص ۱۳۷-۱۲۵.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5531.html

خدابخشی، بهناز؛ جعفری، حمیدرضا؛ ۱۳۸۹. بررسی کاربرد مدل دسته‌بندی چندمعیاره Electre-TRI در تعیین اهمیت آثار محیط زیستی (مطالعه موردی: ارزیابی آثار محیط زیستی طرح سد و شبکه آبیاری-زهکشی اردبیل). نشریه پژوهش‌های محیط‌زیست. دوره ۱. شماره ۲. صص ۳۱-۴۲.

http://www.iraneiap.ir/article_13064.html

خیاط خلقی، مجید؛ ۱۳۸۱. کاربرد روش MCDM در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور کنترل سازه‌ای سیلاب. نشریه منابع طبیعی ایران. دوره ۵۵. شماره ۴. صص ۴۷۹-۴۹۰.

https://ijnr.ut.ac.ir/article_13063.html

رحمتی، امید؛ طهماسبی پور، ناصر؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ ۱۳۹۴. اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان براساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری. نشریه اکوهیدرولوژی. دوره ۲. شماره ۲. صص ۱۵۱-۱۶۱.

<https://10.22059/IJE.2015.56241>

روغنی، محمد؛ طباطبایی، سیدمحمودرضا؛ غفوری، عبدالمحمد؛ نمکی، سیدمحمد؛ ۱۳۸۷. اولویت‌بندی عملیات کنترل سیلاب از طریق به‌کارگیری شاخص مکانی سیل حوضه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۲. شماره ۳. صص ۴۳-۵۲.

<https://www.sid.ir/paper/134820/fa>

سدیدی، جواد؛ حیدریان، پیمان؛ عزیزی قلاتی، سارا؛ باعقیده، محمد؛ عبدالمملکی، سپیده؛ ۱۳۹۶. روش ترکیبی ELECTRE-FAHP برای ارزیابی تناسب اراضی با رویکرد مکان‌یابی دفن پسماند در شهر اهواز. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۸. شماره ۱ (پیاپی ۶۵). صص ۹۹-۱۱۲.

<https://10.22108/GEP.2017.97757.0>

سیدمحمدی، جواد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر، سرمدیان، فریدون؛ شهبازی، فرزین؛ قربانی، محمدعلی؛ ۱۳۹۷. کاربرد روش‌های ELECTRE TRI و پارامتریک در ارزیابی تناسب بخشی از اراضی دشت مغان برای کشت ذرت تحت آبیاری بارانی. نشریه دانش آب‌وخاک (دانش کشاورزی). دوره ۲۸. شماره ۲. صص ۱۲۱-۱۳۷.

https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_7839.html

شعبانی بازنشین، آرمان؛ عمادی، علیرضا؛ فضل‌اولی، رامین؛ ۱۳۹۵. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل (حوضه آبخیز نکا). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. دوره ۷. شماره ۱۴. صص ۲۰-۲۸.

<https://10.29252/jwmr.7.14.28>

شماعی، علی؛ تابعی، نادر؛ حمیدی، محمدسعید؛ ۱۳۹۳. به‌کارگیری روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمتغیره (الکتر) در رتبه‌بندی مناطق شهر اهواز. نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۱۸. شماره ۱ (پیاپی ۸۳). صص ۲۵-۵۲.

<https://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-9596-fa.html>

عطایی، محمد؛ ۱۳۸۷. انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا- سیمان با استفاده از روش الکترو. نشریه بین‌المللی علوم مهندسی. دوره ۱۹. شماره ۹. صص ۵۵-۶۳.

https://ajsr.aut.ac.ir/article_2236.html

فرجی سبکبار، حسنعلی؛ وزین، نرگس؛ سجاسی قیداری، حمداله؛ ۱۳۹۳. تبیین نابرابری فضایی سطح سلامت با استفاده از مدل تصمیم‌گیری الکترو (مطالعه موردی: شهرستان‌های استان خراسان رضوی). نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. دوره ۱۲. شماره ۲۲. صص ۸۳-۱۰۳.

<https://10.22067/GEOGRAPHY.V12I22.13709>

محمدی، علی‌اصغر؛ احمدی، حسن؛ ۱۳۹۰. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها جهت ارائه برنامه‌های احیائی آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز معروف). نشریه جغرافیایی سرزمین. دوره ۸. شماره ۲۹. صص ۶۹-۷۷.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5364.html

مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز؛ شکرزاده فرد، الهام؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای، با استفاده از مدل ELECTRE. نشریه فضای جغرافیایی. دوره ۱۸. شماره ۶۴. صص ۱۷۷-۱۹۹.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2048-fa.html>

ملماسی، سعید؛ ارجمندی، رضا؛ نزاکی، رؤیا؛ اله داد، زهرا؛ ۱۳۹۵. استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های سدسازی. نشریه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۱۸. شماره ۴ (مسلسل ۷۱). صص ۵۷-۷۲.

https://jest.srbiau.ac.ir/article_9956.html

Frank, E., Ramsbottom, D., Avanzi, A., 2016. Flood risk assessment and prioritisation of measures: Two key tools in the development of a national programme of flood risk management measures in Moldova, *International Journal of Safety and Security Engineering* ,6(3):475-484. <https://10.2495/SAFE-V6-N3-475-484/003>

Gourbesville, Ph., Vargas, R., 2014. Deterministic Hydrological Model for Flood Risk Assessment of Mexico City, *11th International Conference on Hydroinformatics HIC*, At: New York City, USA.

Ong, M.CH., Leong, Y. T., Wan, Y. K., Leng Chew, I. M., 2021. Multi-objective Optimization of Integrated Water System by FUCOM-VIKOR Approach, *Process Integration and Optimization for Sustainability*, volume 5, pages43-62. <https://10.1007/s41660-020-00146-3>

Roy, B., 1990. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, in: Bana, C., Costa, A, Reading in multiple criteria decision aid, *Springer-Verlag*: Beling, pp 155-166. https://10.1007/978-3-642-75935-2_8

Roy, B., 1991. The outranking approach and the foundation of ELECTRE Methods, *Theory and Decision*, 31 (1): 49-73. <https://10.1007/BF00134132>

Scorzini, A. R., Leopardi, M., 2017. River basin planning: from qualitative to quantitative flood risk assessment: the case of Abruzzo Region (central Italy), *Natural Hazards*, 88(1):1-23. <https://10.1007/s11069-017-2857-8>

Wenchao, Qi., Chao, Ma., Hongshi, Xu., Zifan, Ch., Kai, Z., Hao, Han., 2021. A review on applications of urban flood models in flood mitigation strategies, *Natural Hazards*, volume 108, pages31-62. <https://10.1007/s11069-021-04715-8>

- Yu, X., Lu, Y., Cai, M., 2018. Evaluating agro-meteorological disaster of China based on differential evolution algorithm and VIKOR, *Natural Hazards*, volume 94, pages671–687. <https://10.1007/s11069-018-3412-y>



The Evaluation of Flood Zone and Hydrograph using ERA5 Precipitation Data (Case Study: Zoshk Basin)

Saeid Pouretezar^a, Kazem Esmaili^{b*}, Alireza FaridHosseini^b, Elaheh Ghafari^c

^a MSc in Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^c PhD in Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 25 December 2021

Revised: 13 February 2022

Accepted: 18 February 2022

Abstract

Precipitation is one of the main causes of floods which due to the improper dispersion of rain gauge stations and the newly established ones in most basins of the country, the use of the precipitation data faces serious challenges. Remote-sensing method can be used in such cases. In this study, the reanalysis rainfall data of ERA5 for Kashafrud catchment were evaluated in daily and monthly timescales and then its streamflow hydrograph was evaluated using rainfall data of Zoshk station and Zoshk watershed parameters in the HEC-HMS software. The reanalysis rainfall data of ERA5 showed underestimation and overestimation and also had better accuracy in monthly timescale ($R = [0.87-0.99]$) than daily timescale ($R = [0.89-0.62]$) and its flow hydrograph compared to the observational hydrograph was more satisfactory ($NSE = 0.49$ and $PBias = -26.46$). Flood zone of reanalysis precipitation data of ERA5 in relation to the reference flood zone was -0.07 , which was due to the underestimation of precipitation data and the subsequent underestimation of its hydrograph peak flow in the HEC-HMS model. Future studies can be used to evaluate the flood zone resulting from precipitation data of various products in HEC-RAS model.

Keywords: ERA5, Flood Zone, HEC-HMS, HEC-RAS, Zoshk River

*. Corresponding author: Kazem Esmaili

E-mail: esmaili@um.ac.ir

Tel: +985138805813

How to cite this Article: Pouretezar, S., Esmaili, K., Faridhosseini, A., & Ghafari, E. (2022). The evaluation of flood zone and hydrograph using ERA5 precipitation data (Case study: Zoshk basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 23-42.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.74921.1159



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74921.1159> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۴۲-۲۳

مقاله پژوهشی

صحت‌سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش ERA5 (مطالعه موردی: حوضه زشک)

سعیده پورانتظاری - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

کاظم اسماعیلی^۱ - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علیرضا فریدحسینی - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

الهه غفاری - دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

بارش یکی از اصلی‌ترین عوامل وقوع سیلاب‌هاست که به علت عدم پراکندگی مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی و تازه‌تأسیس‌بودن برخی از این ایستگاه‌ها در اکثر حوضه‌های کشور، استفاده از داده‌های بارش با چالشی جدی روبروست. از این‌رو روش‌های دورسنجی می‌توانند یکی از گزینه‌های مورداستفاده در این زمینه باشند. در پژوهش حاضر، داده‌های بارش بازتخلیل‌شده ERA5 برای حوضه آبریز کشف‌رود در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس هیدروگراف و پهنه سیلاب آن، با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه زشک و پارامترهای مربوط به حوضه آبخیز زشک در نرم‌افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS، موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های بارش ERA5 دارای کم‌برآوردی می‌باشد و داده‌های بارش در گام زمانی ماهانه ($R=[0.68-0.92]$) دقت بالاتری نسبت به روزانه ($R=[0.52-0.81]$) داشت و هیدروگراف جریان آن در مقایسه با هیدروگراف مشاهداتی غیرقابل قبول ($NSE=-0.47$ و $PBias=-55.16$) بود. پهنه سیلاب دبی داده‌های بارش بازتخلیل‌شده

Email: esmaili@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۵۱۳۸۸۰۵۸۱۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

پورانتظاری، سعیده، اسماعیلی، کاظم، فریدحسینی، علیرضا، غفاری، الهه. (۱۴۰۱). صحت‌سنجی پهنه و هیدروگراف سیلاب با

استفاده از داده‌های بارش ERA5 (مطالعه موردی حوضه زشک). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳). صص ۴۲-۲۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74921.1159>

ERA5 نیز نسبت به پهنه سیلاب دبی مرجع معادل ۱۹،۰- به دست آمد که به دلیل کم‌برآوردی داده‌های بارش و به دنبال آن کم‌برآورد شدن دبی اوج هیدروگراف آن در مدل HEC-HMS این نتیجه به دست آمده است. مطالعات آینده می‌توانند در خصوص ارزیابی پهنه سیلاب حاصل از داده‌های بارش محصولات مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS باشند.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی سیلاب، رودخانه زشک، ERA5، HEC-HMS، HEC-RAS

۱- مقدمه

سیلاب آسیب‌ها و خسارات فراوانی به جان و اموال مردم وارد می‌کند. در وقایع سیل ۱۳۹۸ بنابر گزارش سازمان مدیریت بحران کشور، بیش از ۶۰ هزار واحد شهری و روستایی تخریب شدند و بیش از ۷۵ هزار واحد مسکونی شهری و روستایی آسیب دیدند. در این حوادث، ۳۲۸۵ نفر مصدوم و بیمار به مراکز و واحدهای درمانی مراجعه کردند و ۷۶ نفر از هم‌وطنانمان جان خود را از دست دادند (هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌های ایران، ۱۳۹۸). بارش یکی از اصلی‌ترین عوامل وقوع سیلاب‌های ناگهانی در حوضه‌های آبخیز کوچک است (لو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲) که به علت عدم پراکندگی مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی و تازه تأسیس بودن برخی از این ایستگاه‌ها در اکثر حوضه‌های کشور، استفاده از این داده‌ها با چالشی جدی روبروست. از این‌رو استفاده از روش‌های دورسنجی می‌تواند یکی از گزینه‌های مورد استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی (برای دستیابی به مشخصات جریان از قبیل میزان حجم، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج جریان) و هیدرولیکی (برای دستیابی به مشخصات سیلاب از قبیل عمق و تراز سطح آب و سرعت جریان و در نهایت پهنه درگیر سیلاب) باشد. داده‌های بارش بازتحلیل شده ERA5 پنجمین نسل از داده‌های پایگاه مرکز پیش‌بینی وضعیت آب‌وهوای اروپا (ECMWF^۲) هستند که از ۱ ژانویه ۱۹۷۹، کل کره زمین را پوشش می‌دهند و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی به ترتیب $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ و ۱ ساعت می‌باشند (سباه^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). داده‌های بازتحلیل شده از ترکیب نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا با انواع داده‌های محاسباتی و مشاهداتی از سنجنده‌های مختلف به دست می‌آیند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۰). HEC-HMS یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد در زمینه هیدرولوژی است که فرآیندهای بارش-رواناب حوضه‌های آبریز را شبیه‌سازی می‌کند و برای حل گسترده‌ترین مسائل از قبیل هیدرولوژی سیل، تأمین آب حوضه رودخانه‌های بزرگ و رواناب حوضه‌های طبیعی یا کوچک شهری طراحی شده است (USACE, ۲۰۲۱). مدل هیدرولیکی HEC-RAS نیز نسخه ارتقاء یافته HEC-2 می‌باشد که امکان اجرای جریان ماندگار یک‌بعدی، جریان غیرماندگار یک و دو بعدی، محاسبات انتقال رسوب/مرز متحرک و مدل‌سازی دما و کیفیت آب را به کاربر

1 Lu

2 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

3 Sabah

می‌دهد (جبلی‌فرد و احمدی، ۱۳۹۵). محققان بسیاری در زمینه استفاده از محصولات مبتنی بر روش‌های دورسنجی در مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مطالعاتی انجام داده‌اند. ^۱داسگوپتا^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در حوضه رودخانه ماهانادی^۲ در شمال شرق هند، پهنه سیلاب شبیه‌سازی‌شده توسط مدل MIKE21 را با پهنه سیلاب استخراج‌شده از تصاویر SAR مقایسه کردند. نتایج، توافق بین پهنه سیلاب مدل‌سازی‌شده و مشاهده‌شده، با ضریب $R=0.938$ را نشان دادند. ^۳هاریگان^۳ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی داده‌های دبی روزانه بازتحلیل‌شده GloFAS-ERA5 در سطح جهان پرداختند. نتایج با مقدار $KGE=86\%$ و میانه ضریب همبستگی پیرسون ۰٫۶۱ مناسب ارزیابی شد. ^۴یانگ^۴ و همکاران (۲۰۲۱) داده‌های بازتحلیل‌شده دبی سیلاب جهانی (GRFR^۵) را با استفاده از داده‌های بارش ERA5 و مدل‌های VIC و RAPID در گام‌های زمانی سه‌ساعته و روزانه توسعه دادند. نتایج، عملکرد مناسب مدل‌سازی را در همه محدوده‌های جریان در گام زمانی روزانه و سه‌ساعته در سطح جهان نشان داد. ^۶بلایید^۶ و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه‌ای از اتاوا در کانادا به ارزیابی داده‌های بارش IMERGE و TMPA پرداختند و داده‌های بارش IMERGE را به علت دقت بالاتر به عنوان ورودی، به مدل‌های MILC و HEC-RAS وارد کرده و در نهایت پهنه سیلاب حاصل را با پهنه سیلاب استخراج‌شده از تصاویر SAR مقایسه نمودند. نتایج، دقت پهنه سیلاب حاصل از داده‌های بارش IMERGE را مطلوب نشان دادند. ^۷ترینه و ملکنتین^۷ (۲۰۲۱) در حوضه رودخانه ترابانگ^۸ در ویتنام ارزیابی داده‌های بارش GSMaP-GNRT6 و CMORPH-CRT پرداختند. به علت دقت بالاتر داده‌های بارش CMORPH، با ادغام مدل‌های MIKE-NAM، MIKE11، MIKE21 و MIKE FLOOD پهنه سیلاب آن تهیه شد و با پهنه سیلاب استخراج‌شده از تصاویر Sentinel-1A مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از دقت مناسب پهنه سیلاب مدل‌سازی‌شده نسبت به مشاهداتی بود. در بررسی‌های صورت‌گرفته در پژوهش‌های پیشین، مطالعات متعددی در زمینه اعتبارسنجی داده‌های بارش بازتحلیل‌شده ERA5 در سراسر جهان (هوانگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۹)، (یوان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۱) و (وروپای^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۱) و نیز در مناطق مختلف کشور در محدوده‌های استانی (عرفانی‌رحمت‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷)، حوضه‌ای (گرچی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸) و (عزیزی‌مبصر و همکاران، ۱۳۹۹) و کل کشور (مانند ایزدی و همکاران، ۲۰۲۱) صورت گرفته است؛ اما در زمینه استفاده از این داده‌ها در

1 Dasgupta

2 Mahanadi

3 Harrigan

4 Yang

5 Global Reach-Level Flood Reanalysis

6 Belabid

7 Trinh و Molkenthin

8 Tra Bong

9 Hwang

10 Yuan

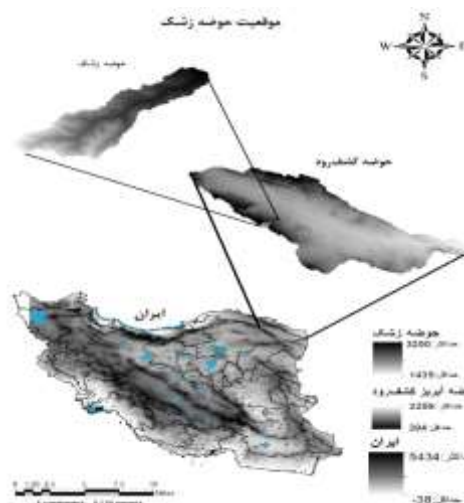
11 Voropay

مدل‌های هیدرولوژیکی به‌ویژه در نرم‌افزار HEC-HMS و بررسی پهنه سیلاب آن در مدل HEC-RAS، تحقیقات کمی انجام شده است. بنابراین اهداف پژوهش حاضر عبارتند از: (۱) ارزیابی دقت داده‌های بارش یادشده در حوضه آبریز کشف‌رود با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی؛ (۲) بررسی دقت داده‌های بارش ERA5 در نرم‌افزار HEC-HMS جهت برآورد هیدروگراف جریان در زیرحوضه زشک-ابره؛ (۳) بررسی دقت پهنه سیلاب برآورد شده در رودخانه زشک با استفاده از دبی پیک هیدروگراف جریان حاصل از داده‌های بارش ERA5؛ در راستای اهداف مورد نظر تاکنون مطالعه‌ای در حوضه آبریز کشف‌رود و زیرحوضه زشک-ابره و رودخانه زشک صورت نگرفته است. همچنین جهت شبیه‌سازی مشخصات حوضه در نرم‌افزار HEC-HMS از ابزارهای موجود در منوی GIS استفاده شد که آوریل ۲۰۲۱ به این نرم‌افزار افزوده شده است. در واقع این منو به جای افزونه HEC-GeoHMS استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

زیرحوضه زشک-ابره (یا حوضه زشک) در موقعیت جغرافیایی $59^{\circ}4'39''$ تا $59^{\circ}16'13''$ طول شرقی و $36^{\circ}15'12''$ تا $36^{\circ}23'12''$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه دارای مساحت حدود ۹۲۲۷,۷ هکتار، محیط ۵۷,۹ کیلومتر، ارتفاع متوسط در حدود ۲۲۳۴,۶ متر، ارتفاع حداقل ۱۴۲۹ و حداکثر ۳۲۶۱ متر و شیب متوسط حدود ۳۷,۷ درصد در حوضه آبریز کشف‌رود و از نظر سیاسی در محدوده شهرستان طرqbه-شاندیز واقع شده است. طول حوضه ۲۱,۵ کیلومتر بوده و تمامی رواناب این حوضه از طریق رودخانه زشک-ابره عبور نموده و وارد دشت مشهد می‌شود. بارش متوسط حوضه حدود ۴۰۴ میلیمتر و بیشترین بارندگی ماهانه به‌ترتیب با ۷۱ و ۶۵ میلیمتر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت اتفاق می‌افتد که هرکدام حدود ۱۸ و ۱۶ درصد از کل بارش را به خود اختصاص می‌دهند و ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور نیز خشک‌ترین ماه‌های سال می‌باشند. در پژوهش حاضر لایه‌های مورد نیاز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی و داده‌های دبی و بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبریز کشف‌رود از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شد که به علت نقص در داده‌های ایستگاه‌های حصار-دهبار، حرکت، دولت‌آباد خرم‌دره، شریف‌آباد کشف‌رود، شغل‌آباد و مزدوران، این ایستگاه‌ها از مراحل انجام پژوهش حذف گردیدند. همچنین داده‌های بازتحلیل شده ERA5 نیز از پایگاه <https://cds.climate.copernicus.eu> دریافت گردید. جداول ۱ و ۲ به‌ترتیب خصوصیات فیزیوگرافی حوضه زشک و مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبریز کشف‌رود را نشان می‌دهند.



شکل ۱- موقعیت حوزه زشک

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوزه زشک (مأخذ: مهندسین مشاور آبخیز گستر شرق)

نام حوزه	مساحت (km^2)	محیط (km)	ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	ارتفاع متوسط (متر)	ارتفاع میانه (متر)	نمای ارتفاعی (متر)	طول حوضه (km)	شیب متوسط (%)
حوضه آبخیز زشک- ابرهه	۹۲,۲۸	۵۷,۸۹	۱۴۲۹	۳۲۶۱	۲۲۳۴,۶۱	۲۲۳۸	۲۱۵۰	۲۱,۵۳	۵۲,۴۶

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آبریز کشف‌رود (مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای

خراسان رضوی)

نام ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع (m)
آبقد ارداک	۵۹,۴۶	۳۶,۷۶	۱۵۰۵
آبقد فریزی	۵۸,۹۶	۳۶,۴۹	۱۳۹۰
اداره مشهد	۵۹,۵۷	۳۶,۳۱	۱۰۱۸
ارداک بند ساروج	۵۹,۳۹	۳۶,۷۲	۱۳۲۰
آق دریند	۶۰,۸۵	۳۵,۹۹	۶۰۲
آل	۵۹,۶۶	۳۶,۷۱	۱۴۶۴
امامزاده رادکان	۵۹	۳۶,۸	۱۲۱۴
امامزاده میامی	۶۰,۱۲۶	۳۶,۲۳	۱۰۳۹
اندرخ	۵۹,۶۶	۳۶,۵۸	۱۲۰۷
اولنگ اسدی	۵۹,۸	۳۶,۲۵	۹۱۲

نام ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع (m)
بلغور	۵۸,۵۹	۳۶,۸۴	۱۹۴۱
بهمن جان علیا	۵۸,۹۷	۳۶,۹	۱۳۷۱
پل خاتون	۶۱,۰۷	۳۵,۹۶	۴۱۰
تلغور	۵۹,۳۶	۳۶,۸۲	۱۵۶۳
جاغرق	۵۹,۳۲	۳۶,۳۱	۱۴۳۴
چکنه علیا	۵۸,۴۷	۳۶,۸۴	۱۷۰۴
چناران	۵۹,۱۳	۳۶,۶۴	۱۱۸۶
دهانه اخلمد	۵۸,۹۴	۳۶,۵۹	۱۴۶۷
زشک خراسان	۵۹,۱۹	۳۶,۳۳	۱۸۳۲
سد طرق	۵۹,۵۵	۳۶,۱۷	۱۲۴۲
سدکارده	۵۹,۶۹	۳۶,۶۲	۱۲۷۹
فریزی	۵۸,۹۷	۳۶,۴۸	۱۶۳۱
قدیرآباد	۵۸,۹۷	۳۶,۸	۱۱۹۵
گلمکان	۵۹,۱۵۶	۳۶,۴۸	۱۴۴۰
گوش بالا	۵۹,۵۶	۳۶,۷۱	۱۵۶۹
مارشک	۵۹,۵۴	۳۶,۸	۱۸۳۰
هندل آباد	۵۹,۹۹	۳۶,۴۲	۱۲۰۶

۲-۲- روش پژوهش

دقت اندازه‌گیری بارش برای مدل‌سازی رواناب و پیش‌بینی سیلاب‌های شدید و همچنین سایر مخاطرات و بلایای طبیعی از اهمیت بالایی برخوردار است (ترینه و ملکشین^۱، ۲۰۲۱). در پژوهش حاضر جهت دستیابی به اهداف مورد انتظار، داده‌های بارش ERA5 پس از دانلود در گام زمانی روزانه و دقت تفکیک ۱°، ۱°×۰،۱° برای سال‌های آبی ۱۳۹۵-۹۶ تا ۱۳۹۸-۹۹ در فرمت NetCDF از سایت یادشده در بخش قبل، با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و شاخص‌های آماری به شرح زیر، با بهره‌گیری از برنامه‌نویسی در محیط ویزوال بیسیک در اکسل محاسبه شد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (1)$$

$$NSE^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

1 Trinh و Molkenthin

2 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

$$RMSE^1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (۳)$$

$$PBias = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (۴)$$

$$FAR^2 = \frac{F}{H+F} \quad (۵)$$

$$POD^3 = \frac{H}{H+M} \quad (۶)$$

$$TS^4 = \frac{H}{H+F+M} \quad (۷)$$

که O_i داده‌های مشاهداتی، P_i داده‌های شبیه‌سازی‌شده، $\bar{O}$ متوسط داده‌های مشاهداتی، H تعداد رویدادهای پیش‌بینی‌شده موفقیت‌آمیز توسط یک محصول بارشی معین، F تعداد موارد غیرواقعی که به اشتباه پیش‌بینی شده‌اند و M تعداد رویدادهای واقعی که از دست رفته‌اند. شاخص FAR نسبت هشدار اشتباه که نسبت تعداد رویدادهای پیش‌بینی‌شده نادرست به تعداد کل رویدادهای پیش‌بینی‌شده است؛ POD احتمال تشخیص که نسبت تعداد رویدادهای پیش‌بینی‌شده درست به کل بارندگی‌های ثبت‌شده توسط ایستگاه‌ها است. TS امتیاز تهدید که اندازه‌گیری یکپارچه‌ای از عملکرد کلی را ارائه می‌دهد. محدوده تغییرات این سه شاخص (۰-۱) است؛ مقدار ایده آل برای FAR نزدیک به صفر و برای TS و POD نزدیک به یک می‌باشد. پس از ارزیابی داده‌های بارش ERA5، در مرحله بعد لایه مدل رقوم ارتفاعی (DEM) با توان تفکیک مکانی ۱۲٫۵ متر ماهواره ALOS-PALSAR برای حوضه زشک از وبسایت vertex.daac.asf.alaska.edu دریافت گردید و سپس در نرم‌افزار HEC-HMS فراخوانی شد و با استفاده از فرامین موجود در منوی GIS پارامترهای حوضه محاسبه شدند. در ادامه جهت محاسبه میزان تلفات نفوذ از روش شماره منحنی SCS استفاده شد. در راستای استفاده از این روش، محاسبات مربوط به درصد نفوذناپذیری و متوسط شماره منحنی هر یک از زیرحوضه‌ها به ترتیب از طریق لایه‌های کاربری اراضی و شماره منحنی به دست آمدند. **شکل‌های ۲-الف تا ج** به ترتیب لایه‌های گروه هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی و شماره منحنی را نشان می‌دهند. به منظور تبدیل بارش به رواناب نیز از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شد. پس از معرفی مدل حوضه، مدل هواشناسی، مشخصه کنترل و ورود داده‌های بارش و دبی به نرم‌افزار، اقدام به واسنجی مدل شد. بدین منظور پس از بررسی وقایع متعدد بارش و رواناب در نهایت دو واقعه مربوط به ۹۱/۱/۱۱ و ۹۱/۲/۶ جهت واسنجی و یک واقعه مربوط به ۹۹/۱/۲۳ جهت اعتبارسنجی مدل انتخاب شدند. برای ارزیابی مدل نیز شاخص‌های آماری

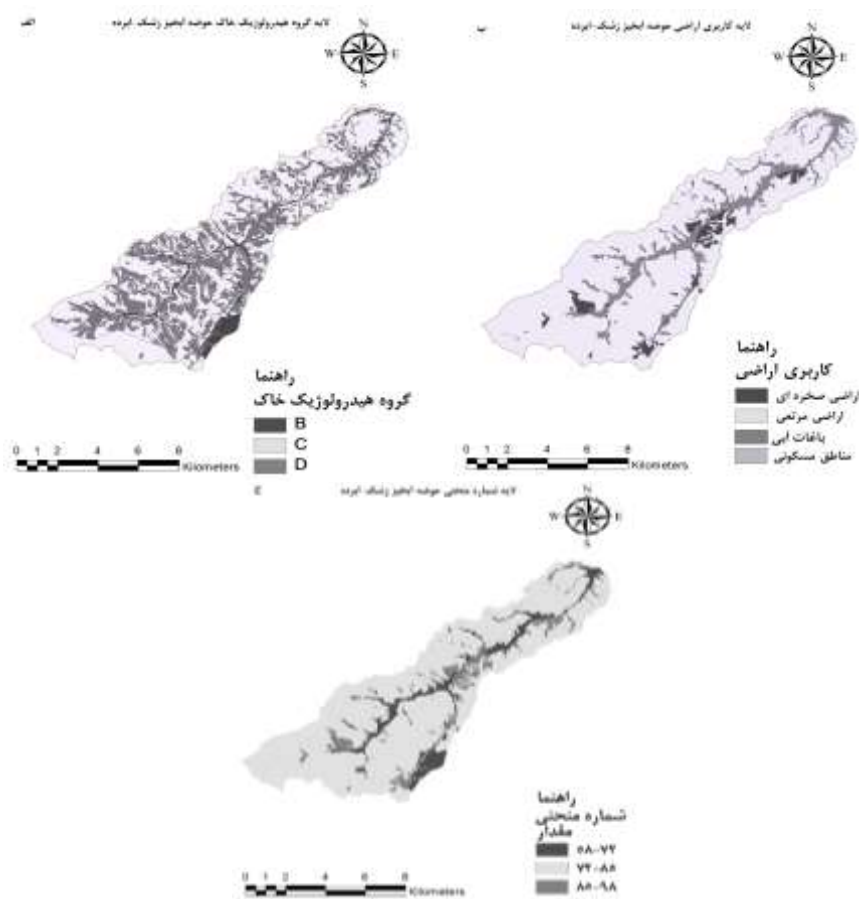
1 Root-Mean-Square Error

2 False Alarm Ratio

3 Probability Of Detection

4 Threat Score

ضریب کارایی نش سانتکلیف (NSE) و درصد Bias استفاده گردیدند. مبنای سنجش شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، عملکرد شاخص‌های آماری برای مدل‌های حوضه آبریز ارائه شده توسط **موریاسی^۱** و **همکاران** (۲۰۱۵) می‌باشد.



شکل ۲-الف-نقشه گروه هیدرولوژیک خاک حوضه زشک؛ ب- نقشه کاربری اراضی حوضه زشک؛ ج- نقشه شماره منحنی حوضه زشک (دریافتی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی)

در نهایت لایه DEM یک متر رودخانه زشک به طول حدود ۳,۳ کیلومتر بالادست ایستگاه زشک از شرکت تکاب سبز توس دریافت شد و به همراه دبی پیک سیلاب بدست آمده از هیدروگراف سیلاب در مرحله قبل، وارد مدل HEC-RAS شده و با استفاده از منوی RAS Mapper خط‌الرأس رودخانه، سواحل چپ و راست، خطوط مسیر جریان و مقاطع عرضی رسم شدند. در واقع منوی RAS Mapper به جای افزونه HEC-GeoRAS

استفاده می‌شود. روند محاسبه پروفیل سطح آب در حالت جریان ماندگار در مدل هیدرولیکی HEC-RAS از یک مقطع به مقطع بعدی و با حل معادله انرژی به روش گام به گام استاندارد می‌باشد. در این روش، محاسبات، بسته به نوع جریان از یکی از دو بازه انتهایی (در جریان فوق بحرانی از مقطع بالادست و در جریان زیربحرانی از مقطع پایین‌دست) شروع می‌شود. اساس این روش بر مبنای رابطه انرژی (رابطه ۸) است.

$$y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_l \quad (۸)$$

در این رابطه y_1 و y_2 عمق آب در مقطع ابتدایی و انتهایی رودخانه (m)، z_1 و z_2 رقوم کف رودخانه در دو مقطع یادشده (m)، v_1 و v_2 سرعت در دو مقطع یادشده (m/s)، α_1 و α_2 ضرایب تصحیح انرژی جنبشی در دو مقطع یادشده، g شتاب ثقل (m/s^2) و h_l افت انرژی (m) است. افت انرژی کل نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h_l = LS_f + c \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (۹)$$

در این رابطه L فاصله (m) و S_f شیب اصطکاکی بین دو مقطع و c ضریب افت تنگ‌شدگی و بازشدگی می‌باشد. L فاصله بین دو مقطع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L = \frac{L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (۱۰)$$

که در آن L_{lob} ، L_{rob} و L_{ch} فواصل بین سواحل راست، کانال اصلی و چپ بین هر دو مقطع؛ Q_{lob} و Q_{rob} دبی جریان بین سواحل راست، کانال اصلی و چپ بین هر دو مقطع می‌باشد. در نهایت پس از تعیین شرایط مرزی، اجرا و واسنجی مدل، پهنه سیلاب حاصل از دبی پیک بدست‌آمده از هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش ERA5 (دبی ERA5) نسبت به دبی ایستگاه هیدرومتری زشک (دبی مرجع) ارزیابی شد.

۳- نتایج و بحث

پژوهش حاضر جهت بررسی پهنه سیلاب حاصل از دبی ERA5 نسبت به دبی مشاهداتی انجام شد. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش ERA5 در حوضه آبریز کشف‌رود مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS با وقایع یادشده در بخش قبل، داده‌های بارش ERA5 در موقعیت ایستگاه

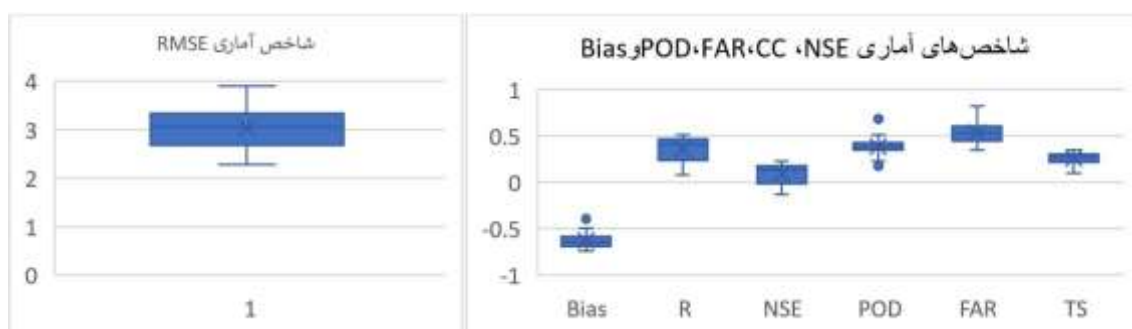
زشک مربوط به تاریخ ۹۹/۱/۲۳ وارد HEC-HMS شد و نتایج مربوط به هیدروگراف خروجی آن با نتایج مربوط به ایستگاه زشک مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پهنه سیلاب حاصل از دبی ERA5 نسبت به دبی مرجع با استفاده از HEC-RAS و Arc GIS مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه نتایج مربوط به هر بخش به صورت جداگانه آمده است.

۳-۱- ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل شده ERA5 در گام زمانی روزانه

در راستای ارزیابی دقت داده‌های بارش ERA5 نسبت به داده‌های بارش زمینی، شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش در **جدول ۳** آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر NSE در محدوده مجاز (۱-∞) به دست آمده است. همچنین مقادیر RMSE و R در محدوده رضایت‌بخشی به دست آمدند. به طور کلی این محصول در تخمین بارش‌های شدید دارای کم‌برآوردی بود که این نتیجه در مطالعه **سینق^۱ و همکاران (۲۰۲۱)** نیز مشاهده شده بود. **شکل ۳** نیز نمودارهای جعبه‌ای شاخص‌های محاسبه‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهند.

جدول ۳- جدول مقادیر شاخص‌های آماری جهت ارزیابی داده‌های بارش ERA5 در گام زمانی روزانه

میانۀ	میانگین	حد اکثر	حداقل	
-۰,۶۴۶	-۰,۶۲۷	-۰,۷۴۱	-۰,۳۹۳	Bias
۳,۰۶۳	۳,۰۳۷	۳,۸۹۹	۲,۲۸۶	RMSE
۰,۳۸۴	۰,۳۸۶	۰,۶۸۶	۰,۱۷۷	POD
۰,۵۳۵	۰,۵۳۹	۰,۸۲۱	۰,۳۵۰	FAR
۰,۲۸۱	۰,۲۶۳	۰,۳۵۲	۰,۰۹۸	TS
۰,۴۱۱	۰,۳۶۳	۰,۵۱۷	۰,۰۸۱	R
۰,۱۴۲	۰,۰۹۷	۰,۲۳۲	-۰,۱۳۲	NSE



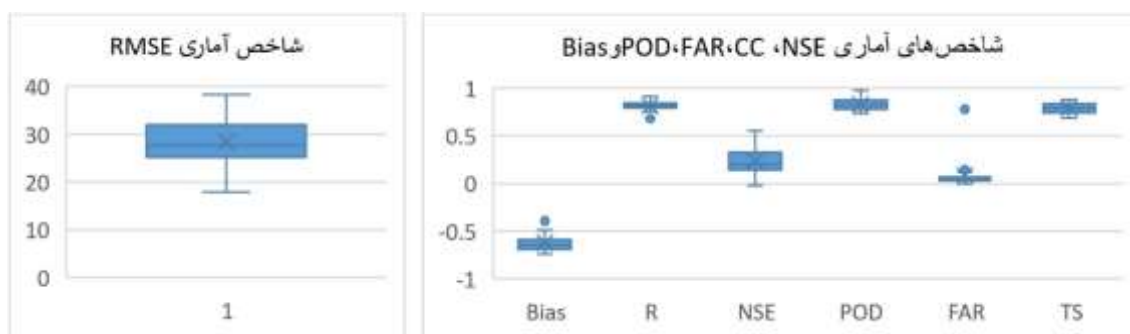
شکل ۳- نمودار جعبه‌ای شاخص‌های CC، NSE، POD، FAR، TS و Bias (سمت راست) و نمودار جعبه‌ای RMSE (سمت چپ)

۳-۲- ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل شده ERA5 در گام زمانی ماهانه

در ارزیابی دقت داده‌های بارش ERA5 نسبت به داده‌های بارش زمینی در گام زمانی ماهانه، شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۴ آمده است. شکل ۴ نیز نمودارهای جعبه‌ای شاخص‌های محاسبه شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده عملکرد نامناسب داده‌های ERA5 در ماه‌های گرم و خشک (فصل تابستان) بود و در بقیه سال عملکرد مناسب‌تری داشت. به طور کلی مقادیر شاخص‌های ارزیابی به مقدار ایده‌آل خود نسبت به گام زمانی روزانه، نزدیک‌تر شده‌اند.

جدول ۴- جدول مقادیر شاخص‌های آماری جهت ارزیابی داده‌های بارش ERA5 در گام زمانی ماهانه

میانگین	میانگین	حداکثر	حداقل	
-۰,۶۵	-۰,۶۳	-۰,۷۴	-۰,۳۹	Bias
۲۷,۶۷	۲۸,۳۷	۳۸,۳۷	۱۷,۸۵	RMSE
۰,۸۲	۰,۸۳	۰,۹۷	۰,۷۴	POD
۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۱۶	۰,۰۰	FAR
۰,۷۸	۰,۷۹	۰,۸۸	۰,۶۸	TS
۰,۸۲	۰,۸۲	۰,۹۲	۰,۶۸	R
۰,۲۰	۰,۲۳	۰,۵۵	-۰,۰۲	NSE



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای شاخص‌های CC، NSE، POD، FAR، TS و Bias (سمت راست) و نمودار جعبه‌ای RMSE (سمت چپ)

۳-۳- ارزیابی هیدروگراف سیلاب

پس از اعتبارسنجی داده‌های بارش ERA5، نرم‌افزار HEC-HMS با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه زشک در وقایع ۹۱/۱/۱۱ و ۹۱/۲/۶ مورد واسنجی و با استفاده از واقعه مربوط به ۹۹/۱/۲۳ مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. سپس داده‌های بارش ERA5 در گام زمانی روزانه در موقعیت ایستگاه زشک مربوط به واقعه ۹۹/۱/۲۳ وارد HEC-HMS شد و نتایج آن با استفاده از شاخص‌های آماری NSE و PBias مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه همانطور که قبلاً بیان شد جهت محاسبه پارامترهای حوضه در نرم‌افزار HEC-HMS، از منوی GIS شد. **شکل ۵** شمایی از مدل حوضه ساخته‌شده در نرم‌افزار HEC-HMS با استفاده از منوی GIS را نشان می‌دهد. **جدول ۳** نیز برخی از پارامترهای محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار HEC-HMS را نشان می‌دهد.



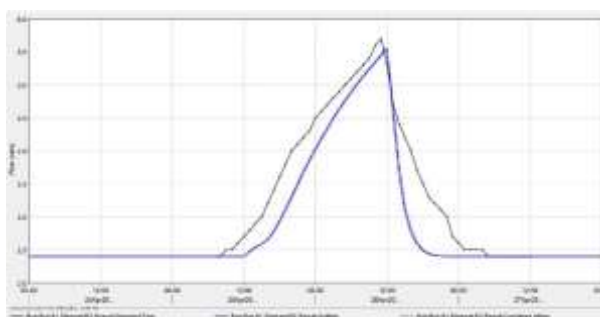
شکل ۵- شمایی از مدل حوضه ساخته شده در HEC-HMS از حوضه زشک

جدول ۳- جدول برخی از پارامترهای محاسبه شده توسط نرم‌افزار HEC-HMS

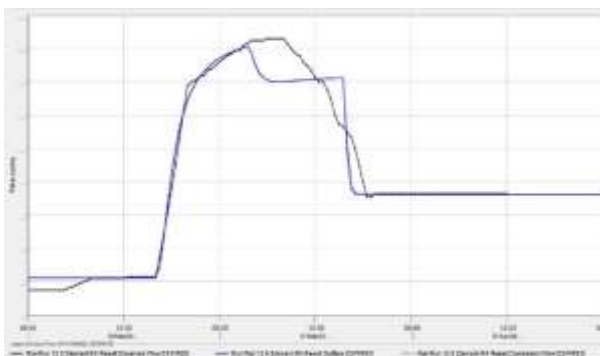
نام زیرحوضه	مساحت (km ²)	طولانی‌ترین مسیر جریان (km)	طولانی‌ترین شیب	طولانی‌ترین مسیر جریان از مرکز ثقل تا خروجی زیرحوضه‌ها (km)	شیب زیرحوضه	ضریب کشیدگی	تراکم زهکشی
Z1	۱۴,۵	۷,۱۶	۰,۱۶	۳,۵۱	۰,۴۶	۰,۵۹	۰,۵۸
Z2	۶,۹۶	۴,۲۵	۰,۲۰	۲,۰۴	۰,۴۶	۰,۷۰	۰,۵۷
Z'1	۱۵,۸۳	۶,۱۲	۰,۱۷	۱,۸۶	۰,۴۹	۰,۷۳	۰,۷۲
Z3	۱۲,۰۲	۸,۶۸	۰,۱۳	۴,۴۴	۰,۵۰	۰,۴۵	۰,۶۲
Z'2	۶,۷۱	۴,۳۶	۰,۱۸	۱,۵۷	۰,۵۱	۰,۶۷	۰,۵۰
Z'3	۸,۳۹	۴,۳۰	۰,۱۳	۱,۱۵	۰,۴۱	۰,۷۶	۰,۷۴
Z'4	۹,۴۲	۶,۵۱	۰,۰۹	۲,۶۰	۰,۴۲	۰,۵۳	۰,۶۵
Z4	۲,۹۹	۳,۴۲	۰,۱۷	۱,۵۳	۰,۳۸	۰,۵۷	۰,۷۴

۰,۹۶	۰,۴۲	۰,۳۰	۴,۰۵	۳,۱۹	۰,۰۸	۵,۴۰	۳,۹۷	Z'5
۰,۷۲	۰,۵۳	۰,۳۵	۵,۰۴	۲,۹۶	۰,۰۹	۶,۷۲	۱۰,۱۳	Z'5

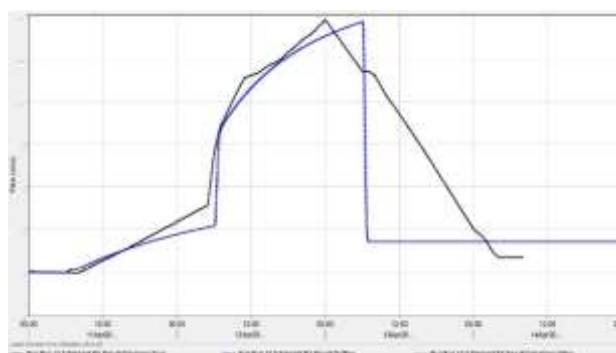
به منظور مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی، شکل‌های ۶ تا ۸ در ادامه ارائه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود مدل در پیش‌بینی بازوی پایین‌رونده هیدروگراف، دقت کمتری داشته‌است که این مسئله به علت ورود داده‌های بارش در گام زمانی روزانه (به علت عدم وجود بارانسنج ثابت در حوضه زشک) بود که به تبع آن، دقت هیدروگراف محاسباتی نسبت به هیدروگراف مشاهداتی که در گام زمانی ساعتی وارد شده، کمتر بوده‌است. همچنین مقادیر دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج نسبت به هیدروگراف مشاهداتی با اختلاف برآورد شده است که این مسئله با نتایج شاخص‌های آماری در جدول ۵ مطابقت دارد.



شکل ۶- هیدروگراف واقعه ۹۱/۲/۶



شکل ۷- هیدروگراف واقعه ۹۱/۱/۱۱



شکل ۸- هیدروگراف واقعه ۹۹/۱/۲۳

جدول ۵- مقادیر حجم و دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی به‌مراه اختلاف و درصد اختلاف بین آن‌ها

۹۹/۱/۲۳			۹۱/۱/۱۱			۹۱/۲/۶			
زمان رسیدن به دبی اوج	دبی پیک (M3/S)	حجم (mm)	زمان رسیدن به دبی اوج	دبی پیک (M3/S)	حجم (mm)	زمان رسیدن به دبی اوج	دبی پیک (M3/S)	حجم (mm)	
۹۹/۱/۲۵،۰۶:۰۰	۱۳،۷	۳۳،۲۲	۹۱/۱/۱۲،۷:۰۰	۱۶،۱	۷۶،۰۲	۹۱/۲/۷،۱۲:۰۰	۵،۶	۱۷،۶۲	هیدروگراف محاسباتی
۹۹/۱/۲۵،۰۰:۰۰	۱۳،۸	۳۵،۲۷	۹۱/۱/۱۲،۱۲:۰۰	۱۶،۶	۶۶،۰۲	۹۱/۲/۷،۱۱:۰۰	۵،۷	۱۲،۱۹	هیدروگراف مشاهداتی
۶	-۰،۱	-۲،۰۵	۵	-۰،۵	۱۰	۱	-۰،۱	۵،۴۳	اختلاف
-	-۰،۰۰۷	-۰،۰۶	-	-۰،۰۳	۰،۱۳	-	-۰،۰۲	۰،۳۱	درصد اختلاف

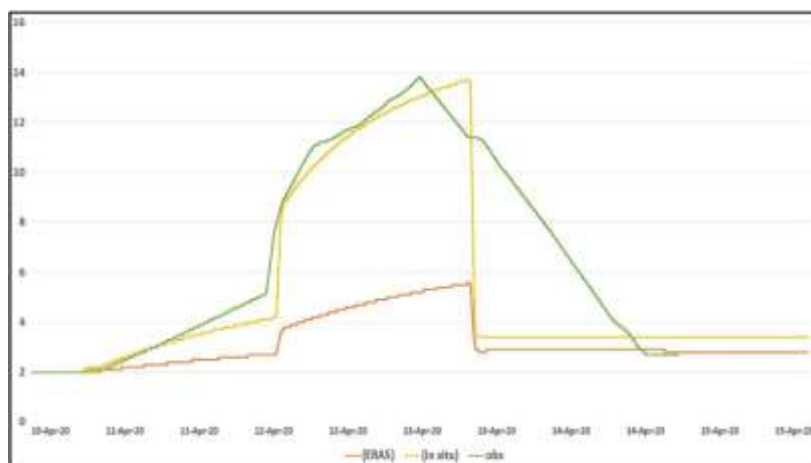
از بین پارامترهای آماری سنجش خطا نیز در این پژوهش از ضریب کارایی نش ساتکلیف و درصد Bias استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. طبق مطالعه موریا ^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در مورد رتبه‌بندی عملکرد شاخص‌های ارزیابی برای مدل‌های حوضه آبریز، نتایج مشروحه در جدول ۷ نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل هستند زیرا شاخص‌های NSE در محدوده‌های بسیار خوب و خوب و PBias در محدوده‌های بسیار خوب، خوب و قابل قبول قرار گرفتند. در همین جدول مقادیر منفی درصد Bias نشان می‌دهند که مقادیر جریان شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر مشاهداتی بوده است که این مسئله همراه با مطالعه خضریان نژاد و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. به‌طور کلی در همه وقایع، عملکرد مدل رضایت‌بخش بوده است.

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری ضریب کارایی نش ساتکلیف و درصد Bias برای وقایع ۹۱/۱/۱۱، ۹۱/۲/۶ و ۹۹/۱/۲۳

شاخص‌های آماری	۹۱/۱/۱۱	۹۱/۲/۶	۹۹/۱/۶
نش ساتکلیف	۰،۸۰۲	۰،۹۶۶	۰،۶۴۴
درصد Bias	-۹،۷۵	-۱،۸۸	-۱۵،۸۲

۳-۴- ارزیابی هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش بازتحلیل شده ERA5

در راستای ارزیابی دقت هیدروگراف حاصل از داده‌های بارش بازتحلیل‌شده ERA5، شکل ۹ هیدروگراف جریان حاصل از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری (هیدروگراف مشاهداتی)، هیدروگراف جریان حاصل از داده‌های بارش ایستگاه زشک (داده‌های بارش زمینی) و هیدروگراف سیلاب حاصل از داده‌های بارش ERA5 را نشان می‌دهد. بنابراین شکل، هیدروگراف سیلاب حاصل از داده‌های بارش ERA5 دارای کم‌برآوردی می‌باشد که علت آن کم‌برآورد کردن میزان بارش در موقعیت ایستگاه زشک در محدوده روزهای متناظر با واقعه ۹۹/۱/۲۳ توسط ERA5 بود. عدم تطابق بازوی پایین رونده هیدروگراف‌های داده‌های بارش ایستگاه زشک و ERA5 به دلیل عدم برابری گام‌های زمانی داده‌های دبی و بارش بود که در بخش قبل توضیح داده‌شد. جدول ۷ مقادیر حجم و دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی به همراه اختلاف و درصد اختلاف بین آن‌ها برای هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف حاصل از داده‌های بارش ERA5 را نشان می‌دهد.



شکل ۹- هیدروگراف سیلاب حاصل از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری (منحنی سبز)، هیدروگراف سیلاب حاصل از داده‌های بارش ایستگاه زشک (منحنی زرد)، هیدروگراف سیلاب حاصل از داده‌های بارش ERA5 (منحنی قرمز)

جدول ۷- مقادیر حجم و دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی به همراه اختلاف و درصد اختلاف بین آن‌ها برای هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف حاصل از داده‌های بارش ERA5

ERA5 بارش ۹۹/۱/۲۳			۹۹/۱/۲۳ هیدروگراف سیلاب مشاهداتی			
زمان رسیدن به دبی اوج	دبی پیک (M3/S)	حجم (mm)	زمان رسیدن به دبی اوج	دبی پیک (M3/S)	حجم (mm)	
۹۹/۱/۲۵،۰۶:۰۰	۵،۶	۱۷،۸۷	۹۹/۱/۲۵،۰۶:۰۰	۱۳،۷	۳۳،۲۲	هیدروگراف محاسباتی
۹۹/۱/۲۵،۰۰:۰۰	۱۳،۸	۳۵،۲۷	۹۹/۱/۲۵،۰۰:۰۰	۱۳،۸	۳۵،۲۷	هیدروگراف مشاهداتی

اختلاف	-۲,۰۵	-۰,۱	۶	۱۷,۴	-۷,۸	۶
درصد اختلاف	-۰,۰۶	-۰,۰۰۷	-	-۰,۹۷	-۱,۴۶	-

با توجه به مطالعه موریاسی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) و شاخص‌های NSE و درصد Bias در جدول ۸، داده‌های بارش بازتخلیل‌شده ERA5 با دارا بودن ضریب NSE و PBias در محدوده غیر قابل قبول ($NSE \leq 0.5$) و ($PBias \leq \pm 25$)، نسبت به هیدروگراف جریان حاصل از داده‌های بارش ایستگاه زشک، کارایی این منبع بارشی پایین می‌باشد. همچنین با توجه به جدول ۸ به دلیل کم‌برآوردی داده بارش توسط این محصول، در نرم‌افزار HEC-HMS نیز میزان دبی پیک به مقدار کمتری محاسبه شده است.

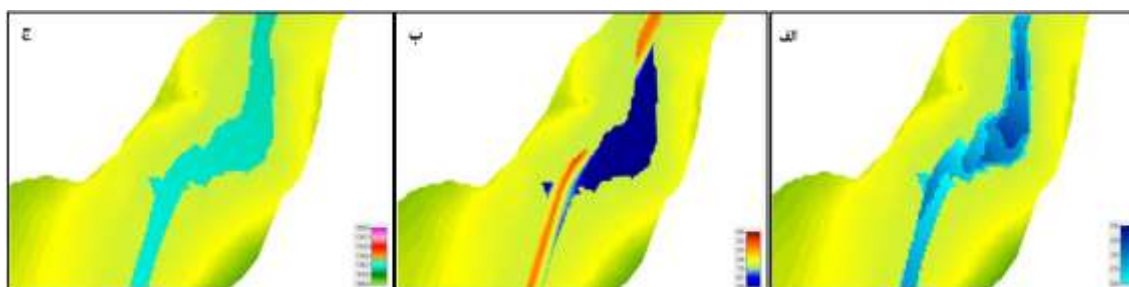
جدول ۸- مقادیر شاخص‌های آماری ضریب کارایی نش ساتکلیف و درصد Bias برای هیدروگراف مشاهداتی و

هیدروگراف حاصل از داده‌های بارش ERA5

شاخص‌های آماری	هیدروگراف سیلاب مشاهداتی ۹۹/۱/۲۳	ERA5 بارش ۹۹/۱/۲۳
نش ساتکلیف	۰,۶۴۴	-۰,۴۷
درصد Bias	-۱۵,۸۲	-۵۵,۱۶

۳-۵- پهنه‌بندی سیلاب

در نهایت پهنه سیلاب با استفاده از دبی پیک به دست آمده در مرحله قبل به همراه سایر اطلاعات ورودی به نرم‌افزار HEC-RAS مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، مدل با استفاده از داده‌های دبی-اشل ایستگاه هیدرومتری زشک و تغییر مکرر ضریب زبری مورد واسنجی قرار گرفت. شکل ۱۰ تغییرات مربوط به عمق آب، سرعت جریان و تراز سطح آب پس از واسنجی مدل و اجرای آن با استفاده از دبی مرجع را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- تغییرات مربوط به عمق آب (الف)، سرعت جریان (ب) و تراز سطح آب (ج) در منوی RAS Mapper در نرم‌افزار HEC-RAS

در پایان پهنه سیلاب به دست آمده از دبی ERA5 با پهنه سیلاب به دست آمده از دبی مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت. **شکل ۱۱** پهنه سیلاب حاصل از دبی ERA5 و دبی مرجع را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود وسعت پهنه سیلاب حاصل از دبی ERA5 به دلیل کم‌برآوردی داده‌های بارش و به دنبال آن کم‌برآورد شدن دبی اوج هیدروگراف آن در مدل HEC-HMS، کمتر از وسعت پهنه سیلاب حاصل از دبی مرجع، به دست آمده است. جدول ۹ نیز مؤید این مسئله می‌باشد.

جدول ۹- اختلاف و درصد اختلاف مساحت پهنه سیلاب دبی شبیه‌سازی شده نسبت به پهنه دبی مشاهداتی

منبع بارشی	اختلاف مساحت پهنه سیلاب نسبت به پهنه دبی مشاهداتی	درصد اختلاف مساحت پهنه سیلاب نسبت به پهنه دبی مشاهداتی
ERA5	-۳۹۳۱,۲۳	-۱۸,۹۳



شکل ۱۱- پهنه سیلاب به دست آمده از دبی ERA5 و دبی مرجع

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر به بررسی دقت برآورد پهنه سیلاب حاصل از دبی ERA5 نسبت به پهنه سیلاب حاصل از دبی مرجع پرداخته شد. بدین منظور ابتدا نیاز به اعتبارسنجی داده‌های بارش این محصول در حوضه آبریز کشف‌رود بود. کم‌برآوردی داده‌های بارش ERA5 هم‌راستا با مطالعه **ایزدی و همکاران (۲۰۲۱)** می‌باشد. همچنین دقت این محصول در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نسبت به هیدروگراف حاصل از داده‌های بارش ایستگاه زشک

رضایت بخش نبود اما در مطالعه بین^۱ و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد این محصول قابل قبول بود. پهنه سیلاب دبی ERA5 نیز نسبت به پهنه سیلاب دبی مرجع ۱۹، ۰- به دست آمد که به دلیل کم‌برآوردی داده‌های بارش و به دنبال آن کم‌برآورد شدن دبی اوج هیدروگراف آن در مدل HEC-HMS می‌باشد. مطالعات آینده می‌توانند در خصوص ارزیابی پهنه سیلاب حاصل از داده‌های بارش محصولات مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS باشند. همچنین در جهت افزایش دقت این محصولات، با ترکیب آن‌ها با یکدیگر امجد^۲ و همکاران (۲۰۲۰) می‌توان به این مهم دست یافت.

کتابنامه

- جبلی فرد، س؛ احمدی، ح؛ ۱۳۹۵. راهنمای کاربران سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر: <https://www.gisoom.com/book/1951120>.
- خضریان‌نژاد، ن؛ حجام، س؛ میرزایی، امشکواتی، ا؛ ۱۳۹۱. پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز تیره با استفاده از پیش‌بینی کمی بارش خروجی مدل WRF. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۳.
- https://clima.irimo.ir/article_13720.html.
- عرفانی‌رحمت‌نیا، ع؛ باباییان، انتظاری، ع؛ ۱۳۹۷. کارایی داده‌های بازکاوی ERA-Interim در شبیه‌سازی بارش مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی خراسان رضوی. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی. دانشگاه فردوسی مشهد. <https://civilica.com/doc/780994>.
- عزیزی مبصر، ج؛ رسول‌زاده، ع؛ رحمتی، ا؛ شایقی، اباختر، آ؛ ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱. ۲۹۳۷-۲۹۵۱.
- <https://www.sid.ir/paper/402729/fa>.
- کریمی، م؛ حیدری، سرفعتی، س؛ ۱۴۰۰. روند تغییرات مولفه‌های جوی چرخه آب (بارش و آب قابل بارش) در حوضه‌های آبریز ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۸. ۳۳-۵۴.
- <https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3176-fa.html>.
- گرجی‌زاده، ع؛ آخوندعلی، عم؛ شهبازی، ع؛ مریدی، ع؛ ۱۳۹۸. مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS در بالادست سد مارون. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵، ۲۶۷-۲۷۹. <https://www.sid.ir/paper/100048/fa>.

Amjad M, Yilmaz M, Yucel I Yilmaz K., 2020. Performance Evaluation of Satellite- and Model-based Precipitation Products over Varying Climate and Complex Topography. Journal of Hydrology 584: 124707. <https://10.1016/j.jhydrol.2020.124707>.

1 Yin

2 Amjad

- Belabid N, Zhao F, Brocca L, Huang Y, Tan Y., 2019. Near-Real-Time Flood Forecasting Based on Satellite Precipitation Products. *Remote Sensing* 11: 252. <https://doi.org/10.3390/rs11030252>.
- Dasgupta A, Thakur P, Gupta P., 2020. Potential of SAR-Derived Flood Maps for Hydrodynamic Model Calibration in Data Scarce Regions. *Journal of Hydrologic Engineering* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001988](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001988).
- Harrigan S, Zsoter E, Alfieri L, Prudhomme C, Salamon P, Wetterhall F, Barnard C, Cloke HP, Pappenberger F., 2020. GloFAS-ERA5 operational global river discharge reanalysis 1979–present. *Earth Syst. Sci. Data* 12: 2043-2060. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2043-2020>.
- Hwang S-O, Park J, Kim H.M., 2019. Effect of hydrometeor species on very-short-range simulations of precipitation using ERA5. *Atmospheric Research* 218: 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.008>.
- Izadi N, Ghasemi E, Ranjbar A, Shamsipour A, Fattahi E, Habibi M., 2021. Evaluation of ERA5 Precipitation Accuracy Based on Various Time Scales over Iran during 2000–2018. *Water* 13: 2538. <https://doi.org/10.3390/w13182538>.
- Lu L, Yuan W, Su C, Gao Q, Yan D, Wu Z., 2022. Study on the early warning and forecasting of flash floods in small watersheds based on the rainfall pattern of risk probability combination. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 36: 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02059-0>.
- Moriasi D, Gitau M, Pai N, Daggupati P., 2015. Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)* 58: 1763-1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>.
- Sabah P, Junaid Nazir K, Rohitashw K, Saqib Parvaze A., 2021. Flood Forecasting in the Sparsely Gauged Jhelum River Basin of Greater Himalayas Using Integrated Hydrological and Hydraulic Modelling Approach. *Climate Dynamics* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-461873/v1>.
- Shayeghi A, Azizian A, Brocca L., 2019. The Reliability of Reanalysis and Remotely Sensed Precipitation Products for Hydrological Simulation over the Sefidrood River Basin in Iran. *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques* <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691217>.
- Singh T, Saha U, Prasad V, S. Gupta M.D., 2021. Assessment of newly-developed high resolution reanalyses (IMDAA, NGFS and ERA5) against rainfall observations for Indian region. *Atmospheric Research* 259: 105679. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105679>.
- Trinh M, Molkenhuth F., 2021. Flood hazard mapping for data-scarce and ungauged coastal river basins using advanced hydrodynamic models, high temporal-spatial resolution remote sensing precipitation data, and satellite imageries. *Natural Hazards* 109: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04843-1>.
- USACE. 2021. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual, Technical Reference Manual. Journal, 676.
- Voropay N, Ryazanov A, Dyukarev E., 2021. High-resolution bias-corrected precipitation data over South Siberia, Russia. *Atmospheric Research* 254: 105528. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105528>.
- Yang Y, Pan M, Lin P, Beck H, Zeng Z, Yamazaki D, David C, Lu H, Yang K, Hong Y, Wood E. 2021. Global Reach-Level 3-Hourly River Flood Reanalysis (1980–2019). *Bulletin of the American Meteorological Society* 102: 1-49. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0057.1>.
- Yin J, Guo S, Gu L, Zeng Z, Liu D, Chen J, Shen Y, Xu C-Y., 2020. Blending multi-satellite, atmospheric reanalysis and gauge precipitation products to facilitate hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 593: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125878>.

Yuan X, Yang K, Lu H, He J, Sun J, Wang Y., 2021. Characterizing the features of precipitation for the Tibetan Plateau among four gridded datasets: Detection accuracy and spatio-temporal variabilities. *Atmospheric Research* 264: 105875. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105875>.



Investigating the Relationship between Karst Landforms and Tectonic Structures in the Tamtaman Nazlo Chai Area, Northwest of Urmia

Reza AbbasianValandar^a, Shahram Roostaei^{b*}, Davood Mokhtari^b

^a PhD Candidate in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b Professor in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 25 December 2021

Revised: 10 February 2022

Accepted: 18 February 2022

Abstract

The results of studies conducted in this regard show that the climate of the region is semi-arid and cold, and its rainfall regime is in the Mediterranean. Its geomorphology is young and its topography is directly related to geological structures, i.e., most folds and fractures make up the heights. The lithology of the formation, along with the action of tectonic processes that have led to the dissolution and creation of joints and cracks in the rocks, has provided the necessary conditions for the formation of less developed karst forms. The region's most significant karst forms are Karen, pinnacles, channels, dissolution doline and dissolution cavities, karst springs, and caves that have spread along joints, cracks, and faults and indicate the connection between these landforms and the region's tectonic structures. In this study, to find out the relationship between tectonics and karst formation, the dip and strikes of fractures (joints and faults) were measured in 7 areas. The results obtained from field studies and their comparison with the data contained in remote sensing documents show that the direction of most joints in the region is consistent with the direction of faults. It has also been found that more Karst landforms have formed along these joints. On the other hand, most of the valleys are consistent with the geological structures of the region, i.e., faults and folds. Therefore, tectonics has played an effective role in creating Karst landforms and their hazards in the region. According to the rockfall risk zoning map, 3.77% of the total area is in the high-risk zone.

Keywords: Karst Landforms, Tectonic Structures, Risk Zoning, Tamtaman Cave, Nazlo Chai Urmia

*. Corresponding author: Shahram Roostaei E-mail: roostaei@tabrizu.ac.ir Tel: + 989143134410

How to cite this Article: Abbasian Valandar, R., Roostaei, S., & Mokhtari, D. (2022). Investigating the relationship between Karst landforms and tectonic structures in the Tamtaman Nazlo Chai area, northwest of Urmia. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 43-65.
<https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74930.1160>



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant
With open access mandates, by publishing its articles under Creative
Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74930.1160>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۶۵-۴۳
مقاله پژوهشی

بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدوده تتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه

رضا عباسیان ولندر - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
ID شهرام روستایی^۱ - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
داود مختاری - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

نتایج حاصل از بررسی منطقه محدوده تتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه، نشان می‌دهد اقلیم منطقه نیمه‌خشک و سرد بوده و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است. ژئومورفولوژی آن جوان و توپوگرافی‌اش رابطه مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد؛ یعنی اغلب چین‌ها و شکستگی‌ها ارتفاعات را می‌سازند. سنگ‌شناسی سازند همراه با عملکرد فرآیندهای تکتونیکی که منجر به انحلال و ایجاد درزه و شکاف در سنگ‌ها شده است، شرایط لازم را جهت تشکیل اشکال نه‌چندان تکامل‌یافته کارستی فراهم کرده است. مهم‌ترین اشکال کارستی منطقه عبارتند از کارن، پیناکل‌ها، کانال‌ها و دولین انحلالی و حفرات انحلالی، چشمه‌های کارستی و غارها که در امتداد درزه و شکاف‌ها و گسل‌ها گسترش یافته‌اند و بیانگر ارتباط بین این اشکال و ساختارهای تکتونیکی منطقه هستند. در این تحقیق به‌منظور پی بردن به ارتباط بین تکتونیک و کارست‌زایی، اقدام به اندازه‌گیری شیب و امتداد شکستگی‌ها (درزه‌ها و گسل‌ها) در ۷ ناحیه شده است. نتایج به دست آمده از بررسی‌های صحرایی و مقایسه آن‌ها با اطلاعات موجود در اسناد سنجش‌ازدور نشان می‌دهد جهت غالب درزه‌ها در منطقه با جهت گسل‌ها انطباق دارد. همچنین مشخص شده است که اشکال

Email: roostaei@tabrizu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۱۳۴۴۱۰

نحوه ارجاع به این مقاله:

عباسیان ولندر، رضا؛ روستایی، شهرام؛ مختاری، داود. (۱۴۰۱). بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدوده تتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۶۵-۴۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74930.1160>

کارستی بیشتر در امتداد همین درزه‌ها به وجود آمده است. از طرف دیگر قسمت اعظم دره‌ها با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، یعنی گسل‌ها و چین‌ها نیز همخوانی دارد. بنابراین تکتونیک نقش مؤثری در ایجاد اشکال کارستی و مخاطرات آن در منطقه داشته است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ تولید شده، ۳/۷۷ درصد از کل منطقه در محدوده خطر بالا قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: اشکال کارستی، ساختارهای تکتونیکی، پهنه‌بندی مخاطرات، غار تتمان، نازلو چای ارومیه.

۱- مقدمه

کارست پدیده‌ای پیچیده و منحصر به فرد است که از شواهد ژئومورفولوژیکی ویژه‌ای برخوردار است و آن را از سایر پدیده‌های زمین‌شناسی و مورفولوژیکی متمایز می‌سازد. توسعه کارست که به عنوان کارست‌زایی نامیده می‌شود در نتیجه انحلال سنگ‌هایی مانند دولومیت، ژئیس، نمک و دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر ایجاد می‌گردد و چشم‌اندازی با سطوح سنگی شیاردار و حفره‌دار، چاله‌های کارستی، چشمه‌ها، سیستم زهکشی زیرسطحی و غارها ایجاد می‌کند (اسپرینگ فیلد و همکاران، ۱۹۷۹). اولین مطالعات کارست در ایران از سال ۱۳۵۰ در حوضه‌های کارستی زاگرس آغاز شده است، اما مطالعات جامع از سال ۱۳۶۹ با تأسیس مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شیراز آغاز گردید (افراسیانیان، ۱۳۷۷). به عنوان مثال، به منظور پی بردن به ارتباط بین تکتونیک و کارست‌زایی در حوضه رودخانه کارده، نتایج به دست آمده از بررسی‌های صحرایی و مقایسه آن با سنجش از راه دور نشان می‌دهد که جهت غالب درزه‌ها در منطقه با جهت گسل‌ها انطباق دارد و تکتونیک نقش اساسی در ایجاد اشکال کارستی در منطقه داشته است (ولایتی و خانعلی زاده، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای که درباره نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌ها در منطقه ایزه مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد ارتباط نزدیکی بین عناصر تکتونیکی با فراوانی چشمه‌ها وجود دارد؛ به طوری که چشمه‌ها در فاصله ۰ تا ۲۳۸۹ متری از عناصر تکتونیکی و در اطراف گسل‌های با طول ۳ تا ۹ کیلومتری است (بوسلیک و همکاران، ۱۳۹۱).

ارتباط کارست و شکستگی‌های منطقه پابده مورد مطالعه قرار گرفت و توسعه کارست در منطقه تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل شکستگی‌ها و تکتونیک می‌باشد و همچنین شکستگی‌ها بر اساس مطالعات صحرایی و تکنیک‌های سنجش از راه دور روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ شناسایی و به صورت رقومی ترسیم شد در این مطالعه ارتباط دولین‌ها با شکستگی‌های غالب در منطقه محرز بوده است (پیراسته، ۱۳۸۵). آسیب شدید و پیچیدگی ساختاری در مناطق فعل و انفعال گسل‌ها می‌تواند پیامدهای مهمی بر جریان سیالات داشته باشد، که منجر به نفوذپذیری بیشتر و مهاجرت چند جهت‌مایعات از جمله هیدروکربن‌ها، CO₂، آب‌های زیرزمینی و مایعات

هیدروترمال می‌شود (سیسون، ۱۹۹۶؛ کورویتر و کارسون، ۱۹۹۷؛ رولند و سیسون، ۲۰۰۴؛ روتون و همکاران، ۲۰۰۹؛ راک ریل و شیپتون، ۲۰۱۰؛ فوسن و روتون، ۲۰۱۶). تنوع در جهت‌گیری‌های ساختاری فرعی، از جمله درزه‌ها و گسل‌های طبیعی که به‌صورت متعامد به بخش‌های اصلی گسل برخورد می‌کنند (کنن هورن و همکاران، ۲۰۰۷؛ سیفتچی و بوزکورت، ۲۰۰۷)، می‌تواند برای مهاجرت مایعات بسیار مهم باشد، و احتمال بروز آن را افزایش دهد. در این منطقه علاوه بر مطالعه چشم‌اندازها و مورفولوژی مناطق کارستی؛ تنش‌های اصلی σ_1 ، σ_2 و σ_3 منطقه و ساختارهای تکتونیکی را در ارتباط با پدیده کارست‌زایی و به‌موجب آن با بررسی مخاطرات منطقه متمم پرداخته‌ایم. به‌منظور بررسی ارتباط تکتونیک با چشم‌اندازهای کارستی، ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده، برای اندازه‌گیری شیب و امتداد گسل‌ها و تعیین جهات میدان تنش تکتونیکی تعیین نمودیم. گسیختگی تکتونیکی سنگ‌ها اطلاعات ارزشمندی درباره میدان تنش که آن‌ها را ایجاد کرده و در مورد جهت‌های میدان فعال ارائه می‌دهد. شگفت‌انگیزترین کاربرد تحلیل سیستم‌های شکستگی در مناطق کارستی به‌عنوان محصول تنش تکتونیکی، شناسایی جهات مناسب افزایش نفوذپذیری در استخراج منابع آب و حتی میادین نفت و گاز است. در این مطالعه با استفاده از روش نیکالائف^۹ (۱۹۷۷) به‌صورت سستی و یا از طریق نرم‌افزار (وین تانسور^{۱۰}) جهت‌های تنش در ایستگاه‌های مختلف را تعیین کردیم و در نهایت به بررسی ارتباط بین تکتونیک، اشکال کارستی و وجود مخاطرات پرداختیم.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه متمم در مسیر جاده ارتباطی ارومیه به سرو در کنار پل رودخانه نازلوچای، راه آسفالت‌های به سمت روستای متمم و میر داوود کشیده شده است که از توابع دهستان نازلوچای جنوبی بخش نازلو به مختصات؛ ۴۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۵ درجه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی محسوب می‌شوند (شکل ۱). اگر به عکس‌های هوایی و یا نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نگاهی انداخته شود، پیدا و آشکار می‌شود که نهشته‌های آهکی - آهک دولومیتی پریمین با صخره‌های عظیمی که رودخانه را در برگرفته از درون پنجره‌ای که در میان آهک‌ها و فلیش‌های الیگو-میوسن باز شده است، نمایان گردیده‌اند. رسوبات پریمین با گسترش زیادی، چه از نظر سطح پوشش و چه از نظر ضخامت ستون چینه‌ای در منطقه مورد مطالعه حضور پیدا می‌کند.

1 (Sibson, 1996)

2 (Curewitz & Karson, 1997)

3 (Rowland & Sibson, 2004)

4 (Rotevatn, Buckley, Howell, & Fossen, 2009)

5 (Dockrill & Shipton, 2010)

6 (Fossen & Rotevatn, 2016)

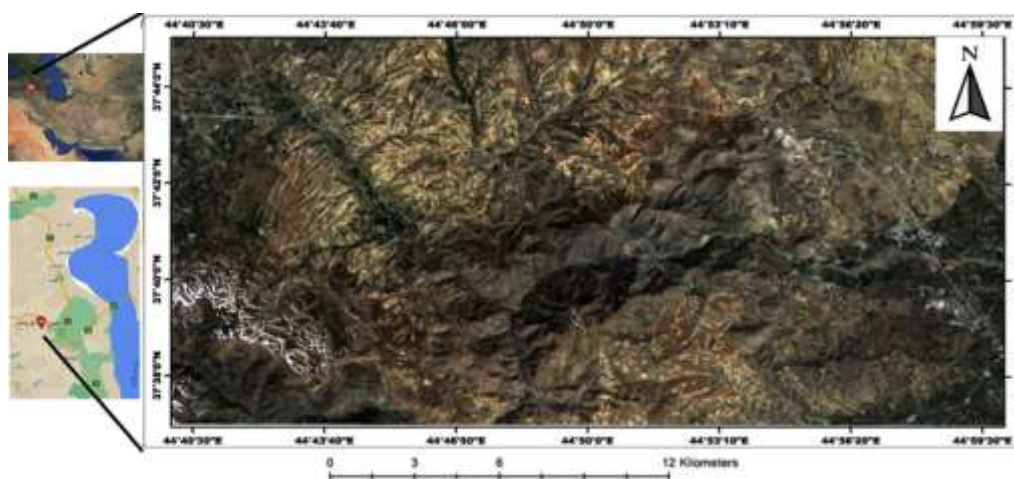
7 (Kattenhorn et al., 2000)

8 (Ciftci & Bozkurt, 2007)

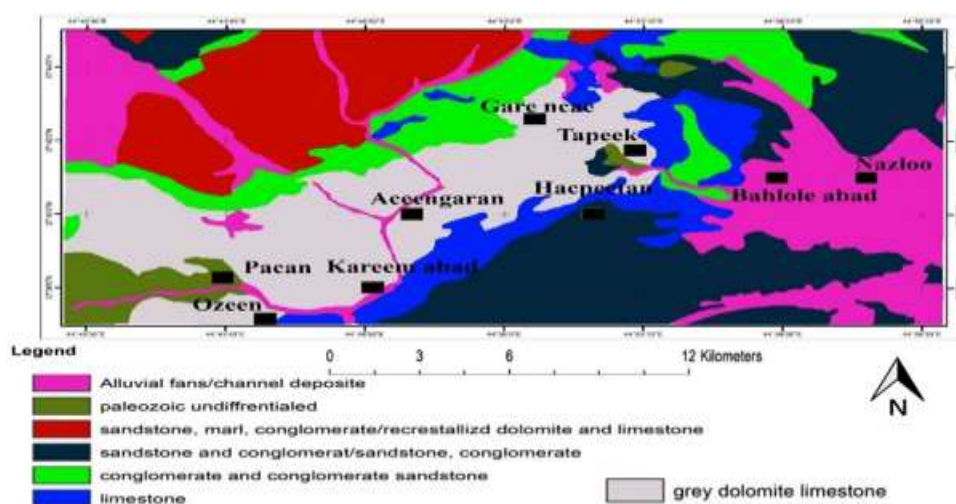
9 (Nikolaev, 1977)

10 (Win tensor)

همین گسترش وسیع در ضخامت و سطح سبب گردیده که منطقه مورد مطالعه از لحاظ چینه‌شناسی با رسوبات پرمین روبرو باشد. این رسوبات به صورت دگرشیب بر روی رسوبات پالئوزوئیک پایینی (کامبرین) و سازندهای قدیمی تر قرار می‌گیرند. دگرشیبی یادشده معرف دوره‌ای طولانی از بالازدگی و فرسایش طی رخداد تکتونیکی هرسی‌نین است که سپس با حضور دریایی که نهشته‌های پرمین در آن شکل گرفته‌اند، پایان می‌یابد (حاجی حسینلو، ۲۰۱۵).



شکل ۱- محدوده موقعیت جغرافیایی منطقه تتمان نازلوی ارومیه



شکل ۲- نقشه سنگ‌شناسی منطقه تتمان نازلوی ارومیه

بخش‌های قاعده‌ای این نهشته‌ها عموماً ماسه‌سنگی و کنگلومرای است که به رنگ قرمز ارغوانی و یا متمایل به صورتی مشاهده می‌شوند. با توجه به شباهت‌هایی که از لحاظ سنگ‌شناسی ما بین این سری ماسه‌سنگی و سازندهای قدیمی تر پالئوزوئیک موجود است، باید به نحوه استقرار این سنگ‌های رسوبی توجه نمود، چون طبقات با چین‌خوردگی ملایم عمدتاً مربوط به پرمین و نهشته‌های پالئوزوئیک تحتانی معمولاً با شیب تندتر هستند. این نوع دگرشیبی در منطقه مورد مطالعه در حوالی روستای بهلول‌آباد، در ناحیه انتهایی دره‌ای گسلی قابل پیگیری و مشاهده است (سناخوان و همکاران، ۱۳۹۱). آهک‌ها عمدتاً لایه لایه و به رنگ خاکستری تیره تا سیاه بوده و بعضی وقت‌ها حاوی باندهای چرت هستند. دولومیت‌ها متبلور و به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن با لایه‌بندی نسبتاً ضخیم و یا توده‌ای هستند. عدسی‌ها و یا لایه‌های لاتریتی که گاهی ضخامت آن‌ها به ۲ متر هم می‌رسد، همراه سنگ‌های کربناته فوق دیده می‌شوند (شکل ۲).

۳- مواد و روش‌ها

این مقاله بر اساس روش میدانی، کتابخانه‌ای و دفتری متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی محدوده تتمان مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ارومیه جهت استفاده در شناسایی عوارض و سازندها استفاده شد. تهیه نقشه (دم^۱) منطقه سرو جهت رسم خطوط توپوگرافی و تهیه نقشه شیب و جهت شیب می‌باشد. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ (سرو، مطالعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه پیرامون گسل‌ها و سازندهای مختلف استفاده شد. در پیمایش‌های میدانی، مشاهده و بررسی ساختارهای زمین‌شناسی و لندفرم‌های ژئومورفولوژی در محدوده منطقه و محوطه باستانی غار تتمان و اطراف آن انجام شد. با استفاده از نرم‌افزار (آرک جی آی اس^۲ ۱۰/۷) و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای (به‌عنوان اطلاعات پایه وارد (آرک جی آی اس ۱۰/۷) شده و بعد از تعریف زمین مرجع و سیستم مختصات آن‌ها) لایه‌های مورد نیاز رقومی گردیده و نقشه منطقه ترسیم شده و اندازه‌گیری لازم صورت گرفته است. در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با چشم‌اندازهای مورفولوژیک مناطق کارستی نقش شکستگی‌ها را بیان کردیم که با استفاده از نرم‌افزار (پسی ژئوماتیکا^۳) جهت تولید خطواره‌ها و شکستگی‌ها با استفاده از داده‌های لندست ۸ در منطقه صورت گرفت. از نرم‌افزار (پولار پلاتز^۴) جهت تحلیل گسل‌ها و درزه‌ها، از نرم‌افزار (وین تنسور) برای تحلیل جهات تنش‌های منطقه استفاده شده است (شکل ۳). این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌کند:

۱. شناسایی و مطالعه چشم‌اندازهای مورفولوژیک ایجاد شده توسط توسعه کارست؛

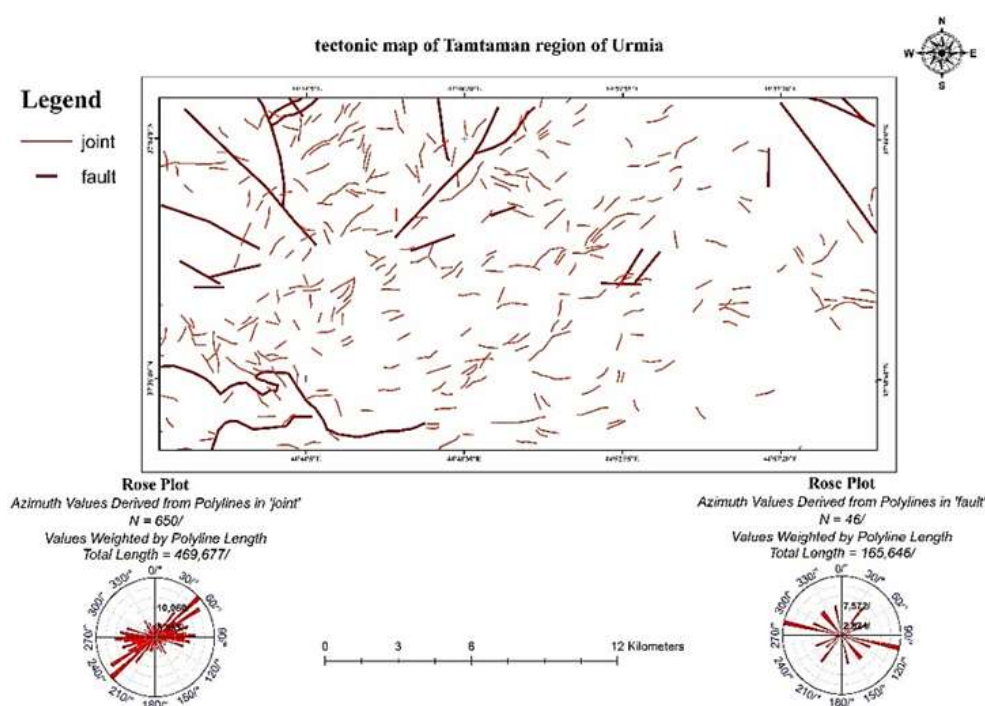
1 (DEM)

2 (Arc GIS 10.7)

3 (PCI GEOMATICA)

4 (Polar plots)

۲. ارتباط شکستگی‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی در توسعه کارست؛
۳. تعیین نقش گسل‌ها و درزه‌ها در تحولات تکتونیکی و مخاطرات منطقه مورد پژوهش؛
۴. تعیین ارتباط دولین‌ها، کارن‌ها، تپه‌شاه‌ها و غار متمان با یکدیگر و همچنین با ساختارهای تکتونیکی؛
۵. تعیین نقش سنگ‌شناسی و ساختارهای تکتونیکی در توسعه کارست در سکناس‌های چینه‌شناسی.



شکل ۳- نقشه گسل‌ها و درزه‌ها در منطقه مورد مطالعه

۴- بحث

۴-۱- اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه اشکال کارستی به دو دسته سطحی و عمقی تقسیم می‌شوند. بررسی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که در این منطقه همه اشکال کارست سطحی یا وجود ندارند، یا در مناطق صعب‌العبور قرار دارند و قابل مشاهده نیستند از جمله اشکال سطحی که طی این تحقیق بررسی شده‌اند عبارتند از: کارن، پیناکل‌ها، کانال‌ها و دولین انحلالی و حفرات انحلالی و از اشکال کارست عمقی موجود در منطقه می‌توان به چشمه‌های کارستی و غارها اشاره کرد. پراکندگی و گستردگی اشکال کارستی در تمام منطقه متمان یکسان نیست که این موضوع نشان‌دهنده نابرابر بودن پدیده‌های تکتونیکی و درجه خلوص سنگ‌آهک در منطقه است. حفره‌های انحلالی در منطقه بارزتر و

فراوان تر بوده و دارای اشکال و ابعاد متفاوت پراکنش ناموزون هستند وابستگی حفره‌های انحلالی به پدیده‌های تکتونیکی بخصوص درزه‌ها و گسل‌ها زیاد بوده، به‌طوری‌که هر حفره در راستای یک درزه یا ترک یا درزه‌های بین سطوح لایه‌بندی ایجاد شده است. چشمه‌های کارستی مهم‌ترین پدیده عمقی در منطقه است از قبیل: چشمه قره‌نسا، چشمه دره گرگ، چشمه تمتمان، چشمه کوهستان سیاه. این چشمه‌ها به‌صورت دائمی و فصلی بوده و در این منطقه به سه دسته تقسیم شده‌اند: کتاکتی، کارستی و زهکشی واریزه‌ای. اغلب این چشمه‌ها در محل راستای گسل‌های منطقه مورد مطالعه تجمع دارند. بررسی کیفیت آب چشمه‌ها نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها دارای (پی اچ^۱) بالاتر از ۷ هستند که دلیل بر جاری بودن این چشمه‌ها در سازندهای سنگ آهکی است.

۴-۲- رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی

شکل‌گیری اشکال کارستی ناشی از انحلال سنگ قابل حل و زهکشی مستمر آب از محل ورود به خروج است. به عبارت دیگر وجود فضاها یا خالی چه تکتونیکی و چه غیرتکتونیکی (سنگ آهک‌های متخلخل) شرط اولیه نفوذ و انتقال آب از سازند است. در صورتی که سنگ آهک یک منطقه شکننده و خالص باشد عامل تکتونیک بیشتر از سایر عوامل می‌تواند در ایجاد اشکال کارستی نقش داشته باشد. نقش تکتونیک در منطقه مورد مطالعه از دو جهت قابل بررسی است: ۱- تکتونیک و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه؛ ۲- تکتونیک و اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه. به منظور بررسی شکستگی‌ها و ارتباط آن با پدیده کارستی شدن منطقه و مخاطرات آن ۷ ناحیه مطالعاتی در منطقه تمتمان برای اندازه‌گیری امتداد و شیب گسل‌ها و درزه‌ها انتخاب شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار (وین تنسور) امتداد اشکال کارست و تنش‌های وارده از ناحیه گسل‌ها در ۷ ناحیه و ارتباط درزه‌ها با آن‌ها بررسی شده است که این نواحی عبارتند از:

۴-۲-۱- ناحیه دره نازلو

در این ناحیه امتداد گسل‌ها در راستای شمال شرق - جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند و زاویه شیب آن‌ها بین ۵۵ تا ۶۰ درجه است و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق و شمال شرق می‌باشد و بر اساس مدل تنش تکتونیکی، جهت غالب تنش کششی در جهت شمال شرق - جنوب غرب است و رژیم تنش در این ناحیه تنش کششی محض می‌باشد. بیشتر درزه‌ها در این ناحیه از نوع درزه‌های کششی هستند که جهت امتداد آن‌ها شمال شرق - جنوب غرب، زاویه شیب آن‌ها بین ۶۵ تا ۸۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق می‌باشد اما درزه‌های برشی در ناحیه نازلو، راستای شمال غرب - جنوب شرق دارند و شیب آن‌ها بین ۴۰ تا ۶۵ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق منطقه است (شکل‌های ۶ الف) و ۷ الف). غار تپیک در این منطقه

در راستای شمال شرق و تنش کششی و در امتداد درزه‌های کششی توسعه و تعمیق یافته است و نیروهای وارده از ناحیه گسل تپیک و گسل نازلو در تشکیل این غار نقش داشته‌اند و ریزش‌های سنگی در پای دامنه نتیجه تخریب اشکال کارست مانند: اینسلبرگ‌های کارستی، پیت‌ها، گریک و کارن‌های افقی هستند و دره‌های منطقه از جمله دره نازلو در راستای تنش حداکثر در این ناحیه ایجاد شده‌اند و با توجه به اینکه اشکال کارست مانند پیت‌ها در راستای تنش فشارشی تشکیل شده‌اند و در راستای تنش کششی تعمیق شده‌اند و ریزش‌های سنگی به موجب تعمیق شدگی و قطع شدگی اشکال کارست با درزه‌ها و گسل‌های تکتونیکی ایجاد شده‌اند لذا این دره‌ها؛ دره‌هایی کارستی - تکتونیکی هستند و چشمه نازلو نیز در راستای نیروهای کششی از ناحیه گسل راست بر نازلو ایجاد شده است. توسعه مجاری کارستیک قدیمی در ناحیه نازلو در ارتباط با درزه‌های کششی بوده است. فرسایش ناشی از عملکرد آب‌های سطحی به همراه تنش وارده از ناحیه گسل‌ها منجر به تخریب اشکال کارستی (پیت‌ها و گریک‌ها) و ایجاد دالان‌های کارستی به موازات زون برشی گسل قره‌نسا در دره نازلو شده است. شکل دره نازلو در ارتباط با جهت‌گیری یال‌های چین‌ها و فرسایش آن‌ها به مرور زمان در ارتباط با حرکت گسل‌ها و تغییر در وضعیت حرکت آبراهه‌ها است. می‌توان گفت که تنش‌های وارده بر یال‌های چین‌ها از ناحیه گسل راست بر منجر به توسعه ساختارهای تکتونیکی در لایه‌های آهکی - دولومیتی چین‌خورده در راستای تنش حداقل و فرسایش آن‌ها در جهت تنش حداکثر منجر به ایجاد اشکال کارست و تغییر در الگوی زهکشی شده است. در ناحیه نازلو، کارن‌های شیار عمود بر لایه‌بندی نقش بسزایی در ورود مواد سولفاته به داخل حفرات حاصل از درزه‌های مزدوج برشی متقاطع دارند. کارن‌های جویباری کارستیک عمود بر لایه‌بندی در جهت زون برشی گسله چپ‌بر ایجاد شده‌اند که نقش بسزایی در انتقال و جهت‌گیری آبراهه‌ها داشته است.

۴-۲-۲- ناحیه دره قره‌نسا

امتداد غالب گسل‌ها در این ناحیه در راستای شمال غرب - جنوب شرق است و زاویه شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ۶۰ درجه است و اکثر گسل‌ها نرمال راست‌بر هستند (شکل ۶ ب)) و جهت شیب اکثر آن‌ها به سمت جنوب غرب منطقه است و بر اساس مدل تنش تکتونیکی، رژیم تنش در ناحیه تنش کششی محض است و تنش کششی در این ناحیه در راستای شمال شرق - جنوب غرب گسترده است. امتداد غالب درزه‌ها، درزه‌های کششی هستند که در جهت شمال شرق - جنوب غرب امتداد دارند و شیب آن‌ها بین ۴۵ تا ۷۵ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق است. در این ناحیه درزه‌های برشی، راستای شمال غرب - جنوب شرق و شیب آن‌ها بین ۳۴ تا ۴۵ درجه می‌باشند و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق است (شکل ۷ پ)). امتداد غالب گسل‌ها در این ناحیه در راستای شمال غرب - جنوب شرق است و اکثر گسل‌ها نرمال چپ‌بر هستند. غار قره‌نسا در جهت تنش کششی و امتداد گسل نازلو و در جهت درزه‌های کششی تشکیل شده‌اند. در این محل گریک‌ها توسعه فراوانی دارند و با توجه

به اینکه ریزش‌های سنگی در نتیجه تنش کششی در ناحیه ایجاد شده است؛ بنابراین کاملاً طبیعی است که این غارها توسط سازوکار حرکتی گسل نازلو تخریب و دچار پرشدگی شوند. در این ناحیه فرسایش شدید به دلیل عملکرد اقلیم و شرایط آب و هوایی و ورود جریان‌های بارشی از طریق درزه‌های متقاطع عرضی و مایل در بستر تکتونیک تشدید شده است. این فرسایش به قدری شدید بوده است که واحدهای آهکی و دولومیتی با ضخامت بسیار زیادی از واریزه‌های ناشی از تخریب واحدهای آهکی کارستیک دارای درزه‌های متقاطع پوشانیده است و راه رفتن بر روی آن بسیار سخت و زیان‌بار می‌باشد.

۴-۲-۳- ناحیه دره تپیک

امتداد غالب گسل خوردگی در منطقه تپیک شمال غرب - جنوب شرق است که شیب غالب آن‌ها بین ۴۰ تا ۶۰ درجه و جهت شیب اکثر آن‌ها به سمت شمال شرق منطقه است. نوع تنش در منطقه تنش کششی که در راستای شمال شرق تا جنوب غرب گسترده است (شکل ۶ پ). بر اساس مدل تکتونیکی رژیم تنش غالب در این ناحیه تنش کششی محض می‌باشد و اکثر درزه‌های موجود در ناحیه بیشتر درزه‌های کششی هستند و امتداد غالب آن‌ها شمال شرق - جنوب غرب و شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ۸۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال غرب می‌باشد (شکل ۷ ب). دره تپیک، دره تکتونیکی است این دره در جهت تنش حداکثر ایجاد شده است و توسعه کارست در جوانب آن توسط گسل‌های منشعب از گسل تپیک و نازلو با توسعه تنش کششی صورت گرفته است. لذا مجاری در راستای تنش کششی، یعنی شمال شرق-جنوب غرب توسعه یافته‌اند و اعمال تنش‌های حداکثر منجر به تخریب اشکال کارست و عریض شدن دره و ایجاد ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. لذا علت ایجاد مخاطرات ریزش سنگ در این دره، عملکرد تکتونیک در بستر توسعه کارست می‌باشد. علاوه بر این توسعه اشکال کارست تحت تأثیر تنش حداکثر و تعمیق شدگی در جهت تنش کششی بوده است. گسل تپیک در غرب محدوده مورد مطالعه قرار گرفته و از وسط روستای تپیک عبور می‌کند. گسل تپیک در این محدوده یک دره گسلی ایجاد کرده، و دارای راستای $N35^{\circ}W$ می‌باشد و سازوکار گسل خوردگی در آن نرمال و از نوع قاشقی است (شکل ۴). شیب صفحه گسل در قسمت‌های مختلف متفاوت است. و در فرازهای بالا، شیبی حدود ۶۰-۷۵ درجه تا فرازهای پایین که شیبی حدود ۴۵ درجه به خود می‌گیرد (شکل ۵).



شکل ۴- نیروهای وارده از ناحیه گسل تپیک در تشکیل غار تپیک نقش داشته است جهت دید عکس به طرف شمال.



شکل ۵- نمایی از دره تپیک و محل عبور گسل تپیک، جهت دید SE

۴-۲-۴- ناحیه دره قلعه اسمعیل

اصلی‌ترین گسل دره قلعه اسمعیل، گسل راندگی قلعه اسمعیل است که گسلی چپ‌بر می‌باشد و گسل‌های موجود در این دره از نوع متقاطع هستند و در تمام جهات امتداد دارند. شیب اکثر گسل‌ها بین ۳۰ تا ۸۰ درجه متغیر و جهت شیب آن‌ها شمال شرق و جنوب شرق می‌باشد (شکل ۶ ت). بر اساس مدل تنش تکتونیکی، رژیم تنش در این دره، از نوع راستالغزی محض می‌باشد. اکثر درزه‌ها در منطقه، از نوع درزه‌های برشی، امتداد آن‌ها شمال شرق - جنوب غرب، شیب آن‌ها بین ۶۰ تا ۷۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق منطقه است. اما درزه‌های کششی در راستای شمال غرب - جنوب شرق منطقه هستند و شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ۴۵ درجه و جهت شیب آن‌ها

به سمت شمال شرق می باشد (شکل ۷ (ت)). این دره تحت تأثیر تنش کششی تشکیل شده است با توجه به توسعه مجاری کارست در این دره با اعمال تنش حداکثر ریزش سنگ به دلیل تخریب مجاری کارست صورت گرفته است. بنابراین در این منطقه دلیل مخاطرات ریزش سنگ، تکتونیک در بستر توسعه کارست می باشد. زون برشی گسل قلعه اسمعیل با ایجاد بستری برای توسعه حفرات کارست و توسعه درزه های سیستماتیک و مزدوج برشی در واحدهای چین خورده، اشکال مورفولوژیکی همانند دره های جیبی را در دره متمان ایجاد کرده است در این دره که عمود بر صفحه محور چین نامتقارن ایجاد شده است رشد درزه های مزدوج برشی در یال ها به همراه توسعه کارست و تنش های وارده از ناحیه گسل قلعه اسمعیل منجر به خردایش سنگ ها و ایجاد پرتگاه است که این پرتگاه به سمت دره متمان می باشد.

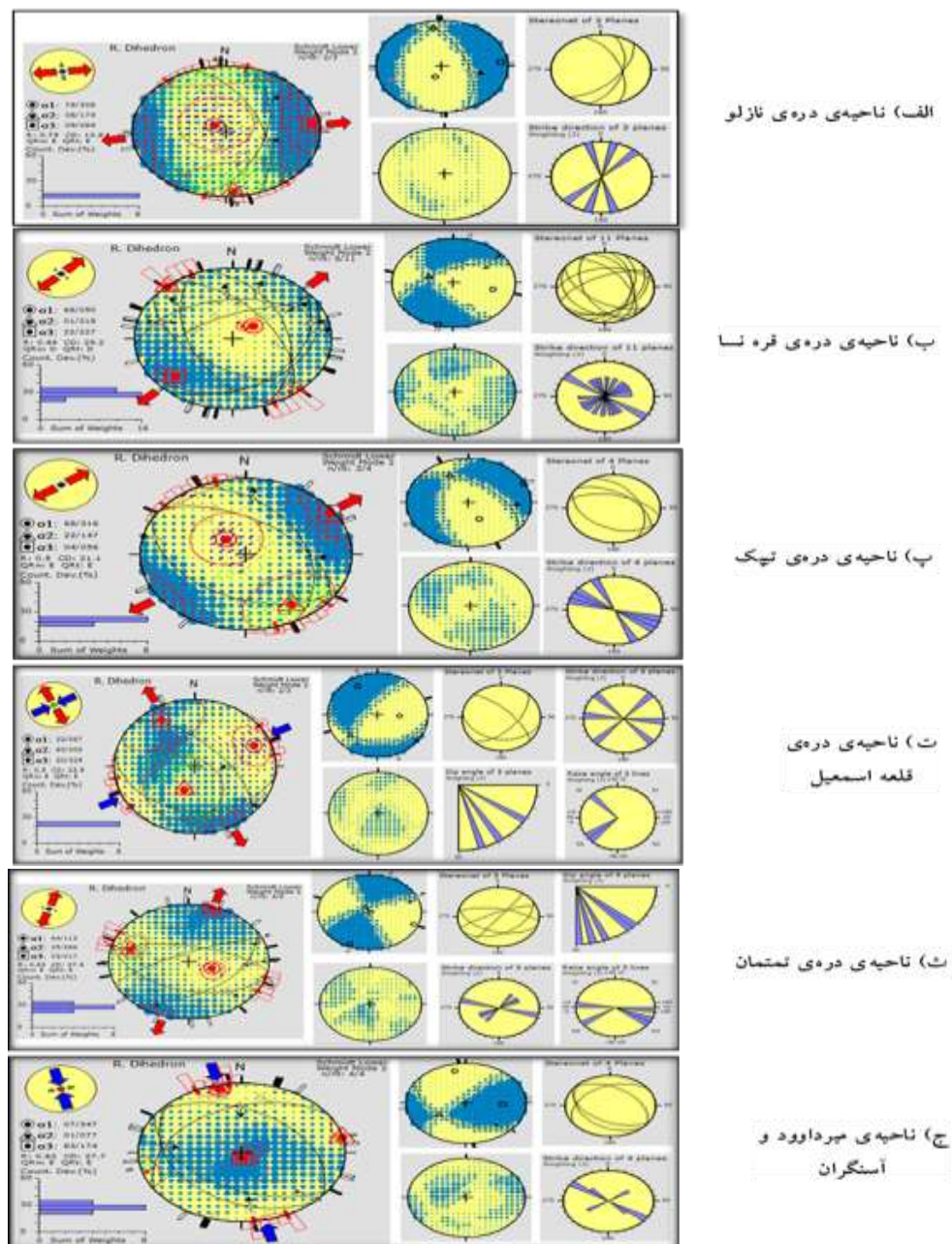
۴-۲-۵- ناحیه دره پدیمت

در دره پدیمت که در کنار دره تپیک قرار دارد؛ ریزش های سنگی به دلیل توسعه درزه های سیستماتیک ایجاد شده است و باغات کشاورزی در پایین دست خود را تهدید می کند اندازه این ریزش ها بستگی به پارامترهای شیب و جهت شیب لایه ها دارد هر چه شیب لایه ها بیشتر باشد ریزش ها نیز گسترده تر است و توسعه کارست تنها در پای دامنه و نزدیک به باغات کشاورزی و در آبرفت ها صورت گرفته است. با توجه به این که درزه ها تا عمق توسعه یافته اند و بازشدگی بیشتری پیدا می کنند، این منجر به ایجاد یک سری فرونشست های کارستی در نواحی پای دامنه ای شده است. در داخل رسوبات آبرفتی در پایین دست آثاری از حفرات کارست و یا مجاری در داخل رسوبات دیده می شود و با توجه به چین خوردگی لایه کم ضخامت نشان می دهد که مجاری عمودی و عمیق در راستای تنش حداکثر تشکیل شده اند و مجاری افقی در راستای تنش کششی تشکیل شده اند ولی با توجه به غلبه تنش فشارشی بر کششی مجاری افقی نتوانسته اند رشد کنند و دچار انسداد و فروپاشی مجاری شده اند. دره قلعه اسمعیل که دره ای U شکل است در کنار گسل خوردگی راندگی قلعه اسمعیل پدیمت های ضخیمی وجود دارد که به شدت تحت تأثیر چین خوردگی قرار گرفته اند. البته تپه هایی است که ضخامت قابل توجهی از این واحدهای کنگلومرایی را دارند که مشخص است که در دوره های زمانی گذشته این دره پدیمت با دره قلعه اسمعیل یک ارتباطاتی مورفولوژیک داشته است. در واحدهای پدیمتی تنها آثار کارستی که وجود دارد لایه هایی به عمق ۴ سانتی متر و پهنای ۵ سانتی متر است که به دلیل سست شدن برخی سنگ ریزه ها در نتیجه فرسایش سیمان آن ها و افتادن آن ها ایجاد شده است.

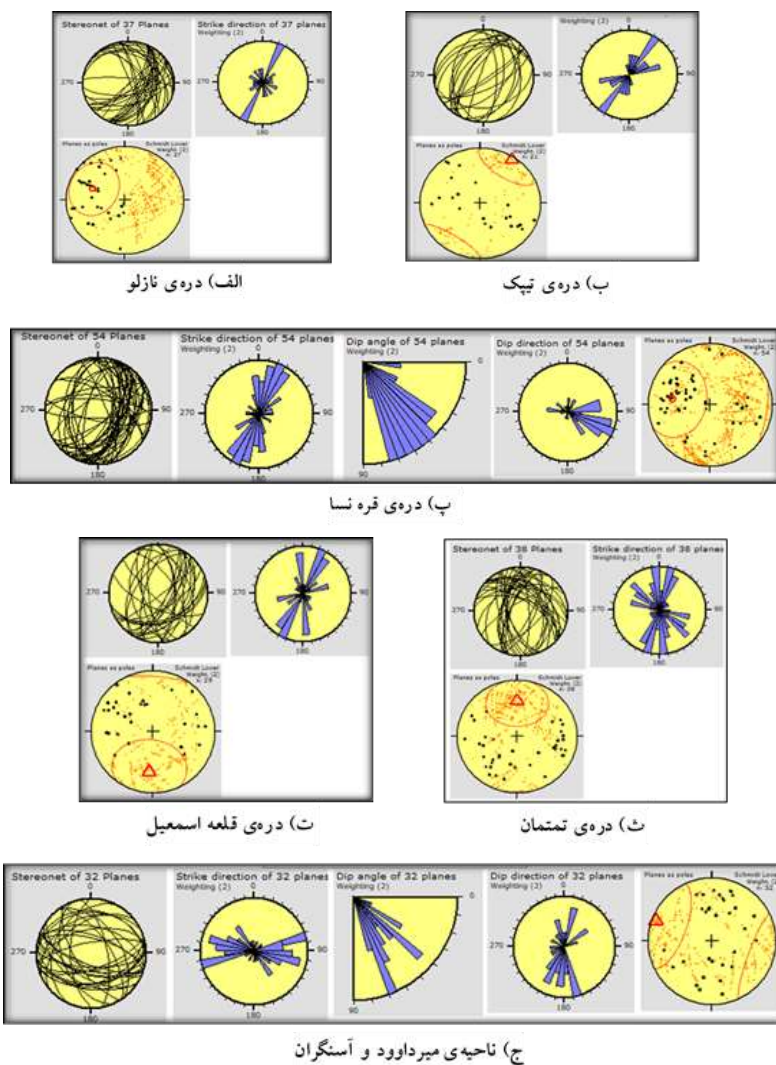
۴-۲-۶- ناحیه دره متمان

گسل خوردگی غالب در منطقه متمان و دشت متمان از نوع نرمال با مؤلفه راستالغزی راست بر است. امتداد غالب این گسل ها شمال غرب - جنوب شرق و شیب آن ها بین ۴۰ تا ۸۹ درجه متغیر است. مؤلفه امتداد لغزی این گسل ها غالب ترین سازوکار حرکتی آن ها محسوب می گردد. در این ناحیه دسته دیگری از گسل ها در امتداد شمال

شرق - جنوب غرب وجود دارند که راستای توسعه تنش‌های کششی در منطقه هستند و جهت شیب اکثر این گسل‌ها به سمت جنوب شرق منطقه است. رژیم تنش کششی در منطقه بر اساس مدل تکتونیکی، کششی محض می‌باشد (شکل ۶ ث)). در این ناحیه اکثر درزه‌ها در جهت شمال شرق - جنوب غرب توسعه دارند؛ بنابراین این‌ها از نوع درزه‌های کششی هستند که شیب آن‌ها بین ۶۵ تا ۷۵ درجه است و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال غرب می‌باشد. اما راستای درزه‌های برشی در این ناحیه در جهت شمال غرب به سمت جنوب شرق هستند که شیب آن‌ها بین ۲۰ تا ۵۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق منطقه است (شکل ۷ ث)). دره تتمان دره‌ای تکتونیکی است و ریزش‌های سنگی به دلیل عملکرد تکتونیک در بستر توسعه کارست ایجاد شده‌اند و توسعه مجاری کارست بیشتر در ارتباط با تنش‌های کششی ناشی از گسل‌های فعال منطقه در جوانب دره صورت گرفته است. بیشترین تخریب ناشی از فعالیت تکتونیکی مربوط به توسعه درزه‌های برشی در واحدهای آهکی می‌باشد؛ درحالی‌که ریزش سنگ به دلیل توسعه کارست در بستر تکتونیک مربوط به دره‌های جیبی و محوطه اطراف غار تتمان می‌باشد. دره‌های فرعی در دشت تتمان، به جزء دره گسل زینالو، دره‌هایی تکتونیکی هستند و ریزش‌های سنگی در دره گسل زینالو ناشی از نقش تکتونیک در بستر کارست توسعه یافته بوده است.



شکل ۶- دیاگرام گل سرخی و تصویر استریوگرافی برای گسل‌ها



شکل ۷- دیاگرام گل سرخی و تصویر استریوگرافی برای درزه‌ها

۴-۲-۷- ناحیه میرداوود و آسنگران

در ناحیه میرداوود و آسنگران، فعالیت اکثر گسل‌ها از نوع راندگی راست‌بر هستند و امتداد غالب آن‌ها (۳۰۰ تا ۳۱۰ درجه) در جهت شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. حرکات آن‌ها منجر به توسعه تنش‌های فشارشی در راستای شمال غرب - جنوب شرق شده است و مدل تکتونیکی، رژیم تنش را فشارشی محض نشان می‌دهد (شکل ۶ ج). درزه‌های برشی در این ناحیه توسعه فراوانی دارند و جهت غالب آن‌ها شمال غرب - جنوب شرق است.

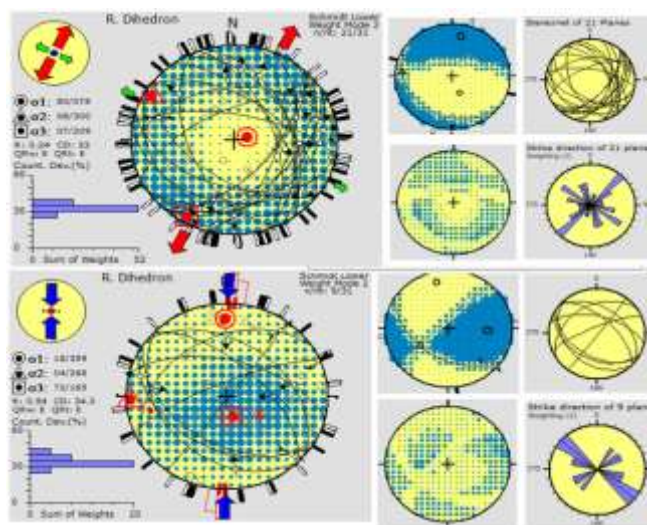
این درزه‌ها با وجود پراکندگی بالای درزه‌های کششی، اصلی‌ترین درزه‌های منطقه می‌باشند (شکل ۷ ج)). در کوهستان ماریشو، توسعه کارست در بستر تکتونیک انجام شده است و رشد گریک‌ها در درزه‌های کششی و طولی منجر به تکه‌تکه شدن چین‌ها و تشکیل پیناکل‌ها شده است و این منجر به خردایش سنگ‌ها در ارتفاعات در نتیجه فرسایش آن، تپه‌های کم ارتفاع در مقابل دامنه‌های پر ارتفاع تشکیل شده است. در این ناحیه پسروری شدید جبهه کوهستان و تپه‌زایی با منشأ کارستی و تکتونیکی باعث سیمای سست و خشن شده است. پسروری جبهه کوهستان در منطقه میرداوود و دامنه‌های مشرف به روستاهای آسنگران، به دلیل توسعه کارست (گریک کارن‌های غول‌پیکر) در بستر تکتونیک به خصوص درزه‌ها و چین‌خوردگی‌ها از مشخصات مورفولوژیک این مناطق می‌باشد. از پارامترهای مهمی که جدا از توسعه کارست نقش بسزایی در تشکیل اشکال پیناکل و به عبارتی فرسایش چین‌های نامتقارن منطقه دارند؛ آب جاری (چشمه)، جهت‌شیب و شیب و ارتفاع توپوگرافی است فرسایش به قدری زیاد است که منجر به ایجاد واریزه و ریزش‌های بلوکی سنگ در جای‌جای پای دامنه شده است که تهدیدی بالقوه برای ساکنان موجود در پای دامنه‌ها محسوب می‌شوند. در این ناحیه چشمه‌ها گسترده و در جای‌جای این ناحیه حتی در ارتفاعات دیده می‌شوند که جهت‌گیری بسیار واضحی با درزه‌ها در منطقه دارند. در دامنه‌های کوهستانی اطراف مسیر آسنگران یک سری دره‌هایی وجود دارند که در امتداد صفحه محور چین‌ها تشکیل شده‌اند این دره‌ها بیشتر بر اثر فرآیند تکتونیک ایجاد شده‌اند و کارست در تشکیل آن کم‌ترین تأثیر را داشته است دلیل آن درزه‌شدگی بالا و نزدیک بودن فاصله آن‌ها نسبت به هم می‌باشد که منجر به ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. در اطراف راه خاکی آسنگران بعضی از ریزش‌های سنگی نه به دلیل درزه‌شدگی بلکه تنها به دلیل توسعه حفرات کارستی در راستای تنش حداکثر در فابریک چین نامتقارن واحدهای آهکی ایجاد شده‌اند جهت خروج آب چشمه آسنگران ۱ با جهت غالب درزه‌های کوهستان مجاور مشابه است. بنابراین چشمه‌های این ناحیه در راستای تنش فشارشی و درزه‌های برشی ایجاد شده‌اند. بنابراین در تشکیل این چشمه تکتونیک بیشترین نقش را داشته است بنابراین گسل خوردگی و درزه‌های منطقه عامل هدایت آب در این نقطه است. برخلاف چشمه قبلی، چشمه آسنگران ۲، چشمه‌ای در نتیجه توسعه مجاری کارست شکل گرفته است. این چشمه در جهت تنش کششی و درزه‌های کششی شکل گرفته است (یعنی در راستای توسعه مجاری کارست). در دره میرداوود که در کنار روستای میرداوود قرار دارد، اغلب ریزش‌های سنگی، دلیل تکتونیکی دارند و فعالیت گسل معکوس مشهود است و درزه‌های متقاطع رشد کرده‌اند.

بر اساس مدل تکتونیکی منطقه مورد مطالعه، راستای تنش کششی در منطقه متمن شمال شرق - جنوب غرب و راستای تنش فشارشی (حداکثر) شمال غرب - جنوب شرق است. گسل‌هایی که ایجاد تنش‌های کششی در منطقه شده‌اند از نوع گسل‌های نرمال می‌باشند که ۶۷ درصد گسل‌های منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده‌اند. اغلب امتداد آن‌ها در راستای شمال شرق - جنوب غرب بوده و مقدار شیب بیشتر آن‌ها (۴۰-۴۵) درجه می‌باشد که جهت شیب

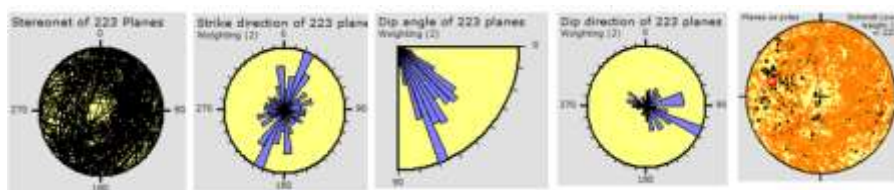
آن‌ها در راستای جنوب شرق منطقه است. این گسل‌ها نقش بسزایی در توسعه مجاری کارستی و ریزش‌های بلوکی سنگ داشته‌اند و مابقی که فراوانی کمی دارند در راستای شمال غرب - جنوب شرق گسترده شده‌اند و شیب آن‌ها بین ۵۵ تا ۶۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب غرب منطقه است. با توجه به نتایج به دست آمده از نرم‌افزار وین تنسور، رژیم تنش کششی در منطقه تنش کششی شعاعی می‌باشد. امتداد غالب ۳۳ درصد از گسل‌های منطقه (۳۰۰ - ۳۲۰ درجه) شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد که این گسل‌ها اکثراً از نوع راندگی و تنش فشارشی را در منطقه توسعه داده‌اند و مؤلفه راستالغزی آن‌ها غالب‌ترین سازوکار حرکتی آن‌ها است. عموماً این گسل‌ها راست‌بر بوده و جهت شیب حداکثر آن‌ها در جهت شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد و شیب اکثریت آن‌ها ۴۰ تا ۴۶ درجه می‌باشد و مدل تکتونیکی رژیم تنش فشارشی در منطقه را تنش فشارشی محض نشان می‌دهد (شکل ۸). حدود ۸۰ درصد از درزه‌های منطقه، درزه‌های کششی هستند که امتداد بیشتر آن‌ها (۴۰ - ۱۰ درجه) در جهت شمال شرق - جنوب غرب و شیب آن‌ها ۶۵ تا ۷۰ درجه است. ۲۰ درصد از درزه‌های منطقه، درزه‌های برشی هستند که امتداد شمال غرب - جنوب شرق دارند و شیب درزه‌های برشی بین ۳۵ تا ۶۰ درجه و جهت شیب به سمت شمال شرق می‌باشد و اکثر حفرات کارستی (مانند پیت‌ها) منطقه در این جهت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰) نمودار (۱) ارتباط بین درزدار بودن و ضخامت لایه‌ها با فرآیند کارستی شدن در منطقه متمم را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

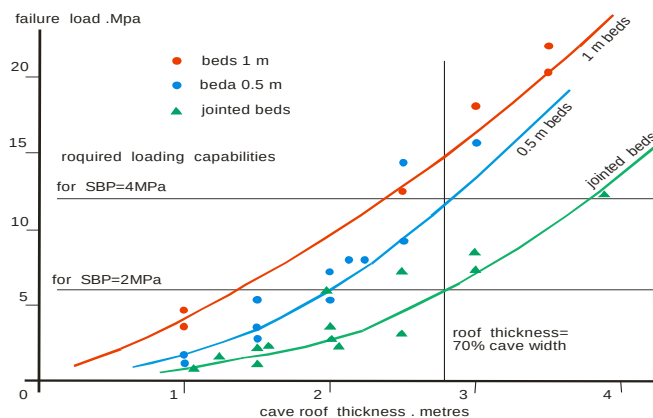
در منطقه مورد مطالعه اشکال کارستیک فرسایش یافته، بازمانده‌ای از کارست‌های قدیمی است که با پیمایش در محدوده متوجه تغییرات محیطی به دلیل وجود ناپایداری‌های بلوکی کارستیک با حفرات ناشی از مخاطرات کارست مواجه شدیم. احتمالاً بیشتر آن‌ها نقش یک آبگیر را برای تغذیه آب‌های زیرزمینی داشته‌اند. پس این مناطق فرونشستی را با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور هم مشخص کردیم. بر اساس مدل تکتونیکی منطقه مورد مطالعه، راستای تنش کششی شمال شرق - جنوب غرب و راستای تنش فشارشی (حداکثر)؛ شمال غرب - جنوب شرق است. گسل‌هایی که ایجاد تنش‌های کششی در منطقه شده‌اند از نوع گسل‌های نرمال می‌باشند که ۶۷ درصد گسل‌ها را تشکیل داده‌اند این گسل‌ها امتداد غالب آن‌ها در راستای شمال شرق - جنوب غرب بوده است و نقش بسزایی در توسعه مجاری کارست و ریزش‌های بلوکی سنگ داشته‌اند و مابقی که فراوانی کمی دارند در راستای شمال غرب - جنوب شرق گسترده شده‌اند. بیشتر گسل‌های نرمال که تنش‌های کششی را ایجاد کرده‌اند دارای مؤلفه امتدادلغزی راست‌بر است و تعداد کمی از آن‌ها چپ‌بر می‌باشد. رژیم تنش کششی در منطقه تنش کششی شعاعی می‌باشد. امتداد غالب ۳۳ درصد از گسل‌ها جهت شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد که این گسل‌ها اکثراً از نوع راندگی و تنش فشارشی را در منطقه توسعه داده‌اند و مؤلفه امتداد لغزی آن‌ها غالب‌ترین سازوکار حرکتی آن‌ها است عموماً این گسل‌ها راست‌بر بوده است و مدل تکتونیکی رژیم تنش فشارشی در منطقه را تنش فشارشی محض نشان می‌دهد.



شکل ۸- مدل کلی تکتونیکی گسل‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۹- درزه‌های کلی منطقه مورد مطالعه



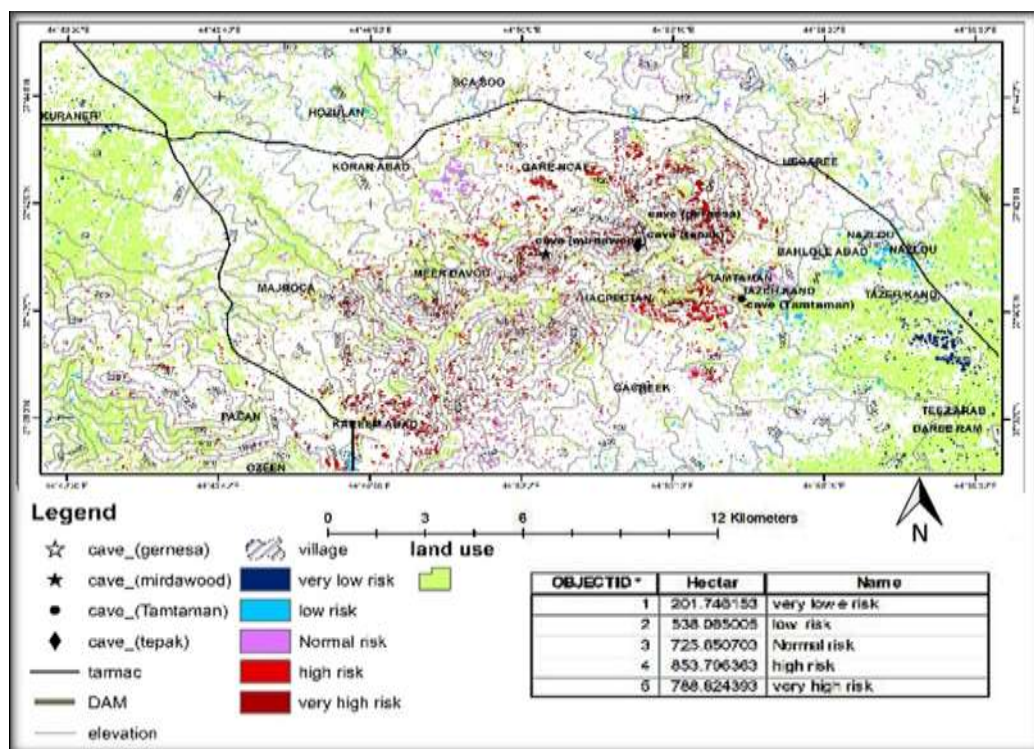
نمودار ۱- ارتباط بین درزدار بودن و ضخامت لایه‌ها با فرآیند کارستی شدن در منطقه مورد مطالعه



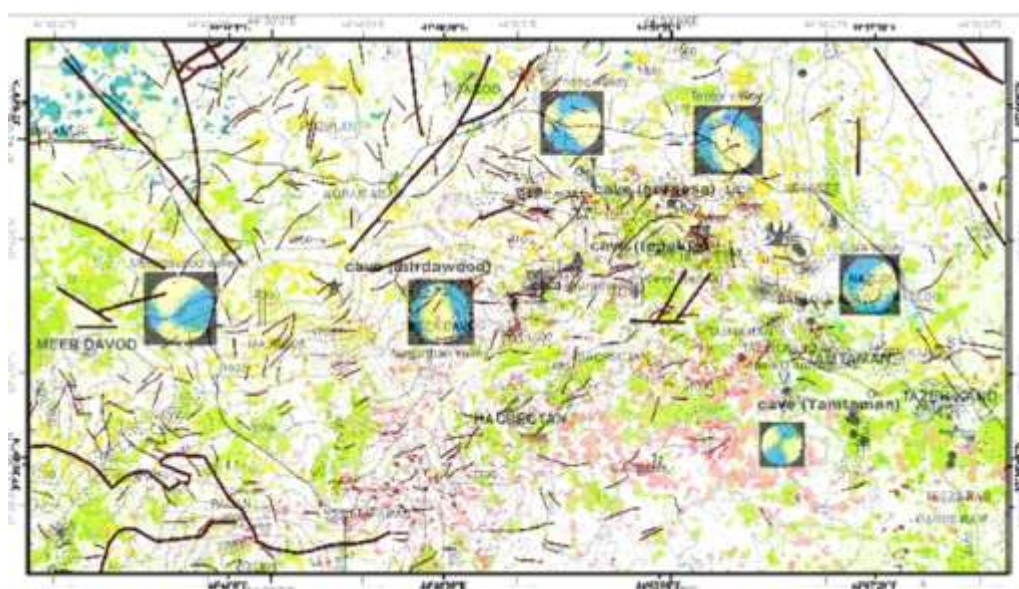
شکل ۱۰- وجود اشکال کارست و ریزش‌های سنگی در نزدیکی گسل چپ‌بر، جهت عکس بالایی به سمت غرب و جهت عکس پایینی N25°W

در نواحی که شیب مجاری و یا حفرات کارستی کم می‌باشد در صورت تقاطع آن‌ها تحت تأثیر تنش‌های فشارشی وارده، ریزش‌های بلوکی سنگ رخ می‌دهند و جهت شیب اکثر آن‌ها در جهت جنوب شرق می‌باشند. اکثر دولین‌ها و حفرات فرونشستی در راستای تنش حداکثر ایجاد شده‌اند که اغلب آن‌ها با امتداد درزه‌های متقاطع برشی و محور چین‌خوردگی‌هایی که در نتیجه تنش‌های فشارشی ایجاد شده‌اند همسو هستند توسعه مجاری کارست در جهت درزه‌های متقاطع و تنش‌های فشارشی و تخریب آن‌ها منجر به ایجاد این اشکال شده است. اشکال پالئوکارست آن در ارتفاعات با تأثیر مستقیم درزه‌های متقاطع و تنش‌های فشارشی و تخریب ناگهانی ایجاد شده‌اند. امتداد اکثر حفرات غاری نیز در راستای تنش فشارشی و محور چین‌خوردگی‌هایی که در اثر تنش‌های فشارشی ایجاد شده‌اند تشکیل شده‌اند در تشکیل غارها، امتداد پیت‌ها و به هم پیوستن آن‌ها در راستای تنش کششی و تشکیل حفرات بزرگ‌تر مانند آنچه که در کنار کارن‌ها در سقف غار تتمان دیده می‌شود، نقش داشته است. راستای اکثر محورهای چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند که شیب لایه‌بندی غالب آن‌ها در جهت شمال شرق ۳۵ تا ۴۰ درجه است و مابقی شمال شرق - جنوب غرب هستند که شیب آن‌ها در جهت جنوب شرق ۴۵ تا ۵۰ درجه است این چین‌ها توسط توسعه تنش‌های کششی ایجاد شده‌اند. اکثر دره‌ها در منطقه مورد مطالعه در جهت شمال غرب - جنوب شرق ایجاد شده‌اند که دره‌هایی چین‌خورده و بسیار تکتونیزه هستند و توسعه کارست در بستر فعالیت‌های تکتونیکی شدید ایجاد شده و درزه شدگی شدید و تنش‌های وارده به پالئوکارست و لایه‌های چین‌خورده

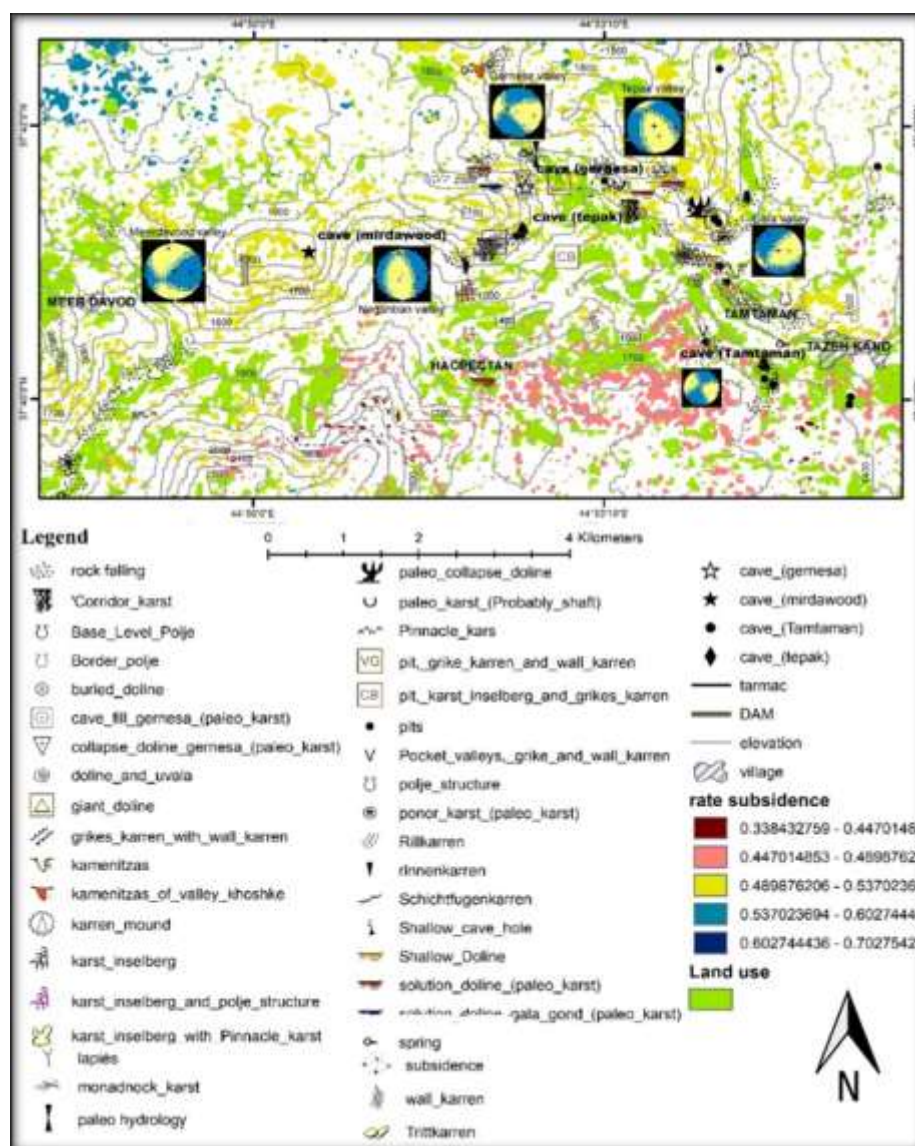
منجر به ریزش سنگ و پسروی و گسترش دره‌های تکتونیکی که در بستر کارست (پالئوکارست) تشکیل شده‌اند، در منطقه شده است.



شکل ۱۱- نقشه مخاطرات ریزش سنگ در منطقه تمان ارومیه



شکل ۱۲- نقشه انطباق: نقشه مخاطرات ریزش سنگ ، نقشه تکتوکارست و نقشه گسل‌های منطقه



شکل ۱۳- نقشهٔ تکتونوکارست منطقهٔ مورد مطالعه

در تشکیل این دره‌ها تنش‌های وارده از ناحیه گسل‌های راندگی نقش داشته است در این دره‌ها به دلیل تجمع کانسارهایی از اکسید آهن و منیزیم در بین لایه‌های چین‌خورده، پیناکل‌ها در ارتفاعات گسترش بسیار دارند و ریزش‌های بلوکی سنگ به دلیل توسعهٔ تنش‌های وارده و تخریب پیناکل‌ها گسترش فراوانی دارند و تعداد کمی از آن‌ها در جهت تنش‌های کششی و گسلش نرمال منطقه ایجاد شده‌اند این دره‌ها در جهت شمال شرق - جنوب غرب گسترش دارند در این دره‌ها توسعه درزه‌های کششی در دیواره‌ها و در لایه‌بندی چین‌هایی که تحت تأثیر تنش‌های کششی تشکیل شده‌اند دیده می‌شوند این دره‌ها که بر اثر توسعهٔ تنش کششی تشکیل شده‌اند در بستر

فعالیت‌های تکتونیکی هستند و دره‌هایی کارستیک می‌باشند و چشمه‌ها به وسیله توسعه مجاری کارست شکل گرفته‌اند و توسعه کارست در بستر تکتونیک منجر به ایجاد ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. بر طبق نقشه پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ (شکل ۱۱)، از مساحت کل منطقه ۱/۸۱ درصد در طبقه خیلی پرخطر، ۱/۹۶ درصد در طبقه خطر بالا، ۱/۶۷ درصد در طبقه نرمال، ۱/۲۳ درصد در طبقه خطر پایین و ۰/۴۶ خیلی کم‌خطر قرار گرفته است. نقشه تولید شده با مشاهدات صحرایی در کل محدوده انطباق کامل دارد. با انطباق نقشه مخاطرات ریزش سنگ، نقشه تکتونوکارست (شکل ۱۳) و نقشه گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود که بیشتر کارست‌های منطقه بر روی پهنه‌هایی با خطر بالا و خطر متوسط، در جهت درزه‌های کششی منطقه رخ داده است، که در (شکل ۱۲) نشان داده شده است.

۶- جمع‌بندی

با توجه به نقشه مخاطرات ریزش سنگ در منطقه تهمان ارومیه، از مساحت کل منطقه ۱/۸۱ درصد در طبقه خیلی پرخطر، ۱/۹۶ درصد در طبقه خطر بالا، ۱/۶۷ درصد در طبقه نرمال، ۱/۲۳ درصد در طبقه خطر پایین و ۰/۴۶ خیلی کم‌خطر قرار گرفته است. سد نازلو در معرض ریزش‌های بلوکی سنگ به موجب تنش‌های وارده و کارستیفیکاسیون قرار دارد؛ لذا شاید در محیطی مناسب در حال حاضر ساخته شده است. ولی این سازه با توجه به مدل تکتونیکی منطقه مورد مطالعه که راستای تنش کششی را شمال شرق - جنوب غرب نشان می‌دهد و توسعه مجاری کارست نیز در جهت تنش کششی در منطقه صورت گرفته است برای نگهداشت آن باید هزینه بسیاری کرد و می‌توان احتمال داد که فرار آب از مخزن سد نازلوچای به احتمال خیلی زیاد در زمان آینده صورت خواهد گرفت. بنابراین با توجه به مدل‌های تکتونیکی، نقشه پهنه‌بندی ریزش سنگ و مشاهدات میدانی در منطقه مورد مطالعه، زمین این منطقه دارای حفرات بسیار زیاد و توسعه مجاری کارست در جهت تنش کششی منطقه و تخریب مجاری در جهت تنش‌های فشارشی منطقه و با در نظر گرفتن میزان مقاومت سنگ‌ها، ریزش‌های بلوکی سنگ در نقاط نزدیک به گسل‌ها دیده می‌شود. در تشکیل دره‌های منطقه، تنش‌های وارده از ناحیه گسل‌های راندگی نقش داشته است در این دره‌ها به دلیل تجمع کانسارهایی از اکسیدهای آهن و منیزیم در بین لایه‌های چین‌خورده، پیناکل‌ها در ارتفاعات گسترش بسیاری دارند و ریزش‌های بلوکی سنگ نیز به دلیل توسعه تنش‌های وارده و تخریب پیناکل‌ها گسترش فراوان دارند؛ بنابراین این ریزش‌ها در نتیجه فرآیند تکتونیک در بستر کارست توسعه یافته صورت می‌گیرد. بنابراین در توسعه اشکال کارست و مخاطرات ریزش سنگ جدا از عامل لیتولوژیک، تکتونیک و تنش‌های وارده در محیط نیز نقش دارد که البته که به غیر از توسعه کارست تکتونیک و تنش‌های وارده می‌توانند منجر به نابودی مراکز فرهنگی همچون غار تهمان، قره‌نسا، میرداوود و تپیک گردند؛ چراکه این غارها با اینکه ریزش‌های سنگی را هنوز تجربه نکرده‌اند ولی نقاط مستعد ریزش سنگ در اطراف آن‌ها مشاهده می‌گردد و باید در حفاظت از این غارها، سازمان

میراث فرهنگی هزینه و تلاش فراوانی صورت دهد. ریزش‌های سنگی مسیر ارتباطی سرو را کمتر تهدید می‌کند؛ هرچند که در مسیر ارزیابی مدل آثار ریزش سنگ در مناطقی دور از حریم جاده صورت گرفته است ولی بیشتر در داخل دره‌ها ریزش سنگ داشتیم؛ بنابراین این مخاطره جاده را تهدید نمی‌کند. با توجه به نقشه و مشاهدات میدانی اکثر سکونتگاه‌های روستایی در منطقه با خطر متوسط تا زیاد قرار دارند، باید در ایجاد شهرک‌ها و توسعه تفریحگاه‌ها و زیرساخت‌ها به دلیل ایجاد بارهای مختلف به زمین باید تمامی اصول مهندسی ساخت‌وساز در چنین محیطی را رعایت کرد. چراکه وجود مناطق مستعد ریزش سنگ در اطراف مراکز سکونتگاهی تهدیدی مستمر و دائمی است و بر اساس همه آنچه که گفته شد برای تشکیل مورفولوژی کارست؛ تکتونیک و تنش‌های وارده بستری مناسب را برای هدایت و عملکرد سایر پارامترهای دخیل فراهم کرده است و نمی‌توان نقش تکتونیک را در تشکیل و فرم‌دهی به اشکال کارست انکار کرد با توجه به اینکه اشکال کارست در منطقه مورد مطالعه، بیشتر پالئوکارست بوده نقش تکتونیک در حال حاضر تخریب اشکال کارست در جهت تنش‌های حداکثر و یا در مجاورت با گسل‌ها بوده است که این منجر به ریزش‌های بلوکی سنگ در مناطق بسیار شده است بنابراین این ریزش‌های سنگی بیشتر به دلیل اعمال تکتونیک در بستر توسعه کارست (پالئوکارست) رخ داده‌اند. با انطباق نقشه مخاطرات ریزش سنگ، نقشه تکتوکارست و نقشه گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود که بیشتر کارست‌های منطقه بر روی پهنه‌هایی با خطر بالا و خطر متوسط، در جهت درزه‌های کششی منطقه رخ داده است.

کتابنامه

افراسیابیان، احمد؛ ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران. *مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی*. تهران. کرمانشاه. ۳۵۴ ص.

http://fipak.areeo.ac.ir/faces/search/bibliographic/biblioBriefView.jspx?_afPfm=-16wmb8n9qd

بوسلیک، زهرا؛ چرچی، عباس؛ کشاورزی، محمد رضا؛ احمد نژاد، زینب؛ ۱۳۹۱. بررسی نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه کارستی ایزه با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. *پژوهش‌های دانش زمین*. سال سوم. شماره ۱۰.

صص ۱۶-۳۲

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088299.1391.3.2.2.7>

پیراسته، سعید؛ ۱۳۸۵. نقش شکستگی‌ها در توسعه کارست - محدوده تاقدیس پابده از زاگرس چین خورده: کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*. سال سوم. شماره ۱۱.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5943.html#ar_info_pnl_cite صص ۴۹-۶۶.

سناخوان، عطیه؛ پورکرمانی، محسن؛ حاجی حسینلو، حسن؛ حسن‌پورصدقی، محمد؛ ۱۳۹۱. ارزیابی زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی منطقه نالزو ارومیه، شمالغرب ایران، سی و یکمین همایش علوم زمین. تهران. سازمان زمین‌شناسی و

<https://civilica.com/doc/186946>

اکتشافات معدنی کشور

ولایتی، سعداله؛ خانعلی زاده، فریده؛ ۱۳۹۰. بررسی رابطه ساختارهای تکتونیکی و اشکال کارستی (مطالعه موردی حوضه آبریز کارده). *جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)*. سال نهم. شماره ۳۱. ص ۱۷۱-۱۸۹.

<https://magiran.com/p951522>

- Çiftçi, N.B., Bozkurt, E., 2007. Anomalous stress field and active breaching at relay ramps: a field example from Gediz Graben, SW Turkey. *Geol. Mag.* 144 (4), 687–699. <https://doi.org/10.1017/S0016756807003500>
- Curewitz, D., Karson, J.A., 1997. Structural settings of hydrothermal outflow: fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 79 (3–4), 149–168. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(97\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(97)00027-9)
- Dockrill, B., Shipton, Z.K., 2010. Structural controls on leakage from a natural CO₂ geologic storage site: Central Utah, U.S.A. *J. Struct. Geol.* 32 (11), 1768–1782. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2010.01.007>
- Fossen, H., Rotevatn, A., 2016. Fault linkage and relay structures in extensional settings—A review. *Earth Sci. Rev.* 154, 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.11.014>
- Haji Hosseini, H., (2015). Kinematics of Transpressional Deformation in Urmia Fault Zone, (Northwest Iran). *Iranian Journal of Earth Sciences*, 7, 59-67. https://ijes.mashhad.iau.ir/article_522935.html
- Kattenhorn, S.A., Aydin, A., Pollard, D.D., 2000. Joints at high angles to normal fault strike: an explanation using 3-D numerical models of fault-perturbed stress fields. *J. Struct. Geol.* 22, 1–23. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00130-3](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00130-3)
- Nikolaev, P.N., 1977. Method of statistical analysis of joints and reconstruction of the tectonic stress fields. *J high Schools Geol Prosp Moscow* 12:103-115 (in Russian). ISBN: 978-3-662-43992-0
- Rotevatn, A., Buckley, S., Howell, J., Fossen, H., 2009. Overlapping faults and their effect on fluid flow in different reservoir types: A LIDAR-based outcrop modeling and flow simulation study. *AAPG (Am. Assoc. Pet. Geol.) Bull.* 93, 407–427. <https://doi.org/10.1306/09300807092>
- Rowland, J.V., Sibson, R.H., 2004. Structural controls on hydrothermal flow in a segmented rift system, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geofluids* 4, 259–283. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2004.00091.x>
- Sibson, R.H., 1996. Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. *J. Struct. Geol.* 18, 1031–1042. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(96\)00032-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(96)00032-6)
- Springfield, VT., Rapp, JR., Anders, RB., 1979. Effect of karst and geologic structure on the circulation of water and permeability in carbonate aquifers. *U.S. J Hydrol* 43: 313-332. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90178-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90178-1)



Predicting Changes in Stream Path and Morphology of Gorganrood River with an Emphasis on Flooding

Hamidreza Masoumi^{a*}, Alireza Habibi^b, Mohammadreza Parsamehr^c

^a Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, Bandar Abbas, Iran

^b Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

^c Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

Received: 30 December 2021

Revised: 9 February 2022

Accepted: 18 February 2022

Abstract

In recent years, the occurrence of several destructive floods in the southeastern plain of the Caspian Sea, caused by the flood of the Gorganrood River, has caused many casualties and damage. Predicting the future morphological conditions of the river and its surroundings is one of the essential factors in planning and arranging the coastal plains. Landsat 5, 7, and 8 satellite images of 1987, 2002, and 2018, with field studies, software studies, and CA Markov automated cells model were used in this research. The accuracy of the modeling was confirmed using random ground control points. Moreover, the reaction of the river canal at the flood events was examined based on the satellite image of April 3, 2019. The results showed that the most probable changes in the study area are in river, plains, and man-made facilities units around Voshmgir Dam Lake. Also, the very low hydraulic slope of Gorganrood in the downstream areas of Voshmgir Dam prevents the rapid evacuation of floods and creates a reverse flow and flooding of the surrounding lands. This phenomenon causes the Gorganrood flood and Qarasoo tributaries to interfere in the area between Salagh-Yelghi and Aq Qala. Therefore, increasing the height level of the river shores between the tributaries of Gorganrood and Qarasoo can prevent the flow of interference in them and reduce the risk of flooding of the Qarasoo around lands. Due to water flooding and flood transmission through abandoned canals of Gorganrood in the northern lands of Aq Qala to Siminshahr, the construction of an emergency flood drainage canal through abandoned canals can be a permanent solution to control floods in these areas.

Keywords: Flood, Satellite Imagery, Automated Cell Model, Remote Sensing Studies, Gorganrood

*. Corresponding author: Hamidreza Masoumi E-mail: h.masoumi@iauba.ac.ir Tel: +989356161958

How to cite this Article: Masoumi, H., Habibi, A., & Parsamehr, M. (2022). Predicting changes in stream path and morphology of Gorganrood river with an emphasis on flooding. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 67-84.

DOI:10.22067/geoeh.2022.74999.1166



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74999.1166> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۸۴-۶۷

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تأکید بر سیل‌خیزی

 حمیدرضا معصومی^۱ - استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

علیرضا حبیبی - محقق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
محمدرضا پارسامهر - محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر، وقوع چندین مورد سیل مخرب در دشت جنوب شرقی دریای خزر، ناشی از طغیان آب گرگانرود، موجب تلفات و خسارات فراوانی شده است. پیش‌بینی شرایط آینده مورفولوژیک رودخانه و محیط‌های پیرامون آن از عوامل ضروری در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی است. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، همراه با بررسی‌های میدانی، مطالعات نرم‌افزاری و مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار به‌عنوان ابزار تحقیق بهره گرفته شد. صحت مدل‌سازی با استفاده از نقاط کنترل زمینی تصادفی مورد تأیید قرار گرفت. همچنین نحوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب براساس تصویر ماهواره‌ای سوم آوریل ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین احتمال تغییرات در منطقه مطالعه در واحدهای رودخانه، دشت و تأسیسات ساخت انسان پیرامون دریاچه سد وشمگیر وجود دارد. همچنین شیب هیدرولیکی بسیار کم گرگانرود در نواحی پایین‌دست سد وشمگیر، موجب عدم تخلیه سریع سیلاب و ایجاد جریان دبی معکوس و طغیان آب به اراضی پیرامون آن است. این پدیده موجب تداخل سیلاب گرگانرود و سرشاخه‌های قره‌سو در محدوده بین سلاق یلّقی و آق‌قلا می‌شود. لذا افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های بین

Email: h.masoumi@iauba.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۶۱۶۱۹۵۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

معصومی، حمیدرضا؛ حبیبی، علیرضا؛ پارسامهر، محمدرضا. (۱۴۰۱). پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود با تأکید بر سیل‌خیزی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۸۴-۶۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74999.1166>

سرشاخه‌های گرگانرود و قره‌سو می‌تواند از تداخل جریان در آن‌ها جلوگیری نموده و سبب کاهش مخاطره سیل‌گیری اراضی پیرامون قره‌سو شود. با توجه به طغیان آب و انتقال سیلاب از طریق کانال‌های متروک گرگانرود در اراضی شمال آق‌قلا تا سیمین شهر، احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب از مسیر کانال‌های متروک، می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در این مناطق باشد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای، مدل سلول‌های خودکار، مطالعات سنجش‌ازدور، گرگانرود.

۱- مقدمه

مردم در سراسر جهان همه روزه با وقایعی روبرو می‌شوند که منجر به مرگ، آسیب، تخریب اموال و اختلال در فعالیت‌های روزانه آن‌ها می‌شود. سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی از دیرباز جوامع روستایی و شهری را مورد تهدید و هجوم قرار داده و جوامع بشری فارغ از هرگونه پیشرفت در زمینه‌های مختلف، همواره دغدغه‌ی تهدیدات سیلاب را به‌عنوان چالشی بزرگ پیش رو داشته‌اند. استان گلستان در جنوب شرقی دریای خزر، طی سال‌های اخیر، شاهد وقوع چندین مورد سیل مخرب بوده که موجب تلفات انسانی و خسارات اقتصادی فراوانی گردیده است. رودخانه گرگانرود یکی از مهم‌ترین رودهای سیل‌خیز استان گلستان است.

فعالیت‌های انسانی با تغییر در رژیم جریان و رسوب، می‌تواند تغییراتی را در پارامترهای مورفولوژی رودخانه به وجود آورد (مورایس و همکاران^۱، ۲۰۱۶). بارش‌های شدید و جاری شدن آب از بالادست، لایروبی نشدن رودخانه‌ها، تغییر در کانال رود و کم شدن فضای آب‌گذری نسبت به حجم آب ورودی به هنگام بارندگی، از عوامل وقوع سیلاب در رودخانه‌های مناطق ساحلی هستند. در این میان اهمیت مطالعات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و بررسی عکس‌العمل رودخانه در برابر فرایندهای تغییر دهنده برقراری موازنه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (میرزایی‌زاده و همکاران^۲، ۲۰۱۵). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان، برای تهیه نقشه است (پال و مدر^۳، ۲۰۰۵). یکی از روش‌های شبیه‌سازی تغییرات در گذر زمان، مدل ترکیبی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار^۴ است. با استفاده از این مدل، نسبت تبدیل کاربری‌ها و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (مولر و میدلتون^۵، ۱۹۹۴). بدین ترتیب با استفاده از تغییرات روی داده در گذر زمان می‌توان آینده را پیش‌بینی کرد. در سال‌های اخیر رهیافت‌های مفهومی مختلفی از سلول خودکار و تحلیل زنجیره مارکف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین ارائه شده است (سوبدی و همکاران^۶، ۲۰۱۳). موندال و همکاران^۷ (۲۰۲۰)، در تحقیقی تأثیر

1 Morais et al

2 Mirzaeizadeh et al

3 Pal and Mather

4 Cellular Automation- CA

5 Muller and Middleton

6 Subedi et al

7 Mondal et al

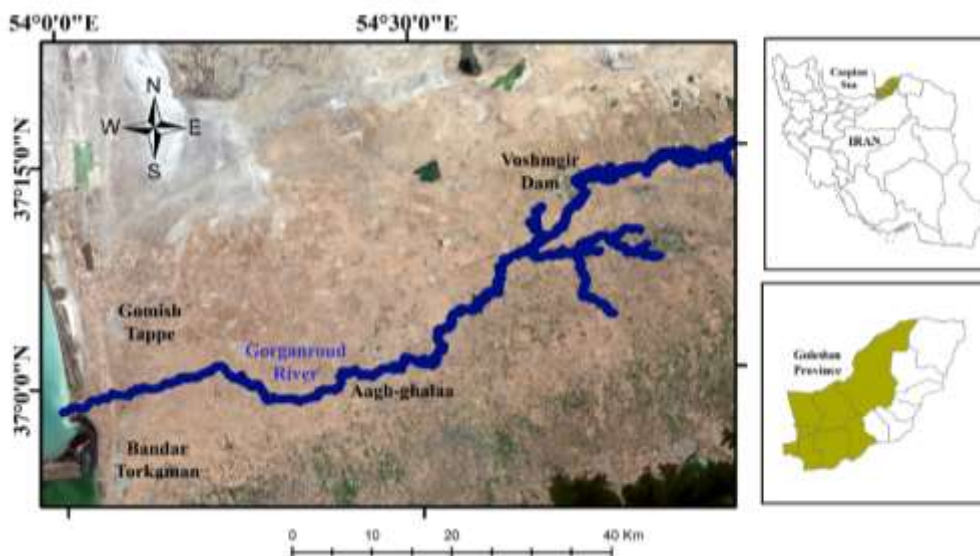
فیلترهای سازگار با مدل سلول خودکار مارکف را بر نتایج پیش‌بینی تغییر سرزمین بررسی نموده و نتیجه گرفته‌اند که ضریب همبستگی (r) برای فیلترهای 5×5 بیشترین تأثیر را در توزیع جغرافیایی / مکانی داشته است. **مدل و همکاران^۱** (۲۰۲۰) به بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در کانال رودخانه دشت‌های ساحلی پرداخته و نقش بهره‌گیری از کانال‌های آنابرنچ برای پایدارسازی کانال رودخانه پرداخته‌اند. **معصومی و همکاران** (۱۴۰۰) به پیش‌بینی تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها در منطقه دشتیاری در کرانه‌های ساحلی دریای عمان پرداخته و عملکرد آن‌ها را طی وقوع رخداد سیلاب موردبررسی قرار داده‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که سطح مخاطره سیل در پهنه‌های سیلابی منطقه ساحلی دشتیاری بالا بوده، نیازمند عملیات تخصصی کنترل سیلاب از خروجی کوهستان تا خط ساحل است. **معصومی و همکاران** (۱۴۰۰) مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر در تغییرات مسیر جریان رودخانه سفیدرود را موردبررسی قرار داده و با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار روند تغییرات مسیر کانال را با توجه به عوامل هیدرولیکی رود و تغییرات تراز آب دریای خزر برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، بیان داشته‌اند که روند تغییرات تراز آب دریای خزر، تا سال ۲۰۳۰ به سطح بالاتر از ۲۷- متر خواهد رسید.

با توجه به اهمیت موضوع سیلاب و عملکرد متقابل فرایندهای مؤثر در آن، شناخت این فرایندها اولین گام در تحلیل رویداد و اثرات محیطی پیرامون آن است. بر این اساس با توجه به اهمیت موضوع از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و... شناخت تغییرات رودخانه در طی زمان و فرآیندهای مؤثر از اصلی‌ترین عوامل در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای آینده است. این شناخت با استفاده از تکنیک‌های مدل‌های آماری قابلیت پیش‌بینی در بازه‌های زمانی آینده را نیز دارند. با توجه به تعدد وقوع رویداد سیلاب در گرگانرود، شناسایی رفتار رودخانه و پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی آن، می‌تواند کمک شایانی به کنترل سیلاب اراضی پیرامون و برنامه‌ریزی در جهت عملیاتی نمودن راهکارهایی برای ایمن‌سازی این اراضی در زمان سیلاب نماید. **گنجی و همکاران** (۱۴۰۰) معیارهای مؤثر در سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود در محدوده شهرستان آق‌قلا را با استفاده از روش آماری سلسله‌مراتبی AHP بررسی نموده‌اند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که دیواره‌سازی و تثبیت قوس خارجی پیچان‌رودها در محدوده روستاهای سلاق‌یلقی تا قانقرمه، لایروبی رودخانه در نزدیکی پل‌ها، تغییر کاربری اراضی متجاوز به حریم رودخانه، لایروبی و بسترسازی مناسب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود و زهکشی و کانال‌کشی مناسب با شرایط توپوگرافی مناطق مرکزی شهرستان از اقداماتی است که به کاهش خطر سیل در شهرستان آق‌قلا کمک می‌نماید. **مصفاپی و همکاران** (۱۳۹۹) در نشریه فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارشی از رویداد سیل نوروز ۱۳۹۸ استان گلستان را ارائه نموده و عدم مدیریت صحیح مخازن سدهای بالادست و سرعت کم تخلیه جریان در کانال گرگانرود را از جمله

عوامل مؤثر در وقوع این سیل دانسته‌اند. بیت الهی (۱۳۹۸) در گزارش مطالعاتی، به بررسی دلایل وقوع سیلاب ۹۸-۱۳۹۷ در استان گلستان پرداخته و نقش عوامل مختلف تأثیرگذار و تأثیرپذیر در این رخداد را مورد تحلیل قرار داده است. کاردان و همکاران (۱۳۹۶) این نکته را در مدلسازی دویعدی سیلاب برای آق‌قلا ذکر کرده‌اند که در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، احتمال آب‌گرفتگی و خطر سیلاب بخش عمده‌ای از آق‌قلا را می‌تواند در برگیرد. مزیدی و خوش‌روش (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر تعدد رویداد سیل در حوضه گرگانرود را با استفاده از مدل هیدرولوژیک بارش-رواناب مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که علی‌رغم کاهش در متوسط بارش، تعداد بارش‌های حدی بیشتر خواهد شد. این امر نشان‌دهنده افزایش مخاطره سیلاب از نظر تعداد و شدت در آینده خواهد بود. در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، میدانی و آماری، مدل تلفیقی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار، و نتایج تحقیقات گذشته تغییرات مورفولوژی گرگانرود و عوامل محیطی مؤثر بر آن بررسی شده و روند تغییرات و عوامل تأثیرگذار، برای افق سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. همچنین عملکرد پارامترهای مورفولوژیکی و مؤثر طی رخداد سیلاب مورد تحلیل قرار گرفته است.

۲- محدوده جغرافیایی تحقیق

این تحقیق بر پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و عملکرد جریان رود در هنگام وقوع سیلاب در رودخانه گرگانرود متمرکز شده است. گرگانرود با طولی در حدود ۳۲۵ کیلومتر و حوضه آبریزی به وسعت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد (یوسفی، ۱۳۸۴). جهت عمومی جریان آب این رودخانه از شرق به غرب بوده و سرشاخه‌های البرزی آن از جنوب به شمال جریان دارند. این رود پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس و آق‌قلا در غرب خواجه نفس در دلتای گرگانرود به دریای خزر می‌ریزد. محدوده مطالعه از ۲۰ کیلومتری بالادست سد وشمگیر تا مصب رودخانه در حدود ۳۶° ۵۹' تا ۳۷° ۱۵' شمالی و ۵۴° ۰۰' تا ۵۴° ۵۹' شرقی را دربر می‌گیرد (شکل ۱). تاکنون چهار سد در بر روی گرگانرود احداث شده که سد وشمگیر و مخازن اصلی و فرعی آن در محدوده این تحقیق واقع شده است. این منطقه بخشی از دشت کم شیب شرق دریای خزر را شامل می‌شود. واحدهای چینه‌شناختی پلیوسن و کواترنری دشت گرگان شامل سازند آقچه‌گیل، نهشته‌های مارنی پلیستوسن پیشین، لس‌ها، نهشته‌های گرگانرود، نهشته‌های تبخیری، نهشته‌های برخان‌ها و نهشته‌های آبرفتی-دریاچه‌ای می‌باشند. ویژگی‌های رسوب‌شناسی و چینه‌نگاشتی این واحدها نشان می‌دهد فرسایش و نهشته‌گذاری در دشت گرگان حاصل اندرکنش فرایندهای رودخانه‌ای دریایی، دریاچه‌ای و بادی است که با تغییرات اقلیمی، فرایندهای زمین‌ساختی و تغییرات تراز دریای خزر کنترل می‌شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور پیش‌بینی تغییرات مسیر جریان و مورفولوژی رودخانه گرگانرود، از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات میدانی و مدل‌های نرم‌افزاری استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های ۲۰۰۲، ۱۹۸۷ و ۲۰۱۸ با دقت مکانی ۳۰ متر و فصل تصویربرداری مشابه، مبنای مطالعات سنجش‌ازدور می‌باشند. همچنین به منظور بررسی شیوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به زمان سیلاب تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۷، (تاریخ تصویر سوم آوریل ۲۰۱۹ یا ۱۴ فروردین ۱۳۹۸) استفاده شد (جدول ۱). پردازش اولیه تصاویر در نرم‌افزار Envi 5.3 انجام شد. در این مرحله تصحیحات رادیومتری و اتمسفری به روش Quick بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید.

پس از انجام تصحیحات، طبقه‌بندی تصاویر با روش طبقه‌بندی نظارت شده^۱ در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 صورت گرفت و نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی کانال رودخانه تهیه شده است. در این نقشه واحدهای کانال رودخانه، سازه‌های ساخت انسان و سکونتگاه‌ها، اراضی جنگلی، دریا و دشت تفکیک شده‌اند. این نقشه‌ها در هر سه دوره تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است.

1 Maximum Likelihood Classification

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

باند های مورد استفاده	تاریخ تصویربرداری	مشخصات تصویر
1-2-3-4-5-7	1987.06.14	LANDSAT-LT05_163-034
1-2-3-4-5-7	2002.07.17	LANDSAT-LE07_163-034
MTL-Multispectral	2018.07.05	LANDSAT_LC08_163-034
MTL-Multispectral	2019.04.03	LANDSAT_LC08_163-034

به منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی، نقشه‌های سه دوره، به محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet وارد شد. ابتدا براساس نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ با استفاده از روش تلفیقی زنجیره‌های مارکوف و مدل سلول‌های خودکار به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ پرداخته شد. زنجیره مارکف مجموعه‌ای از وضعیت‌های احتمالی را بیان می‌کند که از یک وضعیت آغاز شده و به صورت پیوسته به وضعیت دیگر تغییر می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار عاملی است که تغییر وضعیت هر سلول را بر اساس قانون تعیین وضعیت جدید، مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت سلول‌های مجاور، نشان می‌دهد. در این مدل از فیلتر CA برای توسعه یک فاکتور وزندهی - مجاورت مکانی، برای تغییر وضعیت سلول بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده می‌شود (سانگ و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین برای افزایش دقت پیش‌بینی مدل، از این روش تلفیقی استفاده شده است. لذا براساس داده‌های خروجی مدل مارکف، نقشه نهایی پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکف سال ۲۰۱۸ استخراج گردید و ضریب کاپای مربوطه محاسبه شد. ضریب کاپا یک معیار صحت سنجی طبقه‌بندی بوده است. سپس خروجی مدل با نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ برآزش داده شد و بازه‌های مغایر بین آن‌ها به دست آمد. به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۳۷۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی به صورت پیش‌فرض در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 تعیین شد و با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت (جدول ۳) همچنین تراز ارتفاعی نقاطی که منطبق بر کانال رودخانه بودند، جهت ترسیم نیمرخ طولی کانال رود برداشت شد. با استفاده از داده‌های ارتفاعی برداشت شده، نیمرخ طولی گرگانه‌رود از یلمه سالیان با تراز ارتفاعی +۷ تا مصب رودخانه با تراز ارتفاعی ۲۷- با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel ترسیم شد. با توجه به دقت و صحت خروجی مدل، با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شد. این نقشه با برآزش خروجی مدل برای سال ۲۰۳۰ و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده از این برآزش، مناطق دارای پتانسیل تغییرات شدید در مسیر رودخانه شناسایی شد. به منظور بررسی شیوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب با استفاده از

1 Zhang et al

2 Sang et al

تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به زمان سیلاب پهنه‌های متأثر از سیل در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 در دشت گرگان‌رود، تفکیک شد. در نهایت عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب، با استناد به نتایج این پژوهش و تحقیقات بیت الهی (۱۳۹۸)، مصفايي و همکاران (۱۳۹۹) و گنجی و همکاران (۱۳۹۹) مورد تدقیق قرار گرفته و تأثیر مورفولوژی رودخانه و تغییرات آن در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ و روند آتی آن تا ۲۰۳۰ مورد تحلیل قرار گرفته است.

۴- نتایج و بحث

با پردازش و طبقه‌بندی تصاویر در نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4.1 نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه شد (شکل ۳). در این نقشه‌ها واحدهای کانال رودخانه (شامل کانال و بستر رود)، سازه‌های ساخت انسان (شامل سکونتگاه‌ها، سازه‌ها و ابنیه مختلف)، جنگل، دریا و دشت (پهنه‌های زراعی و غیر زراعی) تفکیک شده‌اند. مساحت واحدهای طبقه‌بندی شده در هر سه دوره محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است (جدول ۲).

جدول ۲- مساحت واحدهای تفکیک شده در نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه (هکتار)

تصویر ماهواره‌ای واحد طبقه‌بندی	۲۰۱۸	۲۰۰۲	۱۹۸۷
کانال رودخانه	۲۱۰۴/۸	۲۲۳۶/۸	۲۰۹۶/۲
تأسیسات ساخت انسان	۱۰۵۹۶/۷	۱۰۳۵۸/۶	۱۰۲۶۱/۰
جنگل	۱۳۲۳۱/۶	۱۳۲۹۹/۱	۱۳۳۳۳/۹
دشت	۴۹۳۹۲۹/۴	۴۸۲۷۰۱/۱	۴۹۴۵۷۱/۵

Given : Probability of changing to :

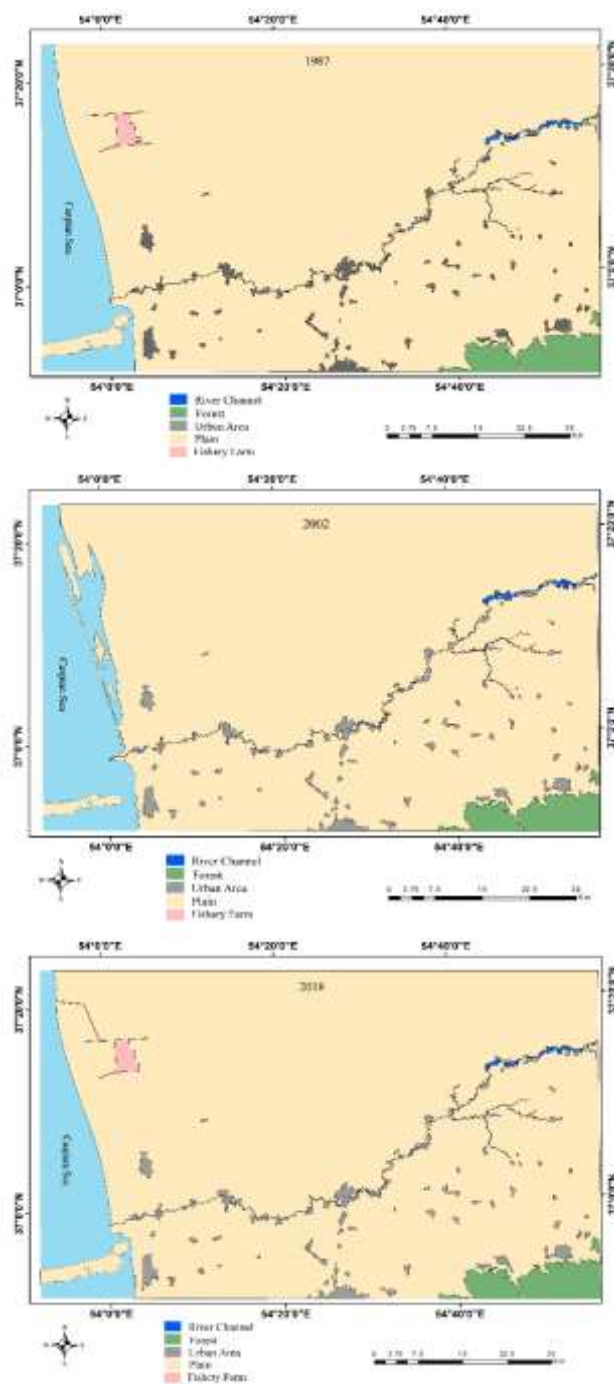
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6
Class 1	0.9979	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000
Class 2	0.0000	0.8394	0.0505	0.0000	0.1101	0.0000
Class 3	0.1200	0.0807	0.6746	0.0000	0.1242	0.0005
Class 4	0.0000	0.0000	0.0030	0.9970	0.0000	0.0000
Class 5	0.0003	0.1000	0.1140	0.0000	0.7857	0.0000
Class 6	0.0000	0.0000	0.0180	0.0000	0.0000	0.9820

شکل ۲- ماتریس خروجی مدل مارکوف برای تغییرات سال ۲۰۱۸

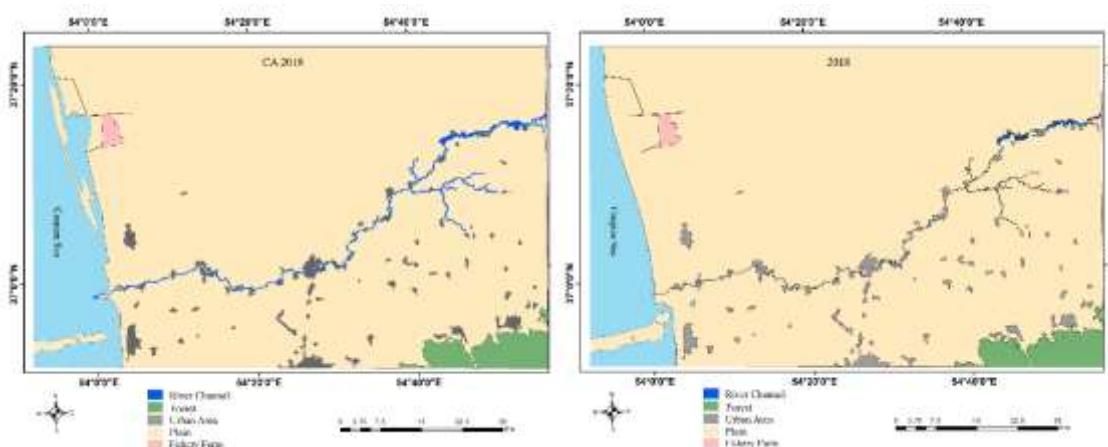
پیش‌بینی و مدل‌سازی، در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet انجام شد. ابتدا با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ ماتریس مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف به دست آمد (شکل ۳). در این ماتریس مقادیر احتمال تغییرات واحدهای رودخانه (Cl.5)، تأسیسات ساخت انسان (Cl.2) و دشت (Cl.3) به یکدیگر مشخص شده است. براین اساس بیشترین احتمال وقوع تغییرات بین واحدهای رودخانه و دشت به میزان ۱۲/۵ درصد حاصل شده است (شکل ۲).

با توجه به امکان توصیف مکانی در قالب نقشه، از مدل CA مارکف استفاده شد و نقشه بیش‌بینی سلول خودکار سال ۲۰۱۸ و ضریب کاپای مربوطه استخراج گردید. بر این اساس تشابه مشهودی بین خروجی مدل و نقشه طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ مشاهده شد (شکل ۴). همچنین ضریب کاپای حاصل شده برای واحدهای رودخانه، تأسیسات ساخت انسان و دشت به ترتیب ۹۶/۹۹٪، ۹۹/۸۶٪ و ۹۸/۲۷٪ به دست آمده است. ضریب کاپای کلی نیز ۹۸/۷۹ درصد به دست آمده است (جدول ۴).

به‌منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۳۷۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی، با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت. براساس صحت سنجی میدانی، خروجی مدل در ۳۲۶ نقطه صحیح و در ۴۴ نقطه نادرست بوده است. نتیجه صحت سنجی نشان می‌دهد که در ۸۸٪ نقاط کنترل زمینی، خروجی حاصل از مدل با واقعیت مطابقت داشته و مطابقت مطلوبی با ضریب کاپای مدل دارد. جزئیات عدم تطابق مشاهدات میدانی در جدول ۳ و ضرایب صحت سنجی مدل در جدول ۴ آمده است. براساس نتایج مشخص گردید اصلی‌ترین عدم تطابق بین دو واحد دشت و رودخانه به تعداد مجموع ۱۹ نقطه است.



شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی و کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸



شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۱۸ (راست) در مقابل خروجی مدل CA مارکف (چپ)

با توجه به دقت و صحت خروجی مدل CA مارکف، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه شده است (شکل ۵). سپس سه واحد رودخانه، سازه‌های ساخت انسان و دشت در دو نقشه سال ۲۰۱۸ و پیش‌بینی ۲۰۳۰ برازش داده شد و تغییرات محتمل در محیط رودخانه طی بازه زمانی ۱۲ ساله به دست آمد (شکل ۵).

جدول ۳- جزئیات عدم تطابق مشاهدات در نقاط کنترل زمینی با خروجی مدل

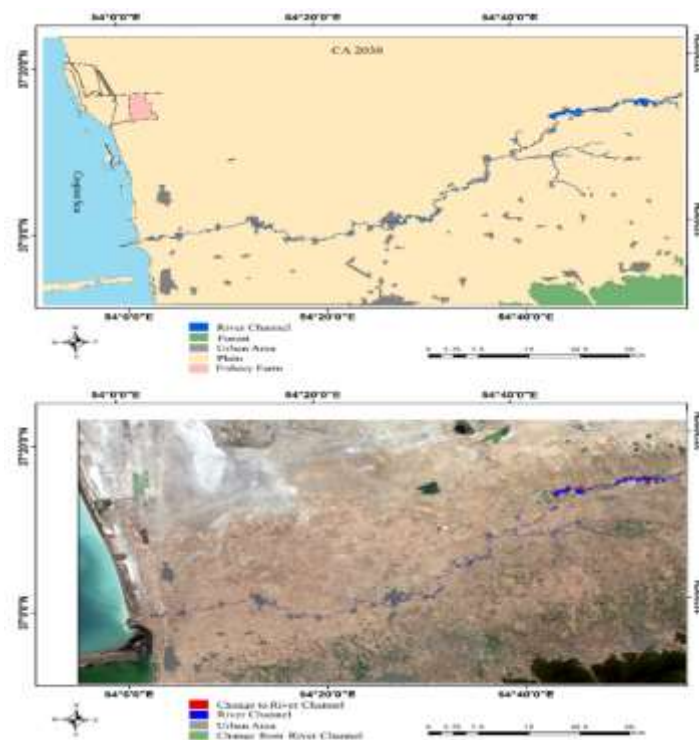
کاربری مشاهداتی	کاربری مدلسازی	تعداد نقاط
جنگل	دشت	۵
دشت	رودخانه	۱۰
رودخانه	دشت	۹
دشت	تأسیسات ساخت انسان	۷
دشت	دریا	۱۰
تأسیسات ساخت انسان	دشت	۳

با استفاده از این نقشه، مناطق دارای پتانسیل تغییرات شدید در مسیر رودخانه شناسایی شد (شکل ۶). این محدوده به طول ۲۳ کیلومتر نواحی پیرامون دریاچه سد وشمگیر، از اراضی روستا قزاقلی تا سد را شامل شده و روند تغییرات به گونه‌ای خواهد بود که واحدهای پیرامون آن دستخوش فرایندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و رسوبگذاری خواهند بود. پهنه‌های دارای مخاطره فرسایش و آبگرفتگی (شکل ۶-قرمز رنگ) در جنوب قزاقلی،

ساحل جنوبی رود در شمال بی بی شیروان و شمال یارتی قایه مشخص شده‌اند. همچنین ساحل جنوبی رود در شمال یاسی تپه، ساحل شمالی رود در شمال بی بی شیروان و اراضی حدفاصل بی بی شیروان تا یارتی قایه دارای قابلیت رسوبگذاری (شکل ۶- سبز رنگ) و خروج از آب در پهنه‌های تحت تأثیر دریاچه سد وشمگیر خواهند بود. بر این اساس مشخص می‌شود که بیشترین قابلیت مخاطره فرسایش و آبگرفتگی در اراضی ساحل شمالی دریاچه سد وشمگیر وجود داشته و در مقابل، اراضی جنوبی دارای قابلیت رسوبگذاری هستند. مصفايي و همكاران (۱۳۹۹) نیز نتیجه گرفته‌اند که حجم رسوبگذاری ذرات گل در محدوده دریاچه سد وشمگیر، باتوجه به بافت ریزدانه بار رسوبی گرگانه رود قابل توجه بوده که این امر موجب تغییرات در موقعیت ساحل دریاچه سد می‌شود.

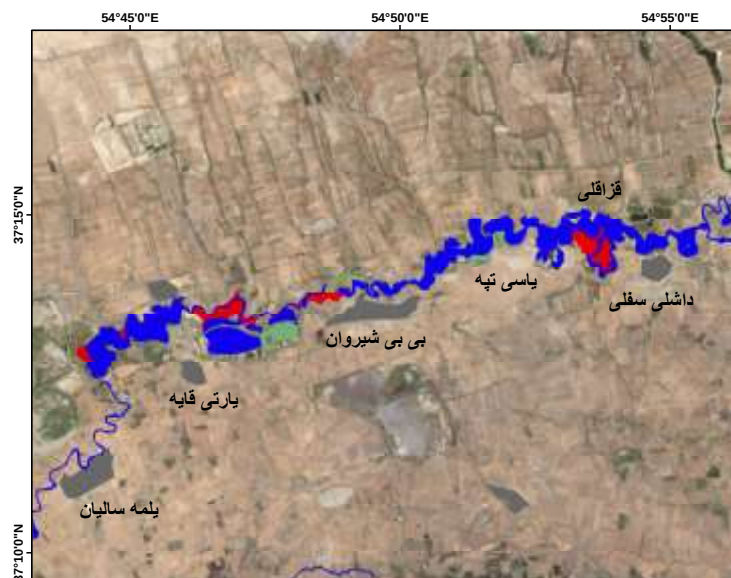
جدول ۴- ضرایب صحت سنجی طبقه‌بندی در سه بازه زمانی مورد مطالعه

واحد طبقه‌بندی	ضریب کاپا در سه دوره (%)			دقت تولیدکننده (%)	خطای گماشته (%)	دقت کاربر (%)	خطای حذف شده (%)
	۱۹۸۷	۲۰۰۲	۲۰۱۸				
رودخانه	۹۶/۹۹	۸۳/۸۲	۹۶/۶۰	۹۱	۹	۸۷/۸۳	۱۲/۱۷
دریا	۹۹/۴۲	۷۷/۰۱	۹۸/۸۴	۶۶/۷	۳۳/۳	۶۷/۸۸	۳۲/۱۲
جنگل	۹۹/۲۱	۹۹/۷۱	۹۹/۷۶	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
دشت	۹۸/۲۷	۹۶/۱۸	۹۹/۲۱	۸۳	۱۷	۸۰/۲۵	۱۹/۷۵
تأسیسات ساخت انسان	۹۹/۸۶	۹۹/۸۸	۹۶/۶۴	۹۳	۷	۹۰/۷	۹/۳
ضریب صحت کلی	۹۸/۷۹	۸۹/۰۹	۹۸/۰۸				



شکل ۵- بالا: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۳۰ خروجی مدل CA مارکف.

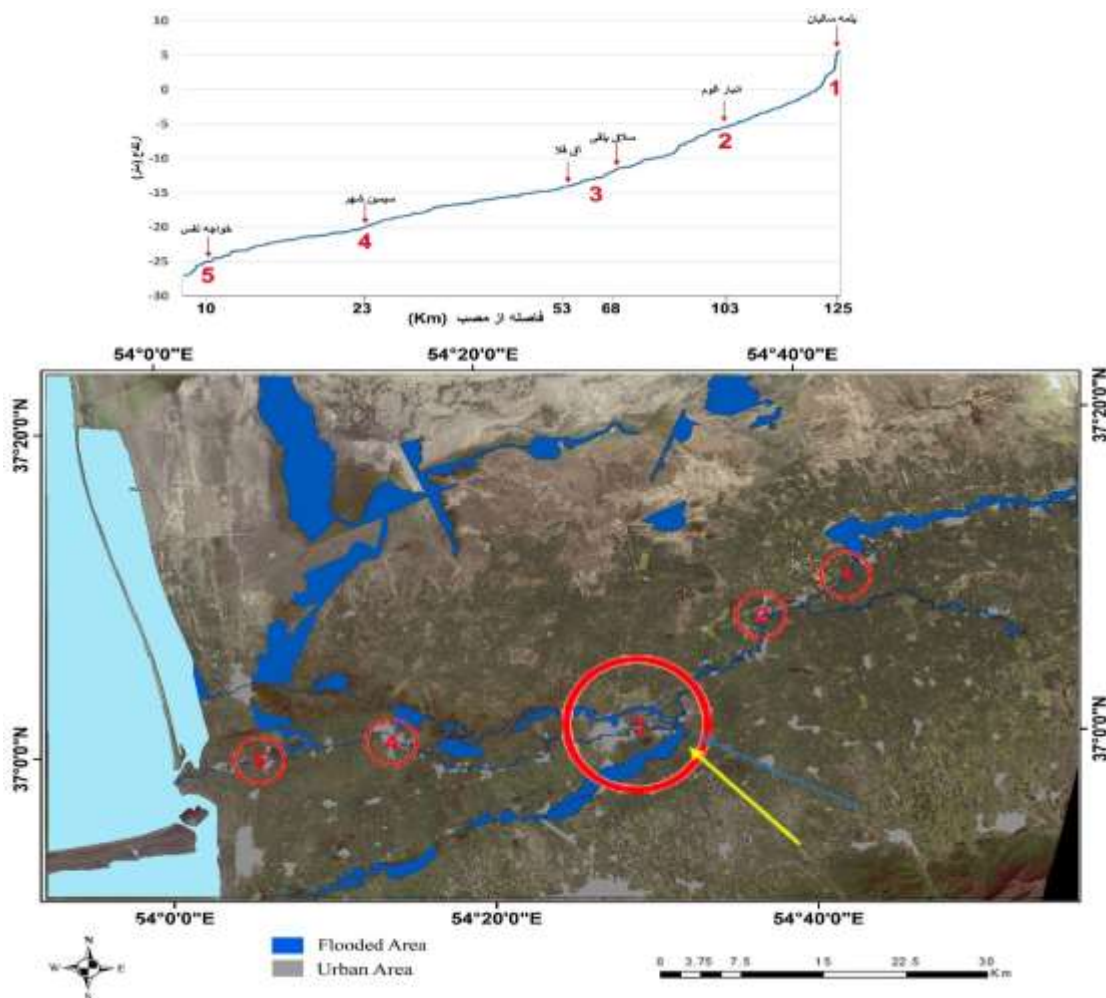
پایین: نقشه پیش‌بینی تغییرات محتمل در محیط رودخانه تا سال ۲۰۳۰



شکل ۶- پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه گرگانرود در محدوده تحت تأثیر از دریاچه سد وشمگیر

از جمله آثار سدهای مخزنی روی رودخانه، تجمع و رسوبگذاری آب در مخزن و در نتیجه، کاهش گل آلودگی و افزایش ظرفیت نگهداری رسوب جریان در دریاچه سد است. به همین دلیل معمولاً بلافاصله در پایاب سدهای مخزنی، رودخانه دارای ویژگی‌های فرساینده‌گی بوده و با کف‌کنی بار رسوبی خود را افزایش می‌دهد و پس از رسیدن به بخش‌های انتهایی که شیب نیم‌رخ طولی بسیار اندک می‌باشد، رسوبات ته‌نشین شده و این امر موجب کاهش ضریب آب‌گذری در بخش انتهایی رودخانه می‌شود (مصفاپی و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش ضریب آب‌گذری بخش انتهایی رودخانه، عامل مهمی در عدم تخلیه سیلاب از کانال رود به دریای خزر بوده و این پدیده در تمام رویدادهای سیلاب موجب آب‌گرفتگی مناطق دشت ساحلی از آق‌قلا تا خواجه نفس شده است. دیگر عامل مؤثر در تغییر شیب هیدرولیکی رودخانه‌های منتهی به دریای خزر، تغییر در تراز آب این دریا است (معصومی و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به پیش‌بینی افزایش سطح تراز آب دریای خزر، طبیعتاً سطح اساس رودخانه نیز بالاتر خواهد بود. این امر موجب کاهش هرچه بیشتر شیب هیدرولیکی رودخانه و تشدید عدم تخلیه آب در هنگام وقوع سیلاب از کانال رودخانه گرانرود خواهد شد. این پدیده موجب سرریز آب از کرانه‌های رودخانه، بخصوص در نواحی نزدیک به مصب، در دلتای گرانرود خواهد شد (شکل ۷، بخش ۵). در این زمینه و به منظور بررسی نحوه عکس‌العمل کانال رود در زمان وقوع رخداد سیلاب، نقشه پهنه‌های تحت نفوذ سیلاب اسفند ۱۳۹۷ - فروردین ۱۳۹۸ تهیه شد. سپس نقاط حساس در این نقشه با نیم‌رخ طولی رودخانه در بازه‌ای به طول حدود ۱۲۵ کیلومتر از پایین‌دست سد و شمگیر تا مصب، مورد تدقیق قرار گرفت (شکل ۷). گنجی و همکاران (۱۴۰۰)، میزان شیب طولی رودخانه گرانرود در محدوده بالادست و پایین‌دست شهر آق‌قلا را ۲ تا ۳ در هزار تعیین نموده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین ایشان مورفولوژی رودخانه در این محدوده را پیچانرود شدید تعیین نموده‌اند. نتایج تحقیق حاضر نشان داده متوسط شیب کلی کانال رودخانه گرانرود در پایین‌دست سد و شمگیر ۰/۰۳ درصد است. متوسط شیب کانال رودخانه از خواجه نفس تا سیمین شهر (شکل ۷: بخش ۴ تا ۵) و سلاقی یلقی تا انبار آلوم (شکل ۷: بخش ۲ تا ۳)، برابر با متوسط شیب کلی بازه (۰/۰۳ درصد) و در مقابل، شیب متوسط کانال رودخانه در حدفاصل سیمین شهر تا سلاقی یلقی (شکل ۷: بخش ۳ تا ۴) کمتر از متوسط کلی و به میزان ۰/۰۲ درصد می‌باشد. همچنین متوسط شیب کانال گرانرود از یلمه سالیان تا انبار آلوم (شکل ۷: بخش ۱ تا ۲) ۰/۰۵ درصد است. نتایج نشان داد که کمترین شیب کانال، در حدفاصل سلاقی یلقی تا سیمین شهر بوده و این امر موجب کاهش سرعت جریان رو به پایین‌دست در این محدوده می‌گردد. لذا در هنگام وقوع سیلاب و جریان با دبی بالاتر از حداکثر توان عبور دهی کانال، در این بخش همواره بیشترین احتمال آب‌گرفتگی وجود دارد. در کنار این مورد، کاهش شیب طولی از انبار آلوم به سلاقی یلقی و ورود سرشاخه فرعی از ارتفاعات البرز به گرانرود، در حدفاصل سلاقی یلقی تا آق‌قلا (شکل ۷، فلش آبی رنگ)، موجب تشدید آب‌گرفتگی و ایجاد جریان معکوس از رودخانه به شاخه فرعی می‌شود. تحقیقات مصفاپی و همکاران

(۱۳۹۹) و بیت الهی (۱۳۹۸) نیز وقوع این پدیده را نشان داده است. در این منطقه، با فاصله‌ای حدود ۲۵۰ متر، یکی از سرشاخه‌های فرعی قره‌سو به سمت شمال و غرب جریان دارد (شکل ۷، فلش زرد رنگ). وقوع جریان برگشتی در گرگانرود موجب سرریز شدن سیلاب شده و جریان سیلاب گرگانرود با قره‌سو پیوسته شده و در مسیر این رود، موجب سیل‌گیری اراضی شمال گرگان، قره‌تپه و جنوب بندر ترکمن می‌گردد. چنین پدیده‌ای در سیل اسفند ۹۷- فروردین ۹۸ سبب تشدید سیلاب در اراضی پیرامون قره‌سو با تراز ارتفاعی حدود ۱۳- متر شده است (شکل ۷). در صورت افزایش تراز آب دریای خزر پس‌زدگی و ایجاد جریان برگشتی، به سطوح ارتفاعی بالاتر نیز کشیده خواهد شد. بدین ترتیب احتمال این مخاطره در نواحی بالادست آق‌قلا نیز ایجاد خواهد شد. احداث دیوار ساحلی و افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های این دو سرشاخه می‌تواند از تداخل جریان آن‌ها جلوگیری نموده و نقش قابل‌توجهی در کاهش مخاطره سیل‌گیری اراضی پیرامون قره‌سو داشته باشد. بدیهی است این امر نیازمند انجام پژوهش‌های تخصصی در زمینه مهندسی رودخانه و سازه‌های حفاظتی مرتبط می‌باشد. نتایج پهنه‌بندی سیلاب فروردین ۱۳۹۸ نشان داد که در منطقه سلاق یلقی - آق‌قلا، (شکل ۷، بخش ۳) علاوه بر خروج سیلاب گرگانرود به قره‌سو، بخشی از جریان آب با سرریز از کرانه‌های رود، از شمال قره‌سو به سمت گمیش تپه جاری شده است. براساس شواهد تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی، این مسیر منطبق بر کانال‌های متروک و آبراه‌های قدیمی گرگانرود است. کانال‌ها و پیچان‌رودهای متروک در این مسیر، اراضی گود افتاده‌ای را به وجود آورده‌اند که سیلاب به سمت آن‌ها جریان یافته و از این طریق در دشت شمالی گرگانرود پخش می‌شود.



شکل ۷- نیمرخ طولی (بالا) و پهنه‌های متأثر از سیلاب در تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۹۸ رودخانه گرگانرود (پایین) و مسیر شاخه فرعی گرگانرود (فلش آبی) و سرشاخه قره‌سو (فلش زرد)

فعالیت‌های انسانی از قبیل راه‌آهن و راه‌ها به‌صورت متقاطع با مسیر جریان ذکر شده، موجب گسترش سیلاب در دشت شمالی گرگانرود می‌گردد. نفوذ سیلاب از بخش شمالی شهرهای آق‌قلا (شکل ۷، بخش ۳) و سیمین شهر (شکل ۷، بخش ۴) در سیل فروردین ۱۳۹۸، در اثر جریان سیلاب از مسیر یاد شده و تحت تأثیر سازه‌های تقاطعی صورت گرفته است. جریان سیلاب در این مسیر، پس از عبور از اراضی شمال سیمین شهر، به سمت گمیش تپه جریان یافته و در شرق گمیش تپه به دو بخش تقسیم شده است. بخشی از جریان از طریق آبراهه‌های زهکشی، از شهر گمیش تپه به تالاب گمیشان را یافته و بخش دیگر در اراضی پست شرق و شمال شرق این شهر گسترده شده است. بیت الهی (۱۳۹۸) بیان داشته که شکافتن مسیر راه‌آهن در چندین نقطه در محدوده آق‌قلا در کاهش ارتفاع آب

جمع شده در شهر مؤثر بوده است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در سیل فروردین ۱۳۹۸ بخش قابل توجهی از جریان سیلاب گرگانرود، از طریق این مسیر تخلیه شده است. لذا لایروبی، مسیر سازی و اصلاح تقاطع راه‌ها و راه‌آهن با این مسیر سیلابی و احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب به اراضی شمالی گمیش تپه می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در مناطق پایین دست سد و شمگیر باشد.

۵- جمع‌بندی

وقوع سیل در دشت گرگانرود و تکرار هرساله آن، یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی در این منطقه است. در این میان عدم تخلیه جریان سیلاب از رودخانه تحت تأثیر تغییرات مورفولوژی کانال و تراز آب دریای خزر عوامل مهم در سیل‌خیزی هستند. با توجه به تغییرات دائمی در تراز آب دریای خزر، فرآیندهای رودخانه‌ای و فعالیت‌های انسانی، شناسایی تغییرات رودخانه و پیش‌بینی آن بسیاری ضروری است. تحقیق حاضر در راستای این اهداف صورت گرفت و مباحث ذیل از آن نتیجه‌گیری شد.

- مدل تلفیقی CA مارکوف، قابلیت مناسبی از نظر دقت و صحت در پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه گرگانرود نشان داد.

- بیشترین احتمال تغییرات در منطقه مورد مطالعه در واحدهای رودخانه، دشت و تأسیسات ساخت انسان پیرامون دریاچه سد و شمگیر، از اراضی روستا قزاقلی تا سد وجود دارد. روند این تغییرات در این نواحی به گونه‌ای خواهد بود که اراضی جنوبی پیرامون رودخانه دستخوش فرآیندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و سیل‌گیری خواهند شد. در مقابل اراضی شمالی غالباً تحت روند رسوبگذاری قرار خواهند داشت.

- با توجه به شیب هیدرولیکی بسیار کم گرگانرود در نواحی پایین دست سد و شمگیر، عدم تخلیه سیلاب و ایجاد جریان دبی معکوس، یکی از پدیده‌های مهم در بالا آمدن تراز رودخانه و طغیان آب به اراضی پیرامون آن می‌باشد. در سیل فروردین ۱۳۹۸، عمق نفوذ این پدیده تا محدوده بین سلاق یلقی و آق‌قلا (ارتفاع حدود ۱۳- متر) بوده و موجب تداخل سیلاب گرگانرود و سرشاخه‌های قره‌سو شده است. لذا در صورت افزایش تراز آب دریای خزر، این مخاطره به اراضی با تراز ارتفاعی بالاتر نیز اثرگذار خواهد بود.

- براساس نتایج پهنه‌بندی سیل فروردین ۱۳۹۸، جریان آب علاوه بر کانال گرگانرود از طریق قره‌سو در جنوب و مسیر کانال‌های متروک گرگانرود در شمال آن تخلیه طبیعی شده است. انجام پژوهش‌های تخصصی در زمینه مهندسی رودخانه و سازه‌های حفاظتی مرتبط در قالب دیوار ساحلی و افزایش تراز ارتفاع کرانه‌های بین سرشاخه‌های گرگانرود و قره‌سو می‌تواند از تداخل جریان در آن‌ها جلوگیری نموده و نقش قابل توجهی در کاهش مخاطره سیل‌گیری اراضی پیرامون قره‌سو داشته باشد. همچنین احداث کانال اضطراری تخلیه سیلاب از مسیر کانال‌های متروک

گرگانرود که از اراضی شمال آق‌قلا و سیمین شهر عبور می‌کند، می‌تواند یک راهکار دائمی برای کنترل سیل در این مناطق باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاران گروه مهندسی رودخانه و سواحل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای تحقیق قدردانی می‌گردد. این پژوهش برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی پیش‌بینی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه‌های مناطق ساحلی شمال کشور با کد ۹۷۰۵۳۵-۲۹-۲۹-۰۲۳-۰ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد.

کتابنامه

- بیت الهی، علی؛ ۱۳۹۸. گزارش سیل گلستان، ۲۸-۱۲-۱۳۹۷. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ص ۴۲.
<http://sapla.ir/Pdfs/HazardReportsPdfs/>
- قاسمی، محمدرضا؛ محمدخانی، حسین؛ یداله‌ی، عطا؛ ۱۳۸۶. چینه‌شناسی و زمین‌شناسی کواترنری دشت هیرکان (دشت گرگان). بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. تهران. <https://civilica.com/doc/40131>
- کاردان، نازیلا؛ حسن‌زاده، یوسف؛ ارزنلو، ابوالفضل؛ ۱۳۹۶. شبیه‌سازی دوبعدی جریان‌های سیلابی شهری با مدل (CCHE2D) مطالعه موردی: شهر آق‌قلا. دریا فنون. سال چهارم. ۲۵-۳۶.
http://ijmt.iranjournals.ir/article_30604.html
- گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد؛ ۱۴۰۰. تعیین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۴۰. DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.67016.0>
- مزیدی، مریم؛ خوش‌روش، مجتبی؛ ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی سیل در حوضه گرگانرود با استفاده از آنالیز مرتبه اول هیدرولوژیک بارش-رواناب. پژوهش‌های کاربردی علوم آب. ۲(۲) ۳۵-۴۴.
<https://www.virascience.com/paper/>
- مصطفایی، جمال؛ غریب‌رضا، محمدرضا؛ گرشاسبی، پرویز؛ صالح‌پور جم، امین؛ ۱۳۹۹. نشریه فنی: گزارش بازدید سیل و آب‌گرفتگی‌های نوروز ۱۳۹۸ استان گلستان. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ص ۳۴.
- معصومی، حمیدرضا؛ حبیبی، علیرضا، غریب‌رضا، محمدرضا؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی مورفولوژی رودخانه‌ها و سیلاب منطقه دشتیاری برای ۲۰۳۰. مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۱۳. شماره ۳. ۸۴۹-۸۳۸.
[10.22092/IJWMSE.2021.352118.1842](https://www.ijwmse.com/10.22092/IJWMSE.2021.352118.1842)
- معصومی، حمیدرضا؛ حبیبی، علیرضا، قدرتی، علیرضا؛ ۱۴۰۰. مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر در تغییرات مسیر جریان رودخانه سفیدرود برای پیش‌بینی افق ۲۰۳۰. جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۰. شماره ۱. ۸۱-۹۷.
[10.22067/GEOEH.2021.68445.1012](https://www.gioeh.com/10.22067/GEOEH.2021.68445.1012)

یوسفی، عبدالرضا؛ ۱۳۸۴. فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز استان گلستان. انتشارات امور آب استان گلستان. ص ۷۳.

- Medel, I. D., Stubblefield, A. P., Sheam C., 2020. Sedimentation and erosion patterns within anabranching channels in a lowland river restoration project. *International Journal of River Basin Management*, DOI: [10.1080/15715124.2020.1809435](https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1809435)
- Mirzaeizadeh, V, Niknwzhad, M., Ouladi, J., 2015. Evaluating non-parametric supervised classification algorithms in land cover map using LandSat-8 Images. *Journal of RS and GIS for natural resources*, Vol. 6, No. 3, 29-44. [https:// girs.iaubushehr.ac.ir/ article_516794.html? lang=en](https://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516794.html?lang=en)
- Mondal S, Sharma N, Kappas M, Garg P K., 2020. Cellular automata (CA) contiguity filters impacts on CA Markov modelling of land use land cover change predictions results. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLIII, B3, 1585–1591. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B3-2020>
- Morais ES, Rocha P C, and Hooke., J. 2016. Spatiotemporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil, *Geomorphology*, 273:348-360. [10.1016/j.geomorph.2016.07.026](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.026)
- Muller M R., Middleton J., 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, and Canada. *Landscape Ecology*, 9, 151-157. [https:// link.springer.com/ article/10.1007/BF00124382](https://link.springer.com/article/10.1007/BF00124382)
- Pal M, Mather P M., 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (5), 1007-1011. [doi.org/ 10.1080/ 014311605 12331314083](https://doi.org/10.1080/01431160512331314083)
- Sang L, Zhang C, Yang J, Zhu D, Yun W., 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 10, 883-848. DOI: [2002022/j.mcm.10200220028](https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.12.028).
- Subedi P, Subedi K, Thapa B., 2013. Application of a Hybrid Cellular Automation Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 16, 126-132. DOI: [10.12691/aees-1-6-5](https://doi.org/10.12691/aees-1-6-5)
- Zhang F, Tiyp T, Feng ZD, Kung H-T, Johnson V C, Ding JL, Tashpolat N, Sawut M, Gui DW., 2015. Spatio-temporal patterns of land use/cover changes over the past 20 years in the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. *Land Degradation and Development*, 26,284- 29. [https:// onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2206](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2206)



The Role of Landform Evolution in the Changes of Pedosphere Carbon Dynamic

Amir Mohseni^a, Neda Mohseni^{b*}, Alireza Karimi^c

^a Postgraduate Researcher in Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b Associate Professor in Morphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^c Professor in Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 12 May 2022

Revised: 14 June 2022

Accepted: 16 July 2022

Abstract

The formation and evolution of the alluvial fans is drastically affected by climate changes. These landforms play an important role in the exchange of carbon between the atmosphere and pedosphere. The aim of this study was to evaluate the way that the evolution of alluvial fan ages can affect soil carbon dynamics. This study measured factors controlling the C mineralization ratio and carbon dioxide flux within the soil environments belonging to different alluvial fan ages (including young fans, intermediate fans, and old fans) located at the base of the Aladagh Mountain hillslope. The intermediate alluvial fans exhibited more stable environments compared with other fans. Furthermore, the position of the intermediate fans on lowlands of the old fans increased the organic carbon concentration, exchangeable cations, and fine fraction. On the other hand, the lower transport capacity of the erosion processes decreased lower micro-aggregate losses in comparison with other fans. As a result, the organic carbon contained in the micro-aggregates is inaccessible to microbial decomposition over long-term timescale. The old fans exhibited a significant decrease of clay fraction, which could be due to their positions on uplands and their susceptibility to gully erosion processes, causing the transportation of a larger amount of OC-rich topsoil. This condition degrades soil structure and weakens aggregate stability within the old fans, encouraging more vulnerability of organic carbon to microbial decomposition. The geomorphological differences of the alluvial fan surfaces in different ages stimulated the variation of soil carbon dynamics.

Keywords: Climate Change, Landform, Geomorphology, Carbon Dioxide, Soil

*. Corresponding author: Neda Mohseni E-mail: nedamohseni@um.ac.ir Tel: +989112916943

How to cite this Article: Mohseni, A., Mohseni, N., & Karimi, A. (2022). The role of landform evolution in changes of pedosphere carbon dynamic. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 85-100. DOI:10.22067/geoeh.2022.76655.1225



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76655.1225>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۸۵-۱۰۰

مقاله پژوهشی

اثرات تحول سنی لندفرم‌ها بر دینامیک کربن پدوسفر (مطالعه موردی: دامنه‌های آلاداغ- شمال شرقی ایران)

امیر محسنی - پژوهشگر پسادکتری علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

ندا محسنی^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علیرضا کریمی - استاد علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۲۵

چکیده

در این پژوهش فاکتورهای مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن و نسبت معدنی شدن در ۱۲ مخروط افکنه در دامنه‌های جنوبی آلاداغ با سنین نسبی جدید، میانه و قدیمی اندازه‌گیری شد. گسترش فرسایش گالی در مخروط افکنه‌های قدیمی‌تر منجر به انتقال حجم وسیعی از لایه‌های سطحی غنی از کربن آلی و لایه‌های عمقی خاک شده است. این رخداد با تقویت شکستن خاکدانه‌ها و کمپلکس‌های معدنی-آلی، افزایش حساسیت کربن آلی خاک نسبت به معدنی شدن میکروبی را به دنبال داشته است. درحالی‌که مخروط افکنه‌های جوان در مقایسه با مخروط‌های فعال و قدیمی‌تر محیط نسبتاً پایدارتری را به معرض نمایش گذاشته‌اند. شکل‌گیری این مخروط‌ها در قاعده مخروط افکنه‌های قدیمی منجر به افزایش تجمع رسوبات ریزدانه، کاتیون‌های قابل تبادل و کربن آلی حمل شده از سطوح مخروط‌های قدیمی شده است. از سوی دیگر، ظرفیت جابجایی کمتر فرایندهای فرسایشی در این محیط‌ها با توجه به موقعیت قرارگیری‌شان، محیطی پایدار برای ترکیب ذرات ناپایدار کربن آلی با رسوبات ریزدانه و کاتیون‌های قابل تبادل فراهم می‌آورد. این مکانیزم منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها در این محیط‌ها شده که به‌نوبه خود حساسیت پذیری کربن آلی نسبت به تنفس میکروبی را کاهش می‌دهد؛ بنابراین علی‌رغم اینکه مؤلفه‌های ناپایدار

Email: nedamohseni@um.ac.ir

انویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۹۱۶۹۴۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

محسنی، امیر، محسنی، ندا، کریمی، علیرضا. (۱۴۰۱). اثرات تحول سنی لندفرم‌ها بر دینامیک کربن پدوسفر (مطالعه موردی:

دامنه‌های آلاداغ- شمال شرقی ایران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳). صص ۸۵-۱۰۰

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76655.1225>

کربن آلی و متعاقباً تنفس میکروبی در این محیط‌ها نسبت به سایر مخروط‌ها بسیار زیاد بوده است، نرخ معدنی شدن به دلیل حفاظت کربن آلی خاک بسیار پائین‌تر از سایر لندفرم‌ها بوده است. تفاوت‌های ژئومورفولوژیک مخروط افکنه‌هایی با سنین مختلف منجر می‌شود این لندفرم‌ها شرایط ناپایداری را در نرخ تبادل کربن از پدوسفر به اتمسفر به نمایش بگذارند.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، لندفرم، ژئومورفولوژی، دی‌اکسید کربن، خاک.

۱- مقدمه

اثرات تغییرات اقلیمی دوره‌های هولوسن و پلیستوسن کواترنر بر رسوبات مخروط افکنه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک در دنیا توجهات زیادی را به خود معطوف کرده است. مطالعات متعدد به تشریح انواع مدل‌ها از ارتباط بین تغییر اقلیم و سیکل رسوبات مخروط افکنه‌ها پرداخته‌اند. برخی از مدل‌ها نشان داده‌اند شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها به‌طور گسترده‌ای در طول پلیستوسن اخیر اتفاق افتاده است، زمانی که شرایط اقلیمی بسیار مرطوب‌تر از زمان حاضر بوده است (ملتون^۱، ۱۹۶۵؛ پونتی^۲، ۱۹۸۵). این مدل‌ها نشان می‌دهند اقلیم‌های مرطوب‌تر با افزایش تخلیه بار رسوبی رودخانه‌ها زمینه شکل‌گیری محیط‌های تراکمی مخروط افکنه‌ها را فراهم ساخته‌اند. مدل‌های دیگر در این زمینه نشان داده‌اند سیکل نهشته‌گذاری مخروط افکنه‌ها به‌طور گسترده‌ای در نتیجه توالی پاسخ‌های ژئومورفیک به تغییرات زمانی در اقلیم و پوشش گیاهی در دوره گذار پلیستوسن-هولوسن اتفاق افتاده است. بر اساس این مدل، سیکل رسوب‌گذاری مخروط افکنه‌ها در مرحله گذر از دوره‌های مرطوب‌تر به دوره‌های نسبتاً خشک‌تر مشخص می‌شود، زمانی که کاهش در رطوبت مؤثر خاک منجر به تلفات پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی و دامنه‌ای شده و در نتیجه زمینه افزایش بار رسوبی و جریانات سطحی از شیب‌های فاقد پوشش به سمت حوضه‌های پدیمت را فراهم ساخته‌اند. هرچند نقش تغییر اقلیم در شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها محرز است، سؤالی که مطرح می‌شود این است که فاکتورهای ژئومورفیک در مقایسه با اقلیم چه نقشی در شکل‌گیری و تحول مخروط افکنه‌ها دارند؟ فاکتورهایی نظیر پایداری تکتونیک، ارتفاع کوهستان، اندازه حوضه آبریز و ساختار لیتولوژیک آن می‌توانند اثرات قابل توجهی بر فرایندهای رسوب‌گذاری مخروط افکنه‌ها داشته باشند. از میان فاکتورهایی که عملکرد فرایندهای رسوبی و فرسایشی را بر سطوح مخروط افکنه‌ها کنترل می‌کنند، فاکتور زمان و متعاقباً نقش تحولات سنی این لندفرم‌ها بسیار حائز اهمیت است.

در این پژوهشی سعی بر آن است ارتباط مخروط افکنه‌ها و تغییرات اقلیمی از زاویه دیگری نشان داده شود. شکل‌گیری و تحول این لندفرم‌ها نه تنها بشدت متأثر از تغییرات اقلیمی است، بلکه این لندفرم‌های تیپیک ژئومورفیک

1 Melton

2 Ponti

می‌توانند در گذر زمان به‌طور غیر مستقیم به تغییرات اقلیمی دامن زنند. نقش مخروط افکنه در تغییرات اقلیمی از طریق دخالت این لندفرم‌ها در چرخه دینامیک کربن و در نتیجه تبادل کربن بین پدوسفر و اتمسفر محرز است. به دلیل عملکرد انواع متفاوتی از فرایندهای ژئومورفیک مانند انواع زمین‌لغزش‌ها و فرایندهای سیلابی، مخروط افکنه‌ها از مهم‌ترین لندفرم‌های ناپایدار شناخته می‌شوند. در طول بارش‌های سنگین، بخصوص بعد از فرایندهای شدید سیلابی، رسوبات با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت توسط جریان‌ات در امتداد این لندفرم‌ها حمل می‌شوند. فارغ از این ویژگی‌ها، یکی از مشخصه‌های بارز این محیط‌ها که به‌طور بالقوه بر عملکرد فرایندهای دخیل در دینامیک کربن می‌تواند مؤثر باشد، تحول سنی این محیط‌ها است. زمان از مهم‌ترین دلایل ناپایداری این لندفرم‌ها می‌باشد. عاملی که می‌تواند شدت روند دینامیک کربن را ناپایدار و بعضاً غیرقابل پیش‌بینی نماید. تحول سنی مخروط افکنه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده عملکرد فرایندهای فرسایشی و رسوبی در این محیط‌ها می‌باشد. مخروط‌هایی با سنین مختلف تفاوت‌های مشهودی از لحاظ نوع و عملکرد فرایندهای ژئومورفیک نشان می‌دهند. برای مثال تقریباً تمام بخش‌های مخروط‌های جوان و فعال در معرض فرایندهای سیلابی و نهشته‌گذاری قرار دارند (بهرامی و قهرمان، ۲۰۱۹). مسیرهای جریان و مرز کانال‌های موجود در مخروط افکنه‌ها به‌شدت ناپایدار بوده، به‌طوری‌که همه بخش‌های یک مخروط افکنه به یک میزان مستعد به فرایندهای سیلابی یا نهشته‌گذاری نمی‌باشند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ایمنی و همکاران، ۱۳۹۹). برای مثال مخروط‌های قدیمی یا اصطلاحاً غیرفعال تقریباً به‌دوراز فرایندهای سیلابی هستند (فیلد^۲، ۲۰۰۱). سایر فرایندها مانند فرایندهای هوازدگی، عوارضی مانند ورنی بیابان، سنگفرش‌های بیابانی و در نتیجه نرخ توسعه و تکامل خاک تفاوت‌های بارزی را بین مخروط افکنه‌هایی با سنین متفاوت به نمایش می‌گذارند (رگمی و راسموسن^۳، ۲۰۱۸؛ دیکرسون و همکاران^۴، ۲۰۱۵). افزایش بازه زمانی فعالیت‌های سیلابی در مخروط افکنه‌های بسیار قدیمی، شکل‌گیری و توسعه فرسایش گالی در این محیط‌ها را در مقایسه با مخروط‌های جوان‌تر به دنبال دارد. توسعه چنین اشکالی منجر به مورفولوژی ناهموار و منقطع مخروط‌های قدیمی در مقایسه با مخروط‌های جدید می‌شود.

مطالعات بسیاری درباره نقش فرایندهای فرسایشی-تراکمی و دینامیک کربن خاک انجام شده است. اکسیائو و همکاران^۵ (۲۰۱۸) در تحقیقی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که چگونه حذف کربن آلی از موقعیت‌های فرسایشی چشم‌اندازها می‌تواند منجر به ظهور یک محیط رسوبی غنی از کربن آلی در موقعیت‌های رسوب‌گذاری شود. همچنین مطالعات بسیاری در رابطه با نقش فرایندهای فرسایش خاک در سیکل کربن آلی پدوسفر انجام شده است.

1 Bahrami & Ghahraman

2 Field

3 Regmi & Rasmussen

4 Dickerson

5 Xiao

(اسمیت و همکاران^۱، ۲۰۰۱؛ نادیثو و همکاران^۲، ۲۰۱۵؛ ون هملریک و همکاران^۳، ۲۰۱۰). اکثریت این مطالعات اثرات بازتوزیع خاک را بر دینامیک کربن پدوسفر در موقعیت‌های فرسایشی و رسوبی امتداد یک چشم‌اندازهای دامنه‌ای یا در مقیاس‌های وسیع‌تر بررسی کرده‌اند. با این وجود، نقش تحول لندفرم‌ها در ناپایداری دینامیک کربن پدوسفر کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر فارغ از اثرات موقعیت‌های فرسایشی و رسوبی چشم‌اندازها بر دینامیک کربن خاک، به این موضوع پرداخته شده است که چگونه تحول سنی مخروط افکنه‌ها در گذر زمان می‌تواند پاسخ این محیط‌ها به فرایندهای بیوشیمیایی دخیل در دینامیک کربن را تغییر دهد؟ در این پژوهش سعی شده است تا به این سؤالات پاسخ داده شود: آیا تحول سنی مخروط افکنه‌ها، می‌تواند عملکرد دینامیک کربن خاک را در این لندفرم‌ها تحت تأثیر قرار دهد؟ تحول سنی این محیط‌ها چگونه منجر به ناپایداری فرایندهای بیوشیمیایی دخیل در انتشار یا ذخیره کربن خاک می‌شود؟

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و طرح نمونه‌برداری

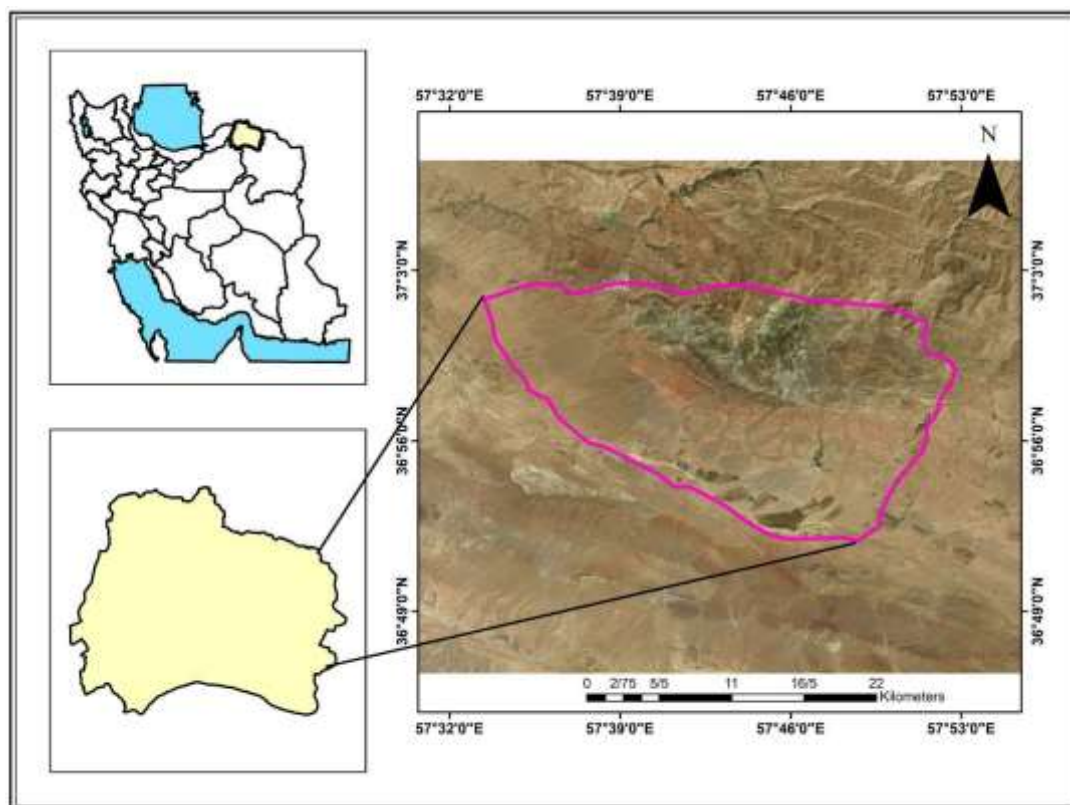
با توجه به اهداف تحقیق، ۱۲ مخروط افکنه با سنین نسبی مختلف در دامنه‌های جنوبی آلاداغ انتخاب شد (شکل ۱). این ارتفاعات در حدفاصل کوه‌های بینالود و البرز شرقی در محدوده استان خراسان شمالی قرار دارد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، دامنه‌های شمالی رشته‌کوه‌های آلاداغ، همچنین دشت‌های جاجرم و اسفراین و رودخانه‌های کال شور و قره‌سو به ترتیب از شمال و جنوب به منطقه مورد مطالعه مشرف می‌باشند. شرایط ارتفاعی حوضه آبریز، نوع اقلیم حاکم بر منطقه، شرایط توپوگرافی و ویژگی‌های زمین‌شناسی شامل سازندهای آبرفتی و گسل‌های فعال، منجر شده که مخروط افکنه‌های واقع در دشت‌سرهای این حوضه بسیار مستعد به فرسایش آبی و فرایندهای سیلابی باشند. برای طرح نمونه‌برداری، ۱۲ مخروط افکنه با سنین نسبی مختلف شامل مخروط افکنه‌های جدید و فعال، مخروط افکنه‌های قدیمی و مخروط افکنه‌های میانه انتخاب شدند (برای هر مخروط ۴ تکرار). با توجه به هدف اصلی این پژوهش، برای اینکه فقط نقش تحول سنی مخروط‌ها در نظر گرفته شود، نمونه‌برداری از هر مخروط در سطوح شیب یکسان انجام شد. برای تشخیص و تفکیک سطوح مخروط افکنه‌ها از لحاظ سن نسبی، مطالعات میدانی و همچنین پایش مخروط افکنه‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث انجام شد. در مجموع با استفاده از شاخص‌هایی مانند الگوی زهکشی، میزان نسبی هوازدگی، مورفولوژی سطحی و میزان روشنایی سطوح مختلف سن نسبی مخروط‌های مختلف شناسایی شد (شکل ۲). به منظور اجتناب از ناهمگنی در نقاط نمونه‌برداری خاک، برای همه مخروط‌ها فرایند

1 Smith

2 Nadeu

3 Van Hemelryck

نمونه‌برداری در شیب بین ۵ تا ۷ درجه انجام شد. در هر مخروط با استفاده از ۵ پلات ۲*۲ متر، ۲۰ نمونه خاک (از هر پلات ۴ تکرار) از عمق ۰-۳۰ سانتی متری برداشت شد (درمجموع ۸۰ تکرار برای مخروط‌هایی با سن مشخص).



شکل ۱. موقعیت مخروط افکنه‌های مورد مطالعه در استان خراسان شمالی

۲-۲- آنالیزهای آزمایشگاهی و آماری

با استفاده از روش تله قلیائی، تنفس میکروبی (به عنوان شاخصی برای اندازه گیری انتشار دی اکسید کربن) اندازه گیری شد (رابی و همکاران^۱، ۲۰۱۴). برای اندازه گیری این فاکتور، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و در شرایط رطوبتی ۷۰٪ به مدت ۷ روز خوابانیده شدند. سپس ۵۰ گرم از هر نمونه خاک در شیشه‌های ۱۰۰۰ میلی لیتری قرار داده شده و ویال‌های ۱۵ میلی لیتری حاوی ۱۰ میلی لیتر محلول NaOH ۰/۱ مولار درون شیشه‌ها برای جذب دی اکسید کربن متصاعد شده از نمونه‌های خاک قرار داده شد. همه نمونه‌ها در فضای تاریک در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برای ۲ روز نگهداری شدند. در نهایت نسبت معدنی شدن کربن با تقسیم دی اکسید کربن متصاعد شده بر

مقدار کربن آلی خاک محاسبه و تعیین گردید. کربن زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین با کلروفورم اندازه‌گیری شد (ونس و همکاران^۱، ۱۹۸۷). در این روش از کلروفورم فاقد الکترولیت برای تدخین نمونه‌ها استفاده شد. فرایند عصاره‌گیری از نمونه‌های تدخین شده و نمونه‌های شاهد (بدون تدخین) در دسیکاتور و با ۲۰ میلی‌لیتر K_2SO_4 ۰/۵ مولار انجام شد. پس از عصاره‌گیری از نمونه‌های خاک مقدار ۲ میلی‌لیتر دی‌کرومات پتاسیم و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به ۴ میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده اضافه گردید. سپس ۰/۳ میلی‌لیتر محلول شناساگر حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر، یک گرم دی‌فنیل آمین و ۲۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک اضافه شد. در نهایت با فروآمونیم سولفات، تیتراسیون نمونه‌ها صورت گرفت و مقدار کربن زیتوده میکروبی کربن بر اساس تفاضل کربن مستخرج از نمونه تدخین شده و نمونه شاهد بر مبنای میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد.

توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش الک خشک به مدت ۳ دقیقه و هیدرومتر اندازه‌گیری شد (گی و ارا، ۲۰۰۲). شاخص‌های پایداری خاکدانه شامل میانگین وزنی ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات با استفاده از روش الک تر اندازه‌گیری شد (کمپر و رزنا، ۱۹۸۶) نمونه‌های خاک دست‌نخورده روی الک‌های ۲ و ۰/۲ میلی‌متری قرار داده شده و سپس به آرامی در آب معلق خواهند شد. با استفاده از شیکر (۹۰ ویر در هر دقیقه برای ۱۰ ثانیه) ذرات از یکدیگر جدا خواهند شد. نمونه‌های ۲۰-۲۰۰ میکرون برای یک دقیقه در $400 \times g$ سانتریفیوژ شد. ذرات ۲-۲۰ میکرون و کوچک‌تر از ۲ میکرون به ترتیب در $2,000 \times g$ و $10,000 \times g$ سانتریفیوژ شد. برای جداسازی نمونه‌ها به کلاس‌های ۲۰-۶۳ میکرون و بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون، الک‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر انتخاب گردید. میانگین هندسی قطر ذرات و میانگین وزنی ذرات خاک با معادلات زیر محاسبه شد:

میانگین وزنی ذرات:

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i$$

میانگین هندسی ذرات:

$$\exp [(\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i) / (\sum_{i=1}^n w_i)]$$

جایی که w_i به ترتیب، میانگین قطر هر کلاس سائز (میلی‌متر)، درصد هر کلاس سائز و وزن هر کلاس سائز هستند.

وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها با استفاده از روش بلیک و هارتج^۱ (۱۹۸۶) بر اساس تقسیم وزن خاک آون خشک بر حجم خاک اندازه‌گیری شد. میزان کاتیون‌های قابل تبادل شامل Ca^+ , Mg^+ , K^+ با استفاده از روش دیوید^۲ (۱۹۶۰) اندازه‌گیری شد. اسیدیته خاک در گل اشباع و با استفاده از دستگاه pH متر مدل Milwaukee MW150 MAX اندازه‌گیری گردید (توماس، ۱۹۹۶).

مقادیر کربن آلی محلول خاک در نمونه‌های عصاره‌گیری شده با نسبت ۱:۲ خاک به آب و توسط دستگاه کربن آنالایزر (TOC-VCPH, Shimadzu)^۳ اندازه‌گیری شد (کر و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین نیتروژن کل خاک نیز با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری گردید (برمنر^۴، ۱۹۹۶).

۲-۳- تجزیه آماری

در مرحله اول، برای فهم اینکه چگونه تحول سنی مخروط‌ها و تغییرات ژئومورفولوژیک آن‌ها در طول زمان فرایندهای کنترل کننده دینامیک انتشار یا ذخیره کربن را متأثر می‌سازد، نرخ تغییرپذیری انتشار دی‌اکسید کربن خاک، نسبت معدنی شدن کربن و فاکتورهای ادافیک مؤثر بر آن بین مخروط‌های مختلف با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون‌های تکمیلی مقایسه شد. بعد از تعیین تفاوت‌های آماری معنی‌دار در نرخ انتشار دی‌اکسید کربن، نسبت معدنی شدن کربن و متغیرهای مرتبط بین مخروط‌هایی با سنین مختلف، به‌منظور تبیین فرایندهای بیوشیمیایی کنترل کننده دینامیک کربن خاک در مخروط‌افکنه‌های متفاوت مدل رگرسیون چند متغیره اعمال شد. هدف از اجرای این مدل پاسخ به این سؤال بود که تحول سنی مخروط‌ها و اثراتشان بر ژئومورفولوژی این لندفرم‌ها چرا و چگونه دینامیک کربن را در این محیط‌ها ناپایدار می‌کند؟ نتایج این مدل در فهم بهتر فاکتورهای احتمالی کنترل کننده سطح انتشار یا ذخیره دی‌اکسید کربن و فهم دلایل تفاوت‌های احتمالی در فرایندهای عملکردی کمک می‌نماید.

1 Blake and Hartge

2 David

3 Total Organic Carbon Analyzer

4 Bremner



شکل ۲. تصاویری از شکل‌گیری سنگفرش بیابان بر سطوح مخروط افکنه‌های قدیمی (سمت چپ) و نمایی از مخروط افکنه‌های جوان و فعال با انباشتی از واریزه‌های سیلابی (سمت راست) در منطقه مورد مطالعه.

۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیزهای آماری نشان دهنده وجود تفاوت‌های معنی‌دار از لحاظ نرخ انتشار دی‌اکسید کربن، نسبت معدنی شدن کربن و فاکتورهای ادافیک مرتبط در سطوح مخروط افکنه‌هایی با تحولات سنی مختلف می‌باشد. همچنان که در شکل ۳ نشان داده شده است، محیط خاک مخروط افکنه‌هایی با سنین نسبی میانه کمترین میزان وزن مخصوص ظاهری را نشان داده‌اند. درحالی‌که این فاکتور مقادیر بالاتری را در مخروط‌های بسیار جوان و مخروط‌های قدیمی‌تر نشان می‌دهد. از لحاظ توزیع اندازه ذرات، بیشترین مقادیر ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون به ترتیب در مخروط‌هایی با سنین میانه و جدید دیده می‌شود. مخروط‌های قدیمی کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون را نشان داده‌اند. همچنین از میان توزیع ذراتی با اندازه‌های مختلف، بیشترین مقدار ذرات بزرگ‌تر از ۲۰ میکرون در مخروط‌های جوان و فعال و کمترین مقدار این فاکتور در مخروط‌های میانه مشاهده شد. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها مقادیر

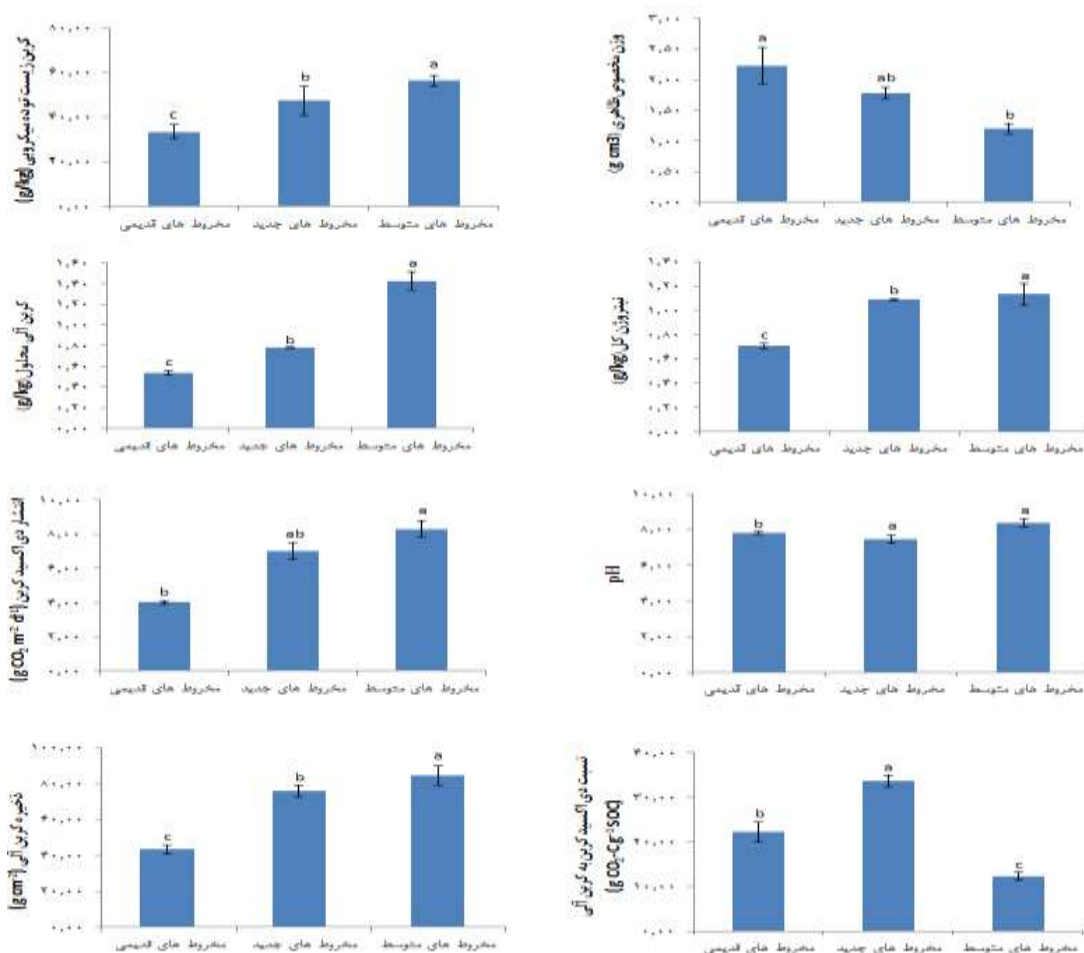
بالاتری را در مخروط‌های میانه در مقایسه با سایر مخروط افکنه‌ها نشان داده است. این در حالی است که خاک مخروط افکنه‌های قدیمی‌تر کمترین نرخ پایداری را نشان داده‌اند. از میان فاکتورهای بیوشیمیایی، بیشترین مقادیر کربن آلی کل، کربن آلی محلول، نیتروژن کل، کربن زیست‌توده میکروبی در محیط خاک سطوح مخروط افکنه‌های میانه مشاهده شد. در حالی که خاک‌های تشکیل دهنده سطوح مخروط‌های قدیمی‌تر کمترین سطح از این فاکتورها را در مقایسه با مخروط‌های جوان‌تر نشان داده‌اند. با افزایش سن مخروط افکنه‌ها تجمع کاتیون‌های قابل تبادل کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بیشترین تجمع کاتیون‌ها در مخروط‌هایی با سن نسبی میانه مشاهده می‌شود. همچنین بالاترین مقادیر ذخیره کربن معدنی به ترتیب در سطوح قدیمی و جدید مخروط افکنه‌ها مشاهده شد. در مخروط‌هایی با سنین میانه و مخروط‌های بسیار جدید نرخ تنفس میکروبی افزایش معنی‌داری را در مقایسه با سطوح قدیمی‌تر مخروط افکنه‌ها نشان داده است. این در حالی است که نسبت معدنی شدن فقط در مخروط‌هایی با سنین میانه کاهش چشم‌گیری را از لحاظ آماری در مقایسه با سایر مخروط‌ها نشان داده است. نتایج مدل رگرسیون به‌خوبی می‌تواند نقش تحولات سنی مخروط افکنه‌ها را در تغییرپذیری مکانیزم‌های بیوشیمیایی مؤثر بر انتشار یا ذخیره کربن در مخروط‌هایی با سنین مختلف توضیح دهد. همچنان‌که در **جدول ۱** مشاهده می‌شود متغیرهای فیزیکی و شیمیایی کنترل‌کننده نسبت معدنی شدن، تفاوت‌های قابل توجهی را بین محیط‌های مختلف نشان داده است. در مخروط افکنه‌هایی با سنین میانه عمده‌ترین فاکتورهای مؤثر بر نرخ معدنی شدن کربن، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، کربن آلی محلول و کربن زیست‌توده میکروبی بوده است. این فاکتورها ارتباط منفی معنی‌داری را با نسبت معدنی شدن در این مخروط‌ها نشان داده‌اند. در مورد مخروط‌های قدیمی‌تر، کربن آلی کل، کربن آلی محلول، pH و تنفس میکروبی ارتباط مثبت معنی‌داری را با نرخ معدنی شدن کربن در این محیط‌ها نشان داده‌اند. نرخ معدنی شدن کربن در سطوح جدید و فعال مخروط افکنه‌ها، ارتباط مثبت معنی‌داری را با کربن آلی محلول، کربن معدنی، نیتروژن کل و تنفس میکروبی نشان داده است.

علیرغم مطالعات گسترده درباره اثرات تحول مخروط‌ها و فرایندهای عملکردی در این محیط‌های ناپایدار بر تغییرپذیری ژئومورفولوژی و ویژگی‌های خاک (**بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷**؛ ویلیامز و همکاران^۱، ۲۰۱۳؛ **دیکرسون و همکاران^۲، ۲۰۱۵**)، مطالعات قابل توجهی در ارتباط با اینکه چرا و چگونه تحول سنی مخروط افکنه‌ها در طول زمان می‌تواند منجر به ناپایداری دینامیک کربن خاک در این محیط‌ها شوند، انجام نشده است. هرچند مخروط افکنه‌ها از لحاظ ژئومورفیک لندفرم‌هایی تراکمی شناخته می‌شود (**مددی و همکاران، ۱۳۹۵**؛ **جعفری و محمدی، ۱۳۹۸**) با این وجود، ماهیت فرایندها در گذر زمان در این محیط‌ها بشدت وابسته به زمان است. به همین دلیل این لندفرم‌ها محیطی بشدت ناپایدار را در طول زمان به نمایش می‌گذارند. یکی از مهم‌ترین پیامدهای تحول سنی مخروط‌ها

1 Williams

2 Dickerson

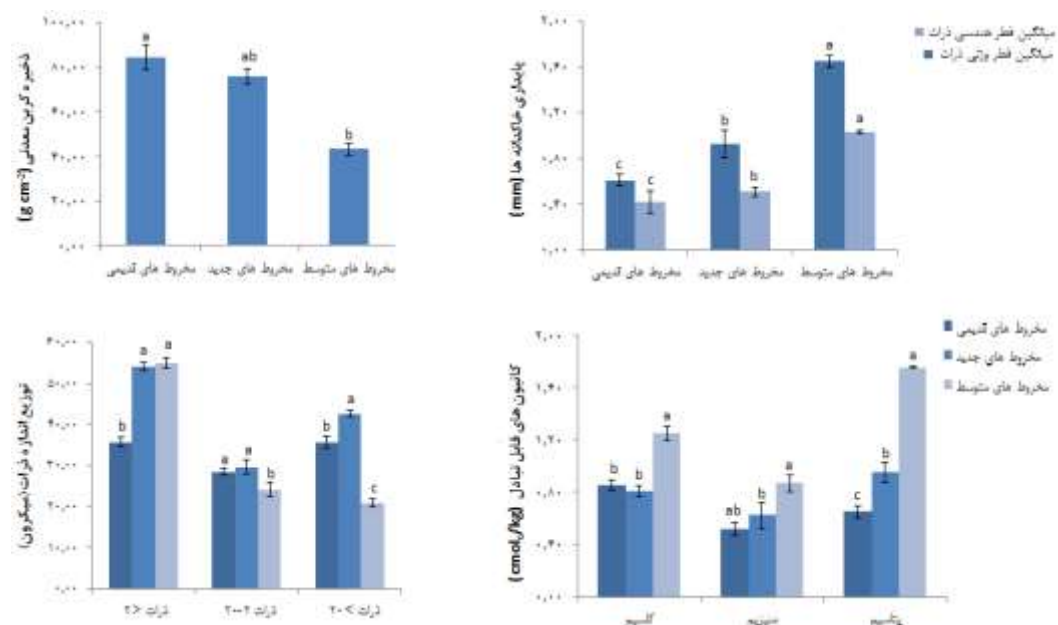
تغییرپذیری در نوع و شدت عملکرد انواع فرایندها می‌باشد. مخروط‌هایی با سنین مختلف تاریخ تحولات ژئومورفیک متفاوتی را پشت سر گذاشته‌اند. به‌طوری‌که دینامیک زمانی در مورفولوژی و ساختار این محیط‌ها بسیار اثرگذار است. تحولات سنی این لندفرم‌ها منجر به تفاوت‌های چشم‌گیر این سطوح ناپایدار از لحاظ شدت عملکرد فرایندهای هوازدگی، تفاوت در الگوی زهکشی، تفاوت در عملکرد فرایندهای تراکمی و سیلابی می‌شود (فرانکل و دولان^۱، ۲۰۰۷؛ گلن و همکاران^۲، ۲۰۰۶؛ استیلی و همکاران^۳، ۲۰۰۶). این تفاوت‌ها باعث می‌شود مخروط‌هایی با سنین مختلف تفاوت‌های بارزی از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و متعاقباً فرایندهای بیوشیمیایی کنترل‌کننده دینامیک کربن به نمایش بگذارند؛ بنابراین، این لندفرم‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در تبادل کربن بین اتمسفر و پدوسفر و تغییرات اقلیمی مرتبط ایفاء کنند.



1 Frankel & Dolan

2 Glenn

3 Staley



شکل ۳. مقایسه فاکتورهای فیزیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر سطح انتشار و نسبت معدنی شدن کربن بین مخروط افکنه‌هایی با سنین متفاوت.

بر اساس نتایج، نه تنها نرخ معدنی شدن کربن در سطوح سنی مختلف تفاوت‌های معنی‌داری را نشان داده است. بلکه مکانیزم‌ها و فرایندهای کنترل‌کننده این فاکتور که نقش مهمی در تبادل کربن بین پدوسفر و اتمسفر به عهده دارد در این محیط‌ها متفاوت بوده است. مخروط افکنه‌های فعال جدید بشدت مستعد به فرایندهای سیلابی و تراکمی هستند. وقوع سیلاب‌های ناگهانی و شدید در این مخروط‌ها منجر به افزایش شکست خاکدانه‌های درشت به ذرات ریزتر می‌شود؛ بنابراین اگرچه مقدار ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون در این محیط‌ها افزایش معنی‌داری را نشان داده است، با این حال عملکرد شدید فرایندهای فرسایش آبی، منجر به افزایش جابجایی کربن آلی از لایه‌های سطحی خاک می‌شود، بنابراین کاهش مقادیر کربن آلی باعث شده است که افزایش ذرات ریزدانه نتواند به تنهایی نقشی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها در این محیط‌ها داشته باشد. به‌طوری‌که این شرایط منجر به افزایش حساسیت کربن آلی به تنفس میکروبی و متعاقباً افزایش نسبت معدنی شدن کربن می‌شود. در نتیجه اثرات کاهش حفاظت فیزیکی کربن آلی ناشی از کاهش پایداری خاکدانه‌ها شرایط ایده آلی را برای افزایش معدنی شدن کربن آلی فراهم ساخته است.

جدول ۱. ارتباط بین تحول سنی مخروط افکنه‌ها و دینامیک کربن خاک بر اساس نتایج مدل رگرسیون

متغیرهای پیش بین	B	SE	Beta	P-value
مخروط افکنه‌های قدیمی				
مقدار ثابت	-۲,۲۷	۰,۷۵	-	۰,۰۰
کربن آلی کل	۳,۲۴	۰,۹۵	۱,۲۵	۰,۰۳
کربن آلی محلول	۱,۰۴	۰,۷۰	۰,۶۰	۰,۰۰
pH	۰,۸۵	۰,۰۱	۱,۸۱	۰,۰۲
تنفس میکروبی	۴,۰۱	۱,۰۶	۴,۸۶	۰,۰۰
مخروط افکنه‌ها با سن نسبی میانه				
مقدار ثابت	۱,۷۰	۰,۹۲	-	۰,۰۰
پایداری خاکدانه‌ها	-۱,۴۸	۰,۸۳	-۳,۵۰	۰,۰۰
کربن آلی محلول	-۰,۵۷	۰,۰۳۶	-۰,۷۱	۰,۰۰
کربن زیست توده میکروبی	-۲,۲۶	۰,۰۷۵	-۳,۰۶	۰,۰۱
مخروط افکنه‌های جدید				
مقدار ثابت	-۴,۶۸	۰,۹۰	-	۰,۰۰
تنفس میکروبی	۲,۱۲	۰,۹۰	۱,۰۴	۰,۰۰
کربن معدنی	۰,۶۰	۰,۰۰۶	۱,۷۲	۰,۰۱
کربن آلی محلول	۱,۴۲	۰,۰۳۲	۲,۲۵	۰,۰۲
نیتروژن کل	۰,۲۳	۰,۰۰۴	۰,۰۵	۰,۰۰

مخروط افکنه‌های قدیمی به دلیل فرایندهای هوازدگی طولانی‌تر افزایش معنی‌داری در تجمع ذرات ریزدانه (۲-۲۰ میکرون) نشان داده‌اند. از سوی دیگر تکامل فرایندهای فرسایش گالی در این محیط‌ها در مقایسه با مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر بسیار مشهود است. گسترش فرسایش گالی در این محیط‌ها به دلیل فرایندهای سیلابی طولانی مدت منجر به انتقال حجم وسیعی از لایه‌های سطحی غنی از کربن آلی و لایه‌های عمقی خاک شده است. این رخداد با تقویت شکستن خاکدانه‌ها و کمپلکس‌های معدنی-آلی، افزایش حساسیت کربن آلی خاک نسبت به معدنی شدن میکروبی را به دنبال داشته است. درحالی‌که مخروط‌های جوان (با سن نسبی میانه) در مقایسه با مخروط‌های فعال جدید و قدیمی‌تر محیط نسبتاً پایداری را به معرض نمایش گذاشته‌اند. علی‌رغم اینکه مخروط‌هایی با سنین میانه مقادیر بالاتری از افزایش تنفس میکروبی را ناشی از افزایش مؤلفه‌های ناپایدار کربن آلی، یعنی کربن زیست توده میکروبی و کربن آلی محلول به نمایش گذاشته‌اند، نسبت معدنی شدن در این محیط‌ها کاهش چشم‌گیری را در مقایسه با مخروط‌های بسیار جوان و قدیمی‌تر نشان داده است. شکل‌گیری این مخروط‌ها در منطقه مورد مطالعه در قاعده مخروط‌های قدیمی بوده که منجر به افزایش تجمع رسوبات ریزدانه، کاتیون‌های

قابل تبادل و کربن آلی حمل شده از سطوح مخروط‌های قدیمی به سمت این محیط‌ها شده است. از سوی دیگر، اگرچه فرایندهای فرسایش آبی در این سطوح نیز منجر به جدا شدگی و حمل خاک‌های سطحی غنی از کربن آلی می‌شود، ظرفیت جابجایی کمتر فرایندهای فرسایشی در این محیط‌ها با توجه به موقعیت قرارگیری‌شان (قاعده مخروط‌های قدیمی)، محیط پایداری را برای کربن آلی خاک ایجاد کرده است. در مخروط‌هایی با سنین میانه افزایش یون‌های تبدلی به واسطه ایجاد پل‌های کاتیونی بین ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون و ترکیبات آلی منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها در این محیط‌ها شده که به نوبه خود حساسیت‌پذیری کربن آلی نسبت به تنفس میکروبی را کاهش می‌دهد؛ بنابراین علیرغم اینکه مؤلفه‌های ناپایدار کربن آلی و متعاقباً تنفس میکروبی در این محیط‌ها نسبت به سایر مخروط‌ها بسیار زیاد بوده است، نرخ معدنی شدن به دلیل حفاظت کربن آلی خاک ناشی از افزایش پایداری خاکدانه‌ها بسیار پائین‌تر از سایر لندفرم‌ها بوده است. اگرچه مخروط افکنه‌های مورد مطالعه همگی جزء لندفرم‌های تراکمی هستند، ولی تفاوت‌های ژئومورفولوژیک مخروط افکنه‌ها با سنین مختلف باعث می‌شود این محیط‌ها تفاوت‌های بارزی از لحاظ نرخ تبادل کربن از پدوسفر به اتمسفر را به نمایش بگذارند.

۴- جمع‌بندی

شکل‌گیری و تحول مخروط افکنه‌ها نه تنها متأثر از تغییرات اقلیمی است، بلکه این محیط‌ها می‌توانند در گذر زمان به‌طور غیرمستقیم نقش عمده‌ای در چرخه کربن اتمسفر و پدوسفر ایفاء کنند. به دلیل عملکرد انواع متفاوتی از فرایندهای ژئومورفیک مخروط افکنه‌ها محیط‌هایی بشدت ناپایدار شناخته می‌شوند که به‌طور بالقوه بر عملکرد فرایندهای دخیل در دینامیک کربن تأثیر می‌گذارند. فاکتور زمان یکی دیگر از مهم‌ترین دلایل ناپایداری این لندفرم‌ها می‌باشد. عاملی که می‌تواند بشدت روند دینامیک کربن در این محیط‌ها را ناپایدار و بعضاً غیرقابل پیش‌بینی نماید. مخروط‌هایی با سنین مختلف تفاوت‌های مشهودی از لحاظ نوع و عملکرد فرایندهای ژئومورفیک نشان می‌دهند. برای مثال تقریباً تمام بخش‌های مخروط‌های جوان و فعال در معرض فرایندهای سیلابی و نهشته‌گذاری قرار دارند. فرایندهایی نظیر هوازدهی، عوارضی مانند ورنی بیابان، سنگفرش‌های بیابانی و در نتیجه نرخ توسعه و تکامل خاک تفاوت‌های بارزی را در مخروط افکنه‌هایی با سنین متفاوت به نمایش می‌گذارند. همچنین افزایش بازه زمانی فعالیت‌های سیلابی در مخروط افکنه‌های بسیار قدیمی، شکل‌گیری و توسعه فرسایش گالی در این محیط‌ها را در مقایسه با مخروط‌های جوان‌تر به‌دنبال داشته است. علیرغم بالا بودن مقادیر شاخص‌های ناپایدار کربن آلی مانند کربن زیست توده میکروبی و کربن آلی محلول در خاک‌های موجود در مخروط‌هایی با سنین میانه، این محیط سهم کمتری از نسبت معدنی شدن را در مقایسه با سایر مخروط افکنه‌ها نشان داده‌اند. شکل‌گیری این مخروط‌ها در منطقه مورد مطالعه در قاعده مخروط‌های قدیمی منجر به افزایش تجمع رسوبات ریزدانه، کاتیون‌های قابل تبادل و کربن آلی حمل شده از سطوح مخروط‌های قدیمی به سمت این مخروط‌ها شده است؛ بنابراین کربن آلی موجود در این

خاکدانه‌های ریز برای بازه‌های زمانی بسیار طولانی غیرقابل دسترس برای معدنی شدن میکروبی می‌باشند. از سوی دیگر، ظرفیت جابجایی کمتر فرایندهای فرسایشی در این محیط‌ها با توجه به موقعیت قرارگیری‌شان در قاعده مخروط‌های قدیمی، محیطی پایدار برای ترکیب ذرات ناپایدار کربن آلی با رسوبات ریزدانه و کاتیون‌های قابل تبادل فراهم می‌آورد. این مکانیزم منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها در این محیط‌ها شده که به نوبه خود حساسیت‌پذیری کربن آلی نسبت به تنفس میکروبی را کاهش می‌دهد. برعکس مخروط افکنه‌های قدیمی به دلیل فرایندهای هوازدگی طولانی‌تر افزایش معنی‌دار تجمع ذرات ریزدانه را نشان داده‌اند. از سوی دیگر گسترش فرسایش گالی در این محیط‌ها منجر به انتقال حجم وسیعی از لایه‌های سطحی غنی از کربن آلی و لایه‌های عمقی خاک شده است. به‌طوری‌که این رخداد با تقویت شکستن خاکدانه‌ها و کمپلکس‌های معدنی-آلی، افزایش حساسیت کربن آلی خاک نسبت به معدنی شدن میکروبی را به دنبال داشته است.

قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره "۹۹۰۳۱۶۲۵" انجام شده است.

کتابنامه

ایمنی، سپیده؛ صدوق، حسن؛ بهرامی، شهرام؛ محرابیان، احمدرضا؛ نصرتی، کاظم؛ ۱۳۹۹. بررسی رابطه پراکنش جوامع گیاهی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در لندفرم‌های سطح مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های جنوب غرب میامی). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۹(۲). صص ۲۱-۴۳.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_118223.html

بهرامی، شهرام؛ بیرامعلی، فرشته؛ فیله کش، اسماعیل؛ قهرمان، کاوه؛ ۱۳۹۷. بررسی تأثیر ژئومورفولوژی در نوع و تراکم پوشش گیاهی مخروط افکنه‌های فشتنق-سبزوار. فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۱۶(۵۲). صص ۱۹۳-۲۱۰.

https://gdij.usb.ac.ir/article_4004.html

جعفری، غلام حسن؛ محمدی، هژیر؛ ۱۳۹۸. بررسی رفتار آشوبناک فرایندهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز قزل‌اوزن. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۸(۱). صص ۱-۲۳.

https://geoeh.um.ac.ir/article_32993.html

مددی، عقیل؛ مختاری، داود؛ شیرزادی، حمدیه؛ ارسلان، مهرورز؛ ۱۳۹۵. بررسی عملکرد نئوتکتونیک بر مخروط افکنه‌ها با تأکید بر توان لرزه خیزی گسل‌ها (منطقه مورد مطالعه: دامنه‌های شمال غرب سهند). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۵(۲). صص ۳۱-۴۱.

https://geoeh.um.ac.ir/article_29706.html

- Bahrami, S., & Ghahraman, K., 2019. Geomorphological controls on soil fertility of semi-arid alluvial fans: A case study of the Joghatay Mountains, Northeast Iran. *Catena*, 176, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.016>
- Blake, G.R., & Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1. Madison, WI: Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science, pp 363–375. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/gea.3340050110>
- Bremner, J. M., 1996. Nitrogen total. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis (Vol. 3). Part. (pp. 1085–1121). Madison, WI: Chemical Methods. SSSA-ASA*. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37>
- Corre M, Schnabel R, & Shaffer JA., 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biol Biochem*. 31(11):1531–1539. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00074-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00074-7)
- David, D. J., 1960. The determination of exchangeable sodium, potassium, calcium and magnesium in soils by atomic absorption spectrophotometry. *Analyst*, 85(1012), 495–503. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1960/an/an9608500495>
- Dickerson, R. P., Bierman, P. R., & Cocks, G., 2015. Alluvial fan surfaces and an age-related stability for cultural resource preservation: Nevada Test and Training Range, Nellis Air Force Base, Nevada, USA. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2, 551-568. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.05.002>
- Field, J., 2001. Channel avulsion on alluvial fans in southern Arizona. *Geomorphology*, 37(1-2), 93-104. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00064-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00064-7)
- Frankel, K. L., & Dolan, J. F., 2007. Characterizing arid region alluvial fan surface roughness with airborne laser swath mapping digital topographic data. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(F2). <https://doi.org/10.1029/2006JF000644>
- Gee, G.W., and Or, D., 2002. Particle-Size Analysis. In: Warren, A.D. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America Inc, pp 255-295. [https://www.wiley.com/en-ai/Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods pp9780891188933](https://www.wiley.com/en-ai/Methods+of+Soil+Analysis,+Part+4:+Physical+Methods+pp9780891188933)
- Glenn, N. F., Streutker, D. R., Chadwick, D. J., Thackray, G. D., & Dorsch, S. J., 2006. Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73(1-2), 131-148. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.006>
- Kemper, W.D., & Y Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Kute A, editor. *Method of soil analysis, Part-1. Physical and mineralogical methods*. Madison (WI): Soil Science Society of America, pp. 425-442. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c14>
- Melton, M.A. 1965. The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. *Journal Geology*, 73, 1–38. <https://www.jstor.org/stable/30066379>
- Nadeu, E., Gobin, A., Fiener, P., Van Wesemael, B., & Van Oost, K., 2015. Modelling the impact of agricultural management on soil carbon stocks at the regional scale: the role of lateral fluxes. *Global change biology*, 21(8), 3181-3192. <https://doi.org/10.1111/gcb.12889>
- Ponti, D.J. 1985. The Quaternary alluvial sequence of the Antelope Valley, California. *Geological Society America Special Paper*, 203, 79–96. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/books/book/339/chapter-pdf/965614/spe203-0079.pdf>
- Rabbi, S. F., Wilson, B. R., Lockwood, P. V., Daniel, H., & Young, I. M., 2014. Soil organic carbon mineralization rates in aggregates under contrasting land uses. *Geoderma*, 216, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.023>

- Regmi, N. R., & Rasmussen, C., 2018. Predictive mapping of soil-landscape relationships in the arid Southwest United States. *Catena*, 165, 473-486. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.031>
- Smith, S. V., Renwick, W. H., Buddemeier, R. W., & Crossland, C. J., 2001. Budgets of soil erosion and deposition for sediments and sedimentary organic carbon across the conterminous United States. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(3), 697-707. <https://doi.org/10.1029/2000GB001341>
- Staley, D. M., Wasklewicz, T. A., & Blaszczyński, J. S., 2006. Surficial patterns of debris flow deposition on alluvial fans in Death Valley, CA using airborne laser swath mapping data. *Geomorphology*, 74(1-4), 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.014>
- Thomas GW., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL, editor. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison (WI): SSSA; p. 475-490. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16>
- Van Hemelryck, H., Fiener, P., Van Oost, K., Govers, G., & Merckx, R., 2010. The effect of soil redistribution on soil organic carbon: an experimental study. *Biogeosciences*, 7(12), 3971-3986. <https://bg.copernicus.org/articles/7/3971/2010/>
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*, 19(6), 703-707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Xiao, H., Li, Z., Chang, X., Huang, B., Nie, X., Liu, C., ... & Jiang, J., 2018. The mineralization and sequestration of organic carbon in relation to agricultural soil erosion. *Geoderma*, 329, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.018>



Evaluation of Dust Emission Potential of Geomorphology Classes in Ilam Province with an Emphasis on Land Use Change

Majid Ahmadi Molaverdi^a, Iraj Jabbari^{b*}, Amanollah Fathnia^c

^a PhD in Geomorphology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran

^b Associate Professor, Department of Geography, Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran

^c Assistant Professor, Department of Geography, Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 21 November 2021

Revised: 18 January 2022

Accepted: 18 February 2022

Abstract

Dust entrainment, transport, and deposition are important geomorphic surface processes that have adverse environmental effects and consequences. Various natural environments are resistant to wind erosion until they lose their stability. When human activities change the stability of the geomorphic surfaces, areas prone to wind erosion and the potential for dust emission increases. This study tried to evaluate the dust emission potential of geomorphology classes in Ilam province with an emphasis on land use change. For this purpose, at first, the geomorphology map was produced based on the preferential dust sources (PDS) geomorphic classification scheme with a combination of remote sensing data and a number of thematic maps (lithology and soil). Then, using Landsat 7 (ETM+) and Landsat 8 (OLI) images, land use was extracted for 2000 and 2015, respectively. By comparing them, then, a land use change map was produced. Finally, the land use change map was overlaid on the geomorphology map to determine the status of land use change in each geomorphology class. The results showed that in Ilam province there are 6 classes of geomorphology based on the preferential dust sources (PDS) geomorphic classification scheme. In most of these classes, the most important change of land use that has taken place has been the change of land use from rangeland to agriculture. Although geomorphology classes of 2a, 3c and 7 have little potential for dust emission, land use change not only in these three classes but also in other geomorphology classes has increased the dust emission potential of geomorphology classes.

Keywords: Dust Emission Potential, Geomorphology, Land Use Change, Ilam Province

*. Corresponding author: Iraj Jabbari

E-mail: iraj.jabbari@razi.ac.ir

Tel: + 989188332017

How to cite this Article: Ahmadi-Molaverdi, M., Jabbari, I., & Fathnia, A. (2022). Evaluation of dust emission potential of geomorphology classes in Ilam province with an emphasis on land use change. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 101-121.

DOI:10.22067/geoeh.2022.73769.1134



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>



<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73769.1134>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۱۲۱-۱۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی

مجید احمدی ملاوردی - دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

^{id} ایرج جباری^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

امان اله فتح‌نیا - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

برداشت، حمل و رسوب‌گذاری گردوغبار، فرایندهای سطحی ژئومورفیک مهمی هستند که آثار و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی بر جای می‌گذارند. محیط‌های طبیعی مختلف تا وقتی که پایداری خود را از دست ندهند، در مقابل فرسایش بادی مقاوم هستند؛ اما وقتی فعالیت‌های انسان پایداری این سطوح ژئومورفیک را تغییر می‌دهد، مناطق مستعد فرسایش بادی بیشتر شده و پتانسیل انتشار گردوغبار افزایش یابد. در این پژوهش سعی شد پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی ارزیابی شود. بدین منظور در ابتدا نقشه ژئومورفولوژی بر اساس طرح طبقه‌بندی ژئومورفیک خاستگاه‌های گردوغبار ترجیحی (PDS) و با ترکیبی از داده‌های سنجش‌ازدور و تعدادی نقشه موضوعی (سنگ‌شناسی و خاک) تهیه گردید. سپس با استفاده از تصاویر لندست ۷ (سنجنده ETM⁺) و لندست ۸ (سنجنده OLI) کاربری اراضی به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ استخراج و با مقایسه آن‌ها، نقشه تغییر کاربری اراضی تهیه شد. سرانجام نقشه تغییر کاربری اراضی بر روی نقشه ژئومورفولوژی انطباق داده شد تا وضعیت تغییر کاربری در هر کلاس ژئومورفولوژی مشخص گردد. نتایج نشان داد در استان ایلام ۶ کلاس ژئومورفولوژی بر اساس طرح طبقه‌بندی ژئومورفیک خاستگاه‌های

Email: iraj.jabbari@razi.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۳۳۲۰۱۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

احمدی ملاوردی، مجید؛ جباری، ایرج؛ فتح‌نیا، امان اله. (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی

استان ایلام با تأکید بر تغییر کاربری اراضی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۱۲۱-۱۰۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73769.1134>

گردوغبار ترجیحی (PDS) وجود دارد. در اکثر این کلاس‌ها مهم‌ترین تغییر کاربری که صورت گرفته است، تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی بوده است. هرچند از نظر ژئومورفولوژی سطوح آبرفتی پرشیب، درشت‌دانه و برش‌یافته (۲a)؛ سطوح آبرفتی کم‌شیب، ریزدانه و برش‌یافته (۳c) و سطوح با انتشار کم (۷) پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارند، اما تغییر کاربری اراضی نه‌تنها در این سه کلاس، بلکه در سایر کلاس‌های ژئومورفولوژی باعث شده است پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس‌های ژئومورفولوژی افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل انتشار گردوغبار، ژئومورفولوژی، تغییر کاربری اراضی، استان ایلام.

۱- مقدمه

برداشت، حمل و رسوب‌گذاری گردوغبار، فرایندهای سطحی ژئومورفیک^۱ مهمی هستند که آثار و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی برجای می‌گذارند (شین - فا^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ می^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی در مناطق مختلف، عوامل متعددی پتانسیل تولید گردوغبار را افزایش و باعث انتشار آن به داخل جو می‌شوند که شامل: نوع خاک، رطوبت خاک، خاک بدون پوشش، تثبیت ضعیف ذرات خاک و عدم تراکم و سله بستن رسوبات، زبری سطح، ساختار خاکدانه‌های خاک‌های سطحی، تأثیر کوهستان (باد فون)، شرایط هوایی خشک، پوشش گیاهی و پراکندگی آن، سیستم هوای محلی و بیرونی، گرمایش و سرمایش زمین، بارش کوتاه‌مدت، وسعت جنگل‌زدایی، خشک‌سالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی (مه‌ار آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه از آن، ایجاد سدها و انحراف مسیر رودخانه)، بارندگی ناکافی، سرعت زیاد باد برای غلبه بر سرعت آستانه اصطکاک، اندازه و قطر ذرات (وجود رسوبات ریزدانه به‌اندازه سیلت) و افزایش فرکانس عبور امواج کوتاه و سریع باد است (احمدی ملاوردی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ راشکی^۵ و همکاران، ۲۰۲۱؛ هوانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۶؛ کیو^۷ و همکاران، ۲۰۰۶؛ میری^۸ و همکاران، ۲۰۰۹؛ طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ انگلستدتر^۹ و همکاران، ۲۰۰۶).

علاوه بر موارد ذکر شده، یکی از عواملی که منجر به تولید گردوغبار می‌شود ژئومورفولوژی است. این عامل از آنجا که ذخیره و موجودی رسوبات کانون‌های گردوغبار را تعیین می‌کند؛ لذا به‌شدت، انتشار گردوغبار را تحت‌تأثیر

1 Geomorphic Surface Processes

2 Xin-fa

3 Mei

4 Ahmadi-Molaverdi

5 Rashki

6 Huang

7 Qu

8 Miri

9 Engelstaedter

قرار می دهد (پاراجولی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴ و بادوک^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). باتوجه به عوامل ذکر شده می توان نتیجه گرفت که در رابطه با پیدایش پدیده گردوغبار نه تنها عوامل طبیعی بلکه عوامل انسانی نیز مؤثر هستند. فعالیت های نامناسب انسانی منجر به بیابانزایی^۳ می شود که امروزه در روند روبه رشد و فراوانی و شدت توفان های گردوغبار نقش عمده ای دارد. به عنوان نمونه ۳۹ درصد از خاستگاه های گردوغباری که از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ در عراق و سوریه شناسایی شده است، در مناطقی قرار دارد که تازه توسط انسان به بیابان تبدیل شده اند (مریدنژاد^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). بیابانزایی در شمال چین نیز به طور قابل توجهی باعث افزایش گردوغبار شده است (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژوانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۱). نتیجه این نوع فعالیت های نامناسب انسان در طبیعت، در تغییر و تخریب سطوح ژئومورفیک^۷ ظاهر می شود. از آنجایی که ژئومورفولوژی محلی بر روی شرایط سطحی از جمله نوع خاک، بافت و ترکیبات موجود در آن تأثیر دارد لذا با تغییر سطوح ژئومورفولوژی شرایط برای تسریع فرایند بادی و انتشار گردوغبار فراهم می گردد (مولین و چیاپلو^۸، ۲۰۰۶؛ مانک سیسک^۹ و همکاران ۲۰۱۷؛ فیلیپ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷؛ وب^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۴، راوی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ وارد^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو می توان گفت تا وقتی که محیط های طبیعی مختلف پایداری خود را از دست ندهند در مقابل فرسایش بادی مقاوم هستند؛ اما وقتی فعالیت های انسان پایداری سطوح ژئومورفیک را تغییر می دهد مناطق مستعد فرسایش بادی ممکن است بیشتر شده و انتشار گردوغبار ناگهان افزایش یابد.

در مقیاس منطقه ای یکی از مناطق مهم تولید گردوغبار که در سال های اخیر فراوانی و شدت فعالیت های گردوغبار در آنجا افزایش چشمگیری داشته است بخش هایی از خاورمیانه، عربستان و مرکز و جنوب غرب آسیا هست (برومندی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۱؛ بلورانی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۰؛ کلینگ مولر^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۶؛ نوتارو^{۱۷}، ۲۰۱۵؛ راشخی، ۲۰۱۴) این افزایش علاوه بر دلایل طبیعی، به نظر می رسد که با تغییر کاربری و پوشش اراضی در

1 Parajuli

2 Baddock

3 Desertification

4 Moridnejad

5 Wang

6 Zhuang

7 Geomorphic Surfaces

8 Moulin & Chiapello

9 Munkhtsetseg

10 Philip

11 Webb

12 Ravi

13 Ward

14 Broomandi

15 Boloorani

16 Klingmüller

17 Notaro

ارتباط باشد و نواحی که بیشتر مستعد بیابان‌زایی بوده‌اند تحت‌تأثیر گردوغبار قرار داشته‌اند (حمیدی^۱، ۲۰۱۳). در کشور ما نیز فراوانی وقوع پدیده گردوغبار در استان‌های غربی به‌ویژه استان ایلام در سال‌های اخیر روند روبه‌رشدی داشته است (باغبانان و همکاران^۲، ۲۰۲۱؛ حمزه^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ بلورانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ گریوانی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۱۲)؛ به‌نحوی که در استان ایلام از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ حدود ۱۳۵۲ روز گردوغبار ثبت شده که ایستگاه‌های دهلران (۳۳۸) ایلام (۲۵۸) ایوان (۲۵۶) بالاترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار را داشته‌اند. میزان تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار از سال ۱۳۶۵ در شهر ایلام از ۲ روز به ۱۰۲ روز در سال ۱۳۸۹ رسیده است. در همین دوره زمانی در ایستگاه دهلران روزهای همراه با پدیده گردوغبار از ۴ روز به ۱۰۵ افزایش یافته است. تحلیل نقشه‌ها و آمارهای سازمان هواشناسی نشان‌دهنده این است که در استان ایلام تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار و تعداد روزهایی همراه با رخداد غلظت بیش‌ازحد مجاز هوا، در طول سه دهه گذشته و تقریباً هر سال نسبت به سال‌های قبل بیشتر شده است (بوچانی و فاضلی، ۱۳۹۰). در استان ایلام از نظر ژئومورفولوژی شرایط مساعدی برای تولید گردوغبار وجود دارد. به‌عنوان مثال در بخش‌هایی از این استان فرایندهای رسوب‌گذاری و تراکم رسوب‌ها و همچنین فرایندهای رودخانه‌ای حاکم است. از آنجاکه چنین محیط‌هایی حاوی سطوح ژئومورفیک آبرفتی و رودخانه‌ای دارای ذرات ریز به‌اندازه گردوغبار هستند بنابراین، این مناطق پتانسیل تولید گردوغبار را دارند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه بر این در این استان فرایندهای بادی نیز وجود دارد که عمدتاً در غرب و جنوب غرب استان ایلام قرار دارد لذا در این مناطق نیز شرایط برای انتشار گردوغبار فراهم است. از این‌رو در این پژوهش سعی شده است با استفاده از طرح طبقه‌بندی ژئومورفیک خاستگاه‌های گردوغبار ترجیحی^۵ بولارد و همکاران (۲۰۱۱) پتانسیل کلاس‌های ژئومورفولوژی استان ایلام در انتشار گردوغبار ارزیابی شود؛ اما این طرح فقط با استفاده از پارامترهایی مانند رسوب‌شناسی، ویژگی‌های خاک، ذخیره و موجودی رسوب^۶ پتانسیل انتشار گردوغبار در واحدهای مختلف ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد و وضعیت پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی در ارزیابی پتانسیل انتشار گردوغبار را نادیده گرفته است. در صورتی که این عامل یعنی تغییر کاربری اراضی می‌تواند پتانسیل انتشار گردوغبار در هر منطقه را افزایش دهد. از این‌رو هدف این پژوهش این است که با دخالت این عامل، وضعیت تغییر کاربری در هریک از این کلاس‌های ژئومورفولوژی (که پتانسیل متفاوتی در تولید گردوغبار دارند) نیز مورد ارزیابی قرار گیرد و با نتایج حاصل از ترکیب عوامل مختلف ژئومورفولوژی و تغییر کاربری اراضی بتوان با دقت بالاتری به برآورد و پیش‌بینی انتشار گردوغبار در مناطق مختلف استان ایلام کمک کرد.

1 Hamidi

2 Baghbanan

3 Hamzeh

4 Gerivani

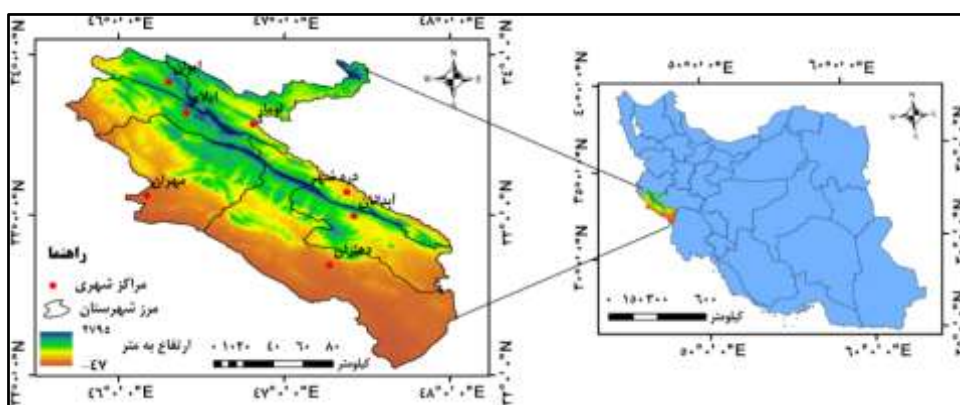
5 Preferential Dust Source (PDS)

6 Sediment supply and availability

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان ایلام در غرب کشور ایران، هم‌مرز با کشور عراق می‌باشد. این استان در منطقه‌ای کوهستانی و در حاشیه جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. بخش اعظم مساحت استان در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی را مناطق کوهستانی تشکیل داده است که با شیب‌های تند به دشت‌های هموار و کم ارتفاع در بخش‌های جنوبی و غربی استان منتهی می‌شوند. ارتفاع این دشت‌ها از ۳۰۰ متر کمتر است، اما با ارتفاعات مجاور حدود ۲۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع دارند (شکل ۱). جریان‌های حاصل از بارش در ارتفاعات مذکور به‌صورت جریان‌های سطحی و یا چشمه وارد دشت‌های یاد شده می‌شود و پهنه‌های آبرفتی که بستر مناسبی را برای تولید گردوغبار فراهم می‌کنند را تشکیل می‌دهند البته در بین نواحی کوهستانی نیز پهنه‌های آبرفتی به چشم می‌خورد که در مقایسه با دشت‌های مناطق جنوب و غرب استان از گسترش و ضخامت کمتری برخوردارند. استان ایلام از نظر اقلیمی دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی در نواحی شمالی و شمال‌غربی و کمترین میزان بارندگی در محدوده جنوب و جنوب غربی استان تمرکز دارد. میزان بارندگی سالیانه استان در نقاط مختلف آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در نوسان است. میزان حداکثر و حداقل سالانه دما در این استان از ۴۵ درجه در گرم‌ترین نواحی جنوبی تا حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر در کوهستان‌ها متغیر است. وجود جنگل‌ها در شرق و شمال شرق استان موجب تعدیل دما و تا اندازه‌ای مهار آب‌های سطحی شده است در این نواحی به دلیل ارتفاع زیاد و کوهستانی بودن منطقه، اقلیم سرد حاکم است. درحالی‌که در غرب استان که پوشش گیاهی تنک و ارتفاع کمی دارد، اقلیم گرم و خشک حاکم می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان ایلام

۲-۲- روش انجام پژوهش

در این پژوهش برای شناسایی پتانسیل انتشار گردوغبار در مناطق مختلف استان ایلام، نخست نقشه ژئومورفولوژی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه در محیط Arc GIS تهیه شد. در مرحله بعد کاربری اراضی مورد نیاز بود که با استفاده از تصاویر لندست برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 استخراج و با مقایسه آن‌ها، نقشه تغییر کاربری اراضی تهیه شد. سرانجام برای ارزیابی پتانسیل کلاس‌های ژئومورفولوژی در انتشار گردوغبار، نقشه تغییر کاربری اراضی با نقشه ژئومورفولوژی انطباق داده شد.

۲-۲-۱- تهیه نقشه کلاس‌های ژئومورفولوژی

برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی استان ایلام، از طرح طبقه‌بندی ژئومورفیک کانون‌های گردوغبار ترجیحی (PDS) بولارد و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. طرح کانون‌های گردوغبار ترجیحی از طریق ویژگی‌های خاک، رسوب‌شناسی، ذخیره و موجودی رسوب به طبقه‌بندی سطح زمین با توجه به پتانسیل متفاوتشان در انتشار گردوغبار می‌پردازد. بر اساس این طرح سطوح ژئومورفولوژی خاصی از زمین نسبت به سطوح دیگر برای کانون گردوغبار دائمی تر و مطلوب‌تر هستند (بولارد و همکاران، ۲۰۱۱). هفت کلاس مختلف سطوح ژئومورفیک در طرح PDS وجود دارد که شامل: سیستم‌های دریاچه‌ای (۱) مانند دریاچه‌های فصلی و خشک (پلایا و کفه‌های سبنا)، رسوبات آبرفتی پرشیب مانند پدیمت و مخروط افکنه (۲)، رسوبات آبرفتی کم شیب مانند دشت‌های آبرفتی، دشت‌های سیلابی و کانال‌های فصلی (۳)، سیستم‌های سنگی (۴)، سیستم‌های بادی مانند تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای (۵)، لس‌ها (۶) و سطوحی که انتشار کمی دارند مانند سنگ بستر (۷) هستند (جدول ۱).

در این طرح آمده است که دریاچه‌های خشک و فصلی، سطوح آبرفتی پرشیب، ریزدانه و برش نیافته بالاترین پتانسیل برای انتشار دائمی گردوغبار دارند. خاستگاه‌هایی که پتانسیل متوسطی دارند شامل سطوح آبرفتی کم شیب ریزدانه، پهنه‌های ماسه‌ای و بعضی از سیستم‌های تپه ماسه‌ای هستند. سطوح سنگی (مانند، سنگفرش بیابانی^۱)، سطوح آبرفتی درشت‌دانه و سنگ بستر و دیروریکراست‌ها بعید به نظر می‌رسد منبع گردوغبار باشند. از مزیت‌های این طرح این است که داده‌های مورد نیاز آن به سادگی قابل دسترسی هستند و محل و محدوده واحدهای ژئومورفولوژیکی در آن با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای، عکس هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک و توپوگرافی و داده‌های میدانی به سادگی قابل تشخیص‌اند. این روش همچنین مقایسه انتشار گردوغبار در محیط‌های ژئومورفولوژیکی متنوع (مناطق مختلف) را تسهیل می‌کند.

1 Desert pavement

جدول ۱- طبقه‌بندی ژئومورفولوژی خاستگاه گردوغبار (بادوک و همکاران، ۲۰۱۱)

کلاس‌های اصلی ژئومورفولوژی	زیر کلاس‌های ژئومورفولوژی	کد	اهمیت انتشار گردوغبار
دریاچه	دائمی	1a	کم
	فصلی	1b	متوسط تا زیاد
	خشک - سفت و محکم شده	1c	کم
	خشک - سفت و محکم نشده	1d	متوسط تا زیاد
سیستم‌های آبرفتی پرشیب	درشت‌دانه و برش‌یافته	2a	کم
	درشت‌دانه و برش‌نیافته	2b	کم
	ریزدانه و برش‌یافته	2c	متوسط
	ریزدانه و برش‌نیافته	2d	متوسط تا زیاد
سیستم‌های آبرفتی کم شیب	درشت‌دانه و برش‌یافته	3a	کم
	درشت‌دانه و برش‌نیافته	3b	متوسط
	ریزدانه و برش‌یافته	3c	کم
	ریزدانه و برش‌نیافته	3d	متوسط
سطوح سنگی	سطوح سنگی	4	کم
سیستم‌های بادی	پهنه‌های ماسه‌ای	5a	کم تا متوسط
	تپه‌های ماسه‌ای بادی	5b	کم تا زیاد
لس‌ها	لس‌ها	6	کم تا متوسط
سطوح با انتشار کم	سطوح با انتشار کم	7	کم

برای تهیه نقشه کلاس‌های ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه از ترکیبی از داده‌های سنجش‌ازدور و تحلیل تصاویر لندست ۸ نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ از شرکت‌های عامل نفت ایران و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران و نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان ایلام (مشخصات بافت خاک منطقه از این نقشه استخراج شده است) در محیط Arc GIS استفاده شد. داده‌های سنجش‌ازدور شامل تصاویر گوگل ارث، تصاویر رنگی واقعی لندست ۸ و مدل رقومی ارتفاعی (۳۰ متر) که نقشه منحنی میزان‌های ساده و نقشه ناهمواری‌ها از آن استخراج شده بود برای تمایز بین سطوح کم شیب و پرشیب و همچنین درجه برش سیستم‌های آبرفتی استفاده شد. بعد از تعیین حدود کلاس‌های ژئومورفولوژی، هر پولیگون به یکی از ۱۷ طبقه ژئومورفیک طبقه‌بندی شده (جدول ۱) توسط بولارد و همکاران (۲۰۱۱) بر اساس تفسیر نقشه‌های خاک و زمین‌شناسی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای اختصاص داده شد.

۲-۲-۲- تهیه نقشه تغییر کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (سنجنده ETM⁺) برای سال ۲۰۰۰ و لندست ۸ (سنجنده OLI) برای سال ۲۰۱۵ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده‌شده

سال	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک فضایی	تعداد تصاویر	تاریخ تصویر
۲۰۰۰	LANDSAT 7	ETM ⁺	۳۰	۳ تصویر	ماه ژوئن (خرداد) ۲۰۰۰
۲۰۱۵	LANDSAT 8	OLI	۳۰	۳ تصویر	ماه ژوئن (خرداد) ۲۰۱۵

به‌منظور استخراج طبقات کاربری اراضی در مرحله پیش‌پردازش در ابتدا خطاهایی که بر روی تصاویر خام وجود داشت، از قبیل خطاهای رادیومتری و اتمسفری با استفاده از الگوریتم^۱ QUAC تصحیح گردید. لازم به ذکر است که بر روی این تصاویر، تصحیح هندسی صورت نگرift زیرا در ایستگاه گیرنده تصحیح می‌شوند. سپس عمل فیوژن با باند پانکروماتیک انجام شد و قدرت مکانی تصاویر به ۱۵ متر افزایش پیدا کرد. در مرحله پردازش از روش طبقه‌بندی نظارت شده^۲ تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و بعد از استخراج نمونه‌های تعلیمی بر روی گوگل ارث (۳۵۹۳ نمونه آموزشی و ۱۳۳۸ نمونه آزمایشی)، با الگوریتم بیشینه مشابهت^۳ در نرم‌افزار ENVI 5.3 طبقات کاربری اراضی جنگل، مرتع، کشاورزی و اراضی ساخته‌شده برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ استخراج شد. سرانجام برای تهیه نقشه تغییر کاربری اراضی دو نقشه کاربری اراضی تهیه شده برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ در محیط GIS به روش کدگذاری با هم مقایسه شدند و درمجموع هفت نوع تغییر کاربری اراضی ازجمله: جنگل به مرتع، جنگل به کشاورزی، مرتع به کشاورزی، جنگل به اراضی ساخته‌شده، مرتع به اراضی ساخته‌شده و کشاورزی به اراضی ساخته‌شده که در انتشار گردوغبار مؤثر هستند، استخراج گردید. نتایج حاصل از اعتبارسنجی ضریب کاپا و دقت کلی برای طبقه‌بندی‌های به کار گرفته شده نشان داد ضریب کاپا برای طبقه‌بندی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ به ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۰/۹۰ هست درحالی‌که شاخص دقت کلی به ترتیب برای این دو سال ۹۴/۶۴ و ۹۶/۱۶ بوده است.

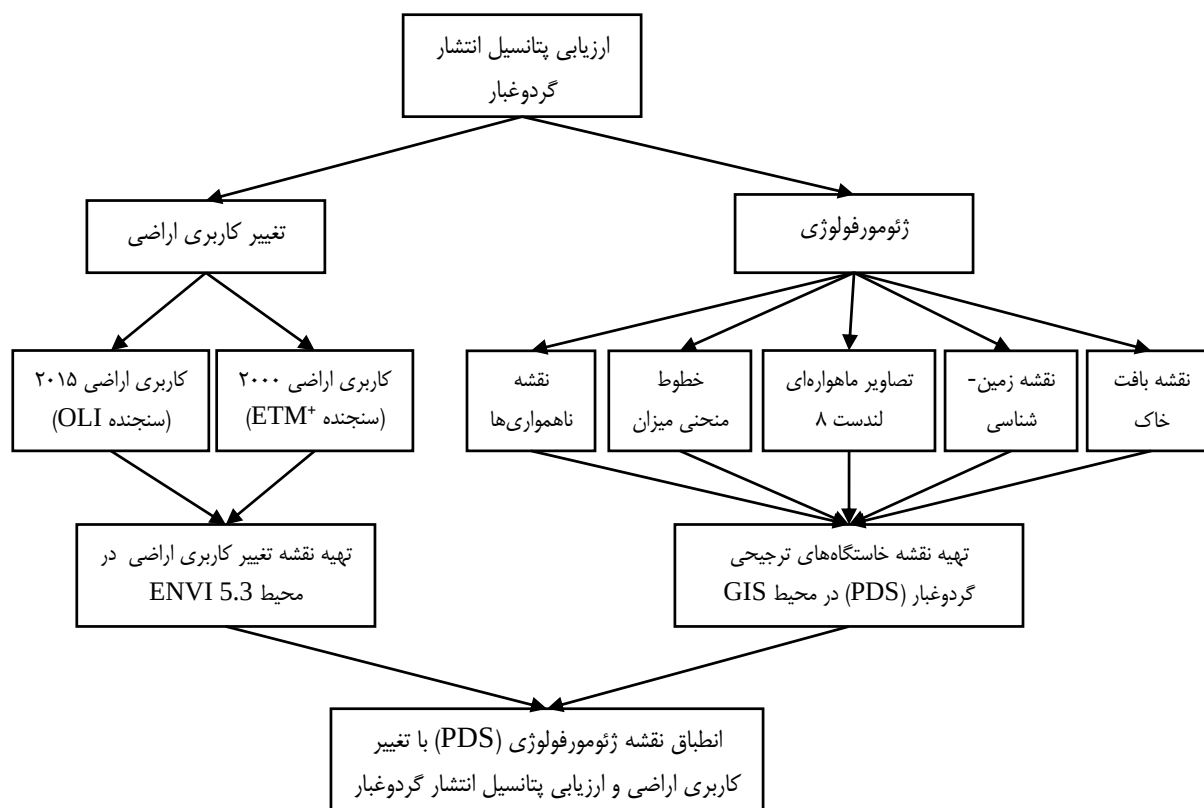
۲-۲-۳- انطباق نقشه تغییر کاربری اراضی با نقشه ژئومورفولوژی

بعد از اینکه نقشه تغییر کاربری اراضی و نقشه ژئومورفولوژی تهیه شدند، در محیط Arc GIS این دو نقشه بر روی هم منطبق شدند و انواع و میزان تغییرات کاربری اراضی در هریک از کلاس‌های ژئومورفولوژی شناسایی شده در استان ایلام، مشخص گردید. روش کلی پژوهش به‌صورت نمودار در شکل ۲ ارائه شده است.

1 Quick Atmospheric Correction

2 Supervised Classification

3 Maximum Likelihood



شکل ۲- نمودار کلی روش پژوهش

۳- نتایج و بحث

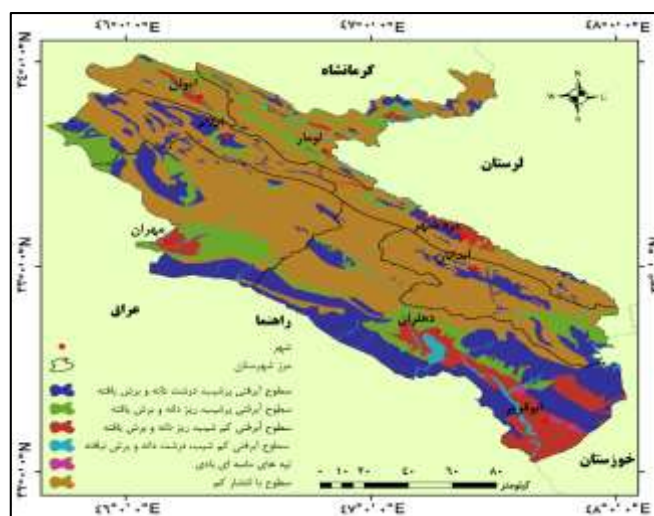
۳-۱- انواع کلاس‌های ژئومورفولوژی در استان ایلام

از ۱۷ کلاس ژئومورفیک شناسایی شده توسط بولارد و همکاران (۲۰۱۱)، ۶ کلاس در استان ایلام وجود دارد (جدول ۳). سطوح با انتشار کم (۷) که طبق طبقه‌بندی PDS مشخص شده‌اند، بخش‌های وسیعی (۵۴٪) از شمال، نواحی مرکزی و شرق استان ایلام را پوشش می‌دهند و شامل نواحی کوهستانی، پرتگاه‌ها و صخره‌های سنگی و رسوبات کوه‌درفتی می‌شوند (شکل ۳). دو سیستم آبرفتی کم شیب و پرشیب که معمولاً در مجاورت هم قرار دارند به‌صورت گسترده‌ای در جنوب و غرب منطقه مشاهده می‌شوند. البته نواحی کوچکی از این نوع ژئومورفولوژی که شامل دشت‌های میانکوهی هست به‌صورت پراکنده در سایر بخش‌های استان ایلام (نواحی کوهستانی) وجود دارد. سیستم‌های آبرفتی پرشیب (۲a و ۲c) در مجموع حدود ۳۶٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرند که

شامل عوارضی مانند شیب‌های پایکوهی (پدیمنت)^۱ و مخروط افکنه است. در حالی که سیستم‌های آبرفتی کم شیب (۳c و ۳d) مساحت کمتری (۱۰٪) را می‌پوشانند و حاوی دشت‌های آبرفتی وسیع، دشت‌های سیلابی، رودخانه‌های دائمی و رودهای فصلی هستند. کوچک‌ترین نوع ژئومورفولوژی از نظر وسعت سیستم‌های بادی (۵b) هست که در جنوب استان ایلام واقع شده است و دارای تپه‌های ماسه‌ای درشت‌دانه هست.

جدول ۳- کلاس‌های مختلف ژئومورفولوژی در استان ایلام

کلاس‌های ژئومورفولوژی	کد	مساحت (km ²)	مساحت (%)
سطوح آبرفتی پرشیب، درشت‌دانه و برش‌یافته ^۲	2a	۴۶۰۴/۹	۲۳
سطوح آبرفتی پرشیب، ریزدانه و برش‌یافته ^۳	2c	۲۵۹۵/۳۴	۱۳
سطوح آبرفتی کم شیب، ریزدانه و برش‌یافته ^۴	3c	۱۶۵۹/۲۹	۸
سطوح آبرفتی کم شیب، درشت‌دانه و برش‌نیافته ^۵	3d	۴۴۶/۷۵	۲
تپه‌های ماسه‌ای بادی ^۶	5b	۴۲/۴۲	۰/۲
سطوح با انتشار کم ^۷	7	۱۰۷۲۸/۴۵	۵۳/۸
جمع		۲۰۰۷۷/۱۵	۱۰۰



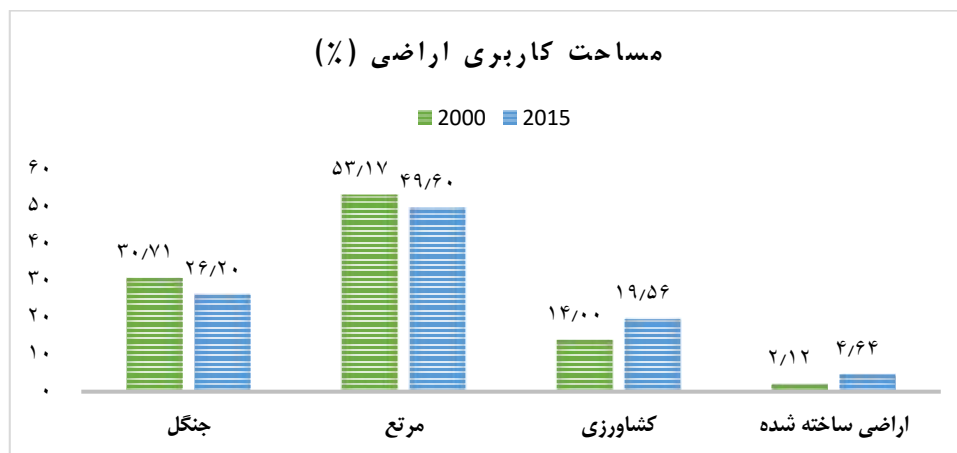
شکل ۳- کلاس‌های ژئومورفولوژی بر اساس طبقه‌بندی بولارد و همکاران (۲۰۱۱)

- 1 Piedmont
- 2 High relief alluvial, armoured, incised
- 3 High relief alluvial, unarmoured, incised
- 4 Low relief alluvial, unarmoured, incised
- 5 Low relief alluvial, unarmoured, unincised
- 6 Aeolian sand dunes
- 7 Low emission surfaces

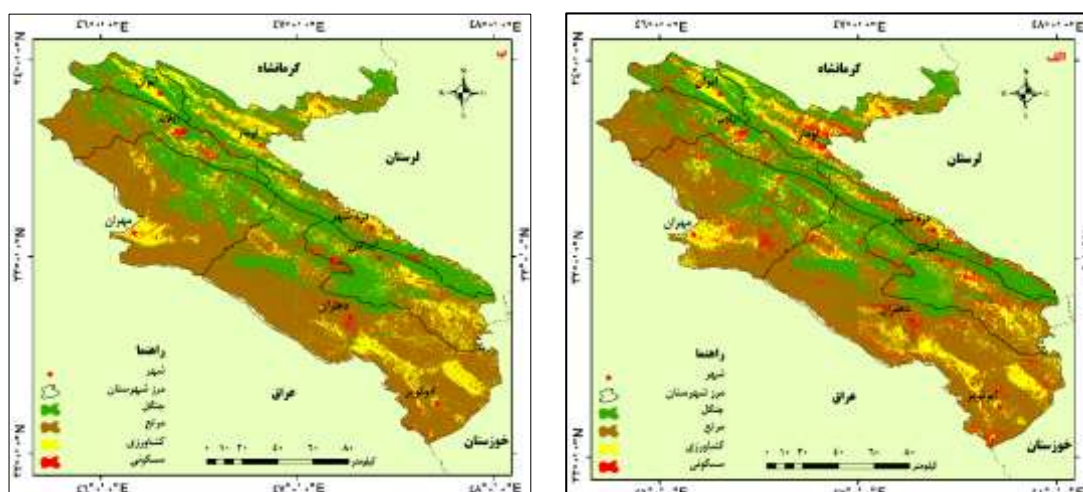
۳-۲- انواع کاربری اراضی در استان ایلام (سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵)

کاربری اراضی در این پژوهش به چهار نوع کلی شامل: نواحی جنگلی، مرتعی، کشاورزی و اراضی ساخته‌شده طبقه‌بندی گردید. با بررسی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ نتایج نشان داد که بزرگ‌ترین ناحیه در سال ۲۰۰۰ ناحیه مرتعی بود که حدود ۱۰۷۳۲ کیلومترمربع وسعت داشته است و ۵۳/۱۷٪ از مساحت کل منطقه مورد بررسی را پوشانده است. این کاربری غالباً در حاشیه غربی و جنوبی استان ایلام دیده می‌شود و در سایر مناطق به‌صورت پراکنده وجود دارد. در این سال (۲۰۰۰) بعد از اراضی مرتعی، اراضی جنگلی با پوشاندن ۳۰/۷۱٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه دومین نوع کاربری اراضی از نظر وسعت هست؛ یعنی حدود ۶۱۲۷ کیلومترمربع از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. اراضی جنگلی ارتفاعات واقع در قسمت میانی منطقه مورد مطالعه با روند شمال غربی - جنوب شرقی را پوشانده‌اند. اراضی کشاورزی که به‌صورت پراکنده در بخش‌های مختلف استان دیده می‌شوند حدود ۲۷۹۲ کیلومترمربع وسعت داشته است که ۱۴٪ از مساحت استان ایلام را دربرگرفته‌اند. در سال ۲۰۰۰ کمترین میزان کاربری مربوط به اراضی ساخته‌شده بوده که ۲/۱۲٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه یعنی حدود ۴۲۴ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴ و ۵).

در سال ۲۰۱۵ تغییر و تحولاتی در ارتباط با تغییر کاربری اراضی به وجود آمده است، اما ترتیب وسعت کاربری‌های اراضی مانند سال ۲۰۰۰ هست. در سال ۲۰۱۵ نیز بزرگ‌ترین ناحیه به کاربری مرتعی اختصاص دارد که حدود ۱۰۰۲۲ کیلومترمربع وسعت داشته است و ۴۹/۶٪ از مساحت کل منطقه مورد بررسی را پوشانده است، اما نسبت به سال ۲۰۰۰ وسعت آن کاهش یافته است. اراضی جنگلی در سال ۲۰۱۵ حدود ۵۲۲۸ کیلومترمربع از مساحت منطقه مورد مطالعه که برابر با ۲۶/۲٪ از مساحت منطقه هست را دربرگرفته است این کاربری نیز مانند کاربری مرتعی از وسعت آن کاسته شده است. اراضی کشاورزی ۱۹/۵۶٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه یعنی حدود ۳۸۹۹ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده است. این نوع کاربری در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. کاربری اراضی ساخته‌شده در این سال ۴/۶۴٪ از مساحت منطقه مورد بررسی یعنی ۹۲۷ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده است که روند آن نیز افزایشی بوده است. به‌طورکلی در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ وسعت اراضی جنگلی و مرتعی کاهش یافته است؛ درحالی‌که وسعت اراضی کشاورزی و اراضی ساخته‌شده افزایش یافته است (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴- درصد مساحت انواع مختلف کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۰.

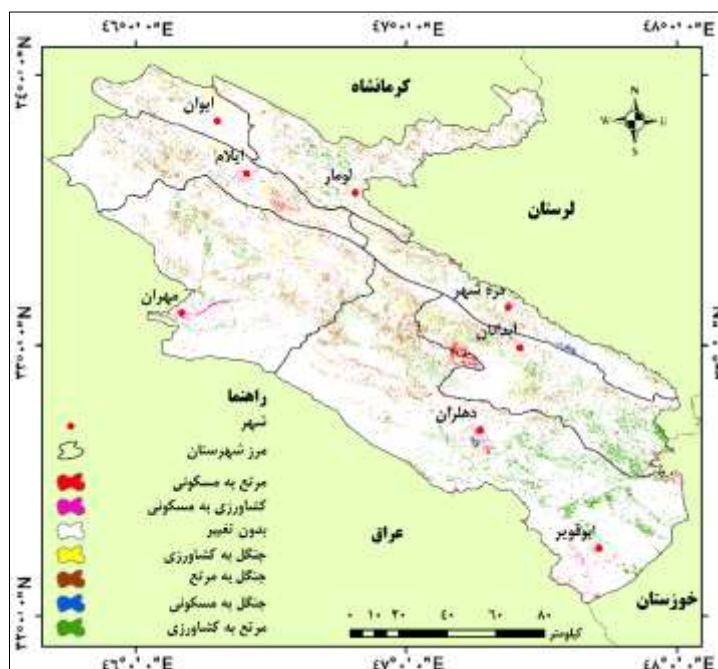


شکل ۵- کاربری اراضی استان ایلام در سال ۲۰۰۰ (الف) و سال ۲۰۱۵ (ب)

۳-۳- وضعیت تغییر کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

نتایج آشکارسازی تغییرات و مقایسه دو نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان داد که در طی این بازه زمانی ۱۵ ساله تقریباً در ۹۱٪ از اراضی منطقه مورد مطالعه تغییر کاربری اراضی صورت نگرفته است. با این وجود طی بازه زمانی مورد نظر، منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییراتی در زمینه کاربری اراضی شده است (شکل ۶ و جدول ۴). بیشترین تغییرات عمدتاً شامل تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن به اراضی مرتعی و همچنین اراضی مرتعی به کشاورزی است. در این دوره به میزان ۶۰۹ کیلومترمربع از اراضی جنگلی به مرتعی تبدیل شده‌اند که معادل با ۳/۰۳٪

از کل مساحت منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این بخش دیگری از جنگل‌ها تخریب و اراضی کشاورزی و اراضی ساخته‌شده تبدیل شده‌اند؛ این تغییرات حدود ۱/۴۴٪ (۲۳۴ کیلومترمربع) از کل مساحت منطقه مورد بررسی را در برمی‌گیرد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ اراضی مرتعی نیز به‌طور گسترده‌ای دچار تخریب و تغییر کاربری اراضی شده‌اند. به‌عنوان نمونه به میزان ۵۷۹ کیلومترمربع از اراضی جنگلی که معادل با ۲/۹٪ از کل مساحت منطقه مورد مطالعه است، به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند. علاوه بر این حدود ۱۳۱ کیلومترمربع از مراتع استان ایلام به اراضی ساخته‌شده تبدیل شده‌اند که برابر با ۰/۶۶٪ از کل مساحت این استان است. بخش کوچکی از اراضی کشاورزی به اراضی ساخته‌شده تغییر کاربری داده‌اند که حدود ۵۵ کیلومترمربع (۰/۲۷٪) است (شکل ۶ و جدول ۴).



شکل ۶- طبقات مختلف تغییر کاربری اراضی.

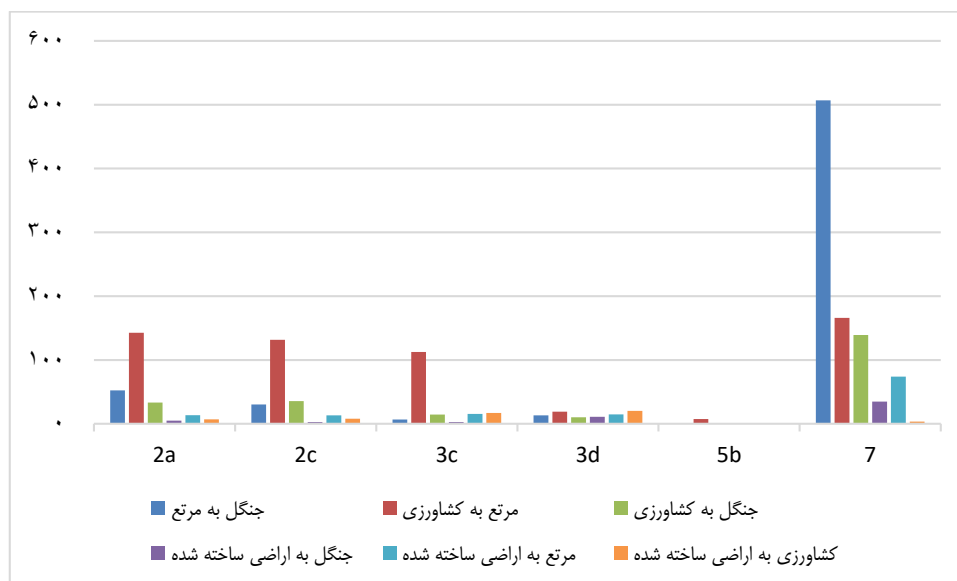
جدول ۴- مساحت طبقات مختلف تغییرات کاربری اراضی

انواع تغییر کاربری اراضی	مساحت (km ²)	مساحت (%)
بدون تغییر	۱۸۴۱۱/۸۳	۹۱/۷
جنگل به مرتع	۶۰۹/۶۲	۳/۰۳
مرتع به کشاورزی	۵۷۹/۵۴	۲/۹
جنگل به کشاورزی	۲۳۲/۸۱	۱/۱۶
جنگل به اراضی ساخته‌شده	۵۶/۶	۰/۲۸

انواع تغییر کاربری اراضی	مساحت (km ²)	مساحت (%)
مرتفع به اراضی ساخته شده	۱۳۱/۱۸	۰/۶۶
کشاورزی به اراضی ساخته شده	۵۵/۵۷	۰/۲۷
جمع	۲۰۰۷۷/۱۵	۱۰۰

۳-۴- وضعیت تغییر کاربری اراضی در کلاس های مختلف ژئومورفولوژی

وضعیت تغییر کاربری اراضی در کلاس های مختلف ژئومورفولوژی نشان می دهد که در کلاس ۲a هر هفت نوع تغییر کاربری اتفاق افتاده است. بیشترین وسعت تغییر کاربری اراضی در این کلاس (۲a) مربوط به طبقه مرتفع به کشاورزی است که حدود ۱۴۲ کیلومترمربع (۵۶٪) از تغییرات صورت گرفته در این کلاس ژئومورفولوژی را به خود اختصاص داده است (شکل ۷). در کلاس ۲c نیز هر هفت تغییر کاربری اراضی که در انتشار گردوغبار مؤثر هستند رخ داده است، اما بیشترین تغییرات عمدتاً شامل تخریب مراتع و تبدیل آن به اراضی کشاورزی است. میزان این تغییرات در کلاس ۲c حدود ۱۳۱ کیلومترمربع (۵۹٪) از کل تغییرات صورت گرفته در این کلاس ژئومورفولوژی است (شکل ۷). در کلاس ۳c نیز مانند دو کلاس ۲a و ۲c هفت نوع تغییر کاربری اراضی مشاهده می شود که مجدداً در این کلاس بیشترین تغییرات مربوط به تخریب مراتع و تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی است. در این کلاس حدود ۱۱۲ کیلومترمربع از اراضی مرتعی به کشاورزی تبدیل شده اند که معادل ۶۶٪ از کل تغییرات کاربری در این کلاس ژئومورفولوژی است (شکل ۷). در کلاس ۳d نیز هفت نوع تغییر کاربری اراضی صورت گرفته است اما برخلاف سایر کلاس های ژئومورفولوژی، تفاوت قابل ملاحظه ای در میزان تغییرات کاربری اراضی وجود ندارد. به عبارت دیگر در این کلاس (۳d) هر هفت نوع تغییر کاربری اراضی به میزان یکسانی اتفاق افتاده است (شکل ۷). در کلاس ۵b فقط یک نوع تغییر کاربری اراضی صورت گرفته است و حدود ۷ کیلومترمربع از اراضی مرتعی در این کلاس به اراضی کشاورزی تبدیل شده اند (شکل ۷). در کلاس ۷ که شامل مناطق کوهستانی و ارتفاعات هست نیز هر هفت نوع تغییر کاربری اراضی رخ داده است اما برخلاف سایر کلاس های ژئومورفولوژی در این کلاس بیشترین تغییرات کاربری مربوط به تخریب اراضی جنگلی و تبدیل آن ها به اراضی مرتعی است. این تغییرات حدود ۵۰۶ کیلومترمربع است که معادل ۵۴٪ از کل تغییرات کاربری در کلاس ۷ است (شکل ۷). در این کلاس (۷) تبدیل مراتع و جنگل ها به اراضی کشاورزی نیز به صورت قابل ملاحظه ای به چشم می خورد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد در اکثر کلاس های ژئومورفولوژی به استثنای کلاس ۷، تخریب مراتع و تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی باعث شده است پتانسیل انتشار گردوغبار این کلاس ها افزایش یابد. کلاس ۷ هر چند که از نظر ژئومورفولوژی پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارد اما تخریب جنگل های این کلاس و تبدیل آن ها به مراتع و سایر کاربری ها زمینه را برای انتشار گردوغبار تسهیل کرده است.



شکل ۷- وضعیت تغییر کاربری اراضی در کلاس های مختلف ژئومورفولوژی

در این پژوهش برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی از طرح طبقه بندی ژئومورفیک خاستگاه های گردوغبار ترجیحی (PDS) بولارد و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. طرح خاستگاه های گردوغبار ترجیحی از طریق رسوب شناسی، ویژگی های خاک، ذخیره و موجودی رسوب به طبقه بندی سطح زمین باتوجه به پتانسیل متفاوتشان در انتشار گردوغبار می پردازد. به طور کلی ویژگی های سطحی کلاس های ژئومورفولوژی حساسیت طبقات ژئومورفولوژی در مقابل فرسایش بادی را تحت تأثیر قرار می دهند. بر اساس طرح PDS کلاس ۲a که شامل پدیمت ها و مخروط افکنه ها است به دلیل جور شدگی ضعیف^۱ رسوبات، مقدار سیلت کم و وجود رسوبات و سطوح درشت دانه که زبری سطح را افزایش و پتانسیل بادی را کاهش می دهد، پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارند. در مقابل، کلاس ۲c به دلیل اینکه حاوی رسوبات ریزدانه است پتانسیل متوسطی در انتشار گردوغبار دارند. در این سطوح به ویژه وقتی رسوبات ریزدانه توسط سیلاب ها بیشتر شود پتانسیل انتشار گردوغبار نیز افزایش می یابد (رهائیس^۲، ۲۰۰۶؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۸). در این طرح آمده است کلاس ۳c که شامل دشت های آبرفتی است امکان دارد حاوی گراول هایی^۳ باشند که می تواند باعث زبری سطح شوند و در نتیجه پتانسیل انتشار گردوغبار در این سطوح را کاهش دهد. در مقابل، کلاس ۳d که شامل دشت های سیلابی هستند به دلیل وجود ذرات رسوبی ریزدانه پتانسیل متوسطی در انتشار گردوغبار دارند. در این سطوح اگر ذخایر رسوبات ریزدانه توسط سیلاب ها بیشتر شود و پوشش گیاهی پراکنده وجود داشته

1 Poor sorting

2 Reheis

3 Gravels

باشد پتانسیل انتشار گردوغبار افزایش می‌یابد (مکتینش و استرانگ^۱، ۲۰۰۷). بر اساس طرح PDS کلاس ۵b که حاوی تپه‌های ماسه‌ای است دارای پتانسیل متوسطی در انتشار گردوغبار است. تپه‌های ماسه‌ای فعال، جوان یا کوچک^۲ چون حاوی ذرات ریزدانه کمی هستند پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارند اما تپه‌های ماسه‌ای بزرگ، باثبات‌تر و قدیمی‌تر^۳ ممکن است ذرات ریزتری را در ساختار تپه جمع کنند لذا پتانسیل بالایی در انتشار گردوغبار دارند. در کلاس ۷ که شامل کوه‌های مرتفع و کم‌ارتفاع هستند به دلیل اینکه ذخایر رسوبی وجود ندارد یا رسوبات ریزدانه در دسترس نیست، بنابراین انتشار گردوغبار نیز کم است (بولارد و همکاران، ۲۰۱۱). این سطوح مگر در معرض تغییر کاربری اراضی قرار بگیرند و گردوغبار کمی تولید کنند.

مناطقی که در معرض تغییر کاربری اراضی قرار گرفته، بیشتر پتانسیل انتشار گردوغبار را دارند؛ زیرا فعالیت‌های آنتروپوژنیک باعث کاهش پوشش گیاهی و تخریب خاک شده و در نتیجه پایداری خاک این محیط‌ها در مقابل فرسایش بادی را کاهش می‌دهد (هیلد و سپراکلن^۴، ۲۰۱۵؛ دیو^۵ و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ تان^۶ و همکاران، ۲۰۱۴) علاوه بر این در چنین محیط‌هایی نه تنها خاکی که تازه در معرض فرسایش باد قرار گرفته، حاوی ذرات ریز (سیلت) زیادی است (ژنگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۶) بلکه به سرعت آستانه باد کمتری نیز برای حمل این ذرات نیاز دارد (تگن^۸ و همکاران، ۲۰۰۴). باتوجه به مطالبی که در بالا ذکر شد، اصولاً گردوغبار از عوارض ژئومورفولوژی که غنی از رسوبات آبرفتی (رسوبات ریزدانه) هستند منشأ می‌گیرد (هاننبرگر و نیکول^۹، ۲۰۱۴). اگر این عوارض دارای پوشش گیاهی مرتعی فقیر و اراضی کشاورزی باشند برای تولید گردوغبار مستعدتر هستند زیرا در این نوع مراتع، تراکم پوشش گیاهی کم و خاک لخت محافظت نشده، پتانسیل انتشار گردوغبار را افزایش می‌دهد (انگلستادر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳) و در اراضی زراعی نیز اقدامات کشاورزی با تخریب سطح زمین، پایداری خاک را در مقابل فرسایش بادی کاهش و به‌طور مؤثری وجود ذرات ریزدانه برای انتشار گردوغبار را افزایش می‌دهند (کانداکجی^{۱۱} و همکاران ۲۰۲۰؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹).

1 McTainsh & Strong

2 Active, young or small sand dunes

3 More stable or older

4 Heald & Spracklen

5 Du

6 Tan

7 Zheng

8 Tegen

9 Hahnenberger & Nicoll

10 Engelstaedter

11 Kandakji

12 Lee

نتایج این پژوهش نیز نشان داد در اکثر کلاس های ژئومورفولوژی مهم ترین تغییر کاربری که صورت گرفته است تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی بوده است. هرچند از نظر ژئومورفولوژی کلاس های ۲a و ۳c و ۷ پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارند؛ بنابراین تخریب مراتع و تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی نه تنها در این سه کلاس، بلکه در سایر کلاس های ژئومورفولوژی باعث شده است پتانسیل انتشار گردوغبار این کلاس ها افزایش یابد. همان طور که اشاره شد کلاس ۷ از نظر ژئومورفولوژی پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارد و مهم ترین تغییر کاربری که در این کلاس اتفاق افتاده است تبدیل جنگل ها به مراتع است، لذا تخریب گسترده جنگل های این کلاس و تبدیل آن ها به مراتع و سایر کاربری ها زمینه را برای انتشار گردوغبار تسهیل کرده است.

۴- جمع بندی

این پژوهش پتانسیل انتشار گردوغبار کلاس های ژئومورفولوژی استان ایلام با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی را ارزیابی کرد. در استان ایلام ۶ کلاس ژئومورفولوژی بر اساس طرح طبقه بندی ژئومورفیک خاستگاه های گردوغبار ترجیحی (PDS) بولارد و همکاران (۲۰۱۱) شناسایی شد. این کلاس های ژئومورفولوژی که پتانسیل متفاوتی در انتشار گردوغبار دارند، عبارت اند از: کلاس ۲a (پتانسیل کم)، ۲c (پتانسیل متوسط)، ۳c (پتانسیل کم)، ۳d (پتانسیل متوسط)، ۵b (پتانسیل کم تا زیاد) و ۷ (پتانسیل کم). نتایج این پژوهش نشان داد در اکثر کلاس های ژئومورفولوژی مهم ترین تغییر کاربری که صورت گرفته، تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی بوده است. هرچند از نظر ژئومورفولوژی کلاس های ۲a و ۳c و ۷ پتانسیل کمی در انتشار گردوغبار دارند؛ اما تخریب مراتع و تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی نه تنها در این سه کلاس، بلکه در سایر کلاس های ژئومورفولوژی باعث شده است پتانسیل انتشار گردوغبار این کلاس ها افزایش یابد. به طور کلی می توان گفت که تغییر کاربری اراضی در هر حالتی شرایط را برای تولید گردوغبار تسهیل می کند؛ چون با این نوع فعالیت ها جنگل ها، مراتع و زمین های کشاورزی تخریب می شوند و خاک و پوشش گیاهی آن ها تا شعاع قابل ملاحظه ای آسیب می بیند که با وزش باد شرایط را برای انتشار گردوغبار فراهم می کند.

کتابنامه

- بوچانی، محمدحسین؛ فاضلی، داریوش؛ ۱۳۹۰. چالش‌های زیست‌محیطی و پیامدهای ناشی از آن ریزگردها و پیامدهای آن در غرب کشور ایران. *فصلنامه رهنامه سیاستگذاری سیاسی. دفاعی و امنیتی*. سال ۲. شماره ۳. ۱۲۵-۱۴۵. <https://www.magiran.com/paper/1080323>.
- طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ احمدی آخورمه، مریم؛ ۱۳۹۲. شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران. *فصلنامه انسان و محیط‌زیست*. دوره ۱۱. شماره ۴. ۱-۱۰. https://he.srbiau.ac.ir/article_3276.html?lang=fa.
- Ahmadi-Molaverdi, M., Jabbari, I., Fathnia, A. 2021. Relationship Between Land Use Changes and the Production of Dust Sources in Kermanshah Province, Iran. *Chinese Geographical Science*, 31(6), 1057-1069. <https://doi.org/10.1007/s11769-021-1235-3>
- Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M., Safarrad, T. 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural hazards*, 64(2), 1625-1638. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0328-9>
- Baddock, M. C., Bullard, J. E., Bryant, R. G. 2009. Dust source identification using MODIS: a comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1511-1528. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.03.002>
- Baddock, M. C., Gill, T. E., Bullard, J. E., Acosta, M. D., Rivera Rivera, N. I. 2011. Geomorphology of the Chihuahuan Desert based on potential dust emissions. *Journal of Maps*, 7(1), 249-259. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1178>
- Baddock, M. C., Ginoux, P., Bullard, J. E., Gill, T. E. 2016. Do MODIS-defined dust sources have a geomorphological signature?. *Geophysical Research Letters*, 43(6), 2606-2613. <https://doi.org/10.1002/2015GL067327>
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., Farajzadeh, M. 2021. Spatial Analysis of the Temporal Long-Term Variations in Frequency of Dust Storm Days in Iran. *Pure and Applied Geophysics*, 178(10), 4181-4194. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02820-0>
- Bolloorani, A. D., Kazemi, Y., Sadeghi, A., Shorabeh, S. N., Argany, M. 2020. Identification of dust sources using long term satellite and climatic data: A case study of Tigris and Euphrates basin. *Atmospheric Environment*, 224, 117299. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117299>
- Bolloorani, A. D., Nabavi, S. O., Bahrami, H. A., Mirzapour, F., Kavosi, M., Abasi, E., Azizi, R. 2014. Investigation of dust storms entering Western Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 124. <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0124-4>
- Broomandi, P., Karaca, F., Guney, M., Fathian, A., Geng, X., Kim, J. R. 2021. Destinations frequently impacted by dust storms originating from southwest Iran. *Atmospheric Research*, 248, 105264. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105264>
- Bullard, J. E., Harrison, S. P., Baddock, M. C., Drake, N., Gill, T. E., McTainsh, G., Sun, Y. 2011. Preferential dust sources: A geomorphological classification designed for use in global dust-cycle models. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 116(F4). <https://doi.org/10.1029/2011JF002061>
- Du, H., Wang, T., Xue, X., Li, S. 2018. Modelling of sand/dust emission in Northern China from 2001 to 2014. *Geoderma*, 330, 162-176. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.038>

- Engelstaedter, S., Kohfeld, K. E., Tegen, I., Harrison, S. P. 2003. Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: An evaluation using dust storm frequency data. *Geophysical Research Letters*, 30(6). <https://doi/abs/10.1029/2002GL016471>
- Engelstaedter, S., Tegen, I., Washington, R. 2006. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 73-100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.004>
- Gerivani, H., Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M., Jalali, N. 2011. The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6, 297-308. [https:// profdoc.um.ac.ir/ articles/ a/1019133.pdf](https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1019133.pdf)
- Hahnenberger, M., Nicoll, K. 2014. Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, USA. *Geomorphology*, 204, 657-672. [https:// doi.org/ 10.1016/ j.geomorph.2013.09.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.013)
- Hamidi, M., Kavianpour, M. R., Shao, Y. 2013. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3), 279-286. [https:// doi.org/1 0.1007/s13143-013-0027-9](https://doi.org/10.1007/s13143-013-0027-9)
- Hamzeh, N. H., Kaskaoutis, D. G., Rashki, A., Mohammadpour, K. 2021. Long-Term Variability of Dust Events in Southwestern Iran and Its Relationship with the Drought. *Atmosphere*, 12(10), 1350. <https://doi.org/10.3390/atmos12101350>
- Heald, C. L., Spracklen, D. V. 2015. Land use change impacts on air quality and climate. *Chemical reviews*, 115(10), 4476-4496. <http://dx.doi.org/10.1021/cr500446g>
- Huang, M., Peng, G., Zhang, J., Zhang, S. 2006. Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China. *Global and Planetary change*, 52(1-4), 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.006>
- Kandakji, T., Gill, T. E., Lee, J. A. 2020. Identifying and characterizing dust point sources in the southwestern United States using remote sensing and GIS. *Geomorphology*, 353, 107019. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.107019>
- Klingmüller, K., Pozzer, A., Metzger, S., Stenchikov, G. L., Lelieveld, J. 2016. Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(8), 5063–5073. <https://doi.org/10.5194/acp-16-5063-2016>
- Lee, J. A., Gill, T. E., Mulligan, K. R., Acosta, M. D., Perez, A. E. 2009. Land use/land cover and point sources of the 15 December 2003 dust storm in southwestern North America. *Geomorphology*, 105(1-2), 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.016>
- McTainsh, G., Strong, C. 2007. The role of aeolian dust in ecosystems. *Geomorphology*, 89(1-2), 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.07.028>
- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, W. A. N. G. 2008. A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37. [https:// www. isprs. org/ proceedings/ XXXVII/ congress/7_pdf/5_WG-VII-5/39.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/5_WG-VII-5/39.pdf)
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M. R., Panjehkeh, N., Ghanbari, A. 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International journal of environmental studies*, 66(3), 343-355. <https://doi.org/10.1080/00207230902720170>
- Moridnejad, A., Karimi, N., Ariya, P. A. 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.008>
- Moulin, C., Chiapello, I. 2006. Impact of human-induced desertification on the intensification of Sahel dust emission and export over the last decades. *Geophysical Research Letters*, 33(18). <https://doi/pdf/10.1029/2006GL025923>
- Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Ishizuka, M., Mikami, M., Kimura, R., Nikolich, G. 2017. Anthropogenic dust emissions due to livestock trampling in a Mongolian temperate grassland.

- Atmospheric Chemistry and Physics, 17(18), 11389. <https://doi.org/10.5194/acp-17-11389-2017>
- Notaro, M., Yu, Y., Kalashnikova, O. V. 2015. Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(19), 10-229. <https://doi/pdf/10.1002/2015JD023855>
- Parajuli, S. P., Yang, Z. L., Kocurek, G. 2014. Mapping erodibility in dust source regions based on geomorphology, meteorology, and remote sensing. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(9), 1977-1994. <https://doi/pdf/10.1002/2014JF003095>
- Philip, S., Martin, R. V., Snider, G., Weagle, C. L., van Donkelaar, A., Brauer, M., ... & Zhang, Q. 2017. Anthropogenic fugitive, combustion and industrial dust is a significant, underrepresented fine particulate matter source in global atmospheric models. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa65a4>
- Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., Wang, L. 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 3(4), 484-486. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1715300>
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C., Vishkaee, F. A. 2014. Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural hazards*, 71(1), 563-585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0927-0>
- Rashki, A., Middleton, N. J., Goudie, A. S. 2021. Dust storms in Iran–Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>
- Ravi, S., D'Odorico, P., Huxman, T. E., Collins, S. L. 2010. Interactions between soil erosion processes and fires: implications for the dynamics of fertility islands. *Rangeland Ecology & Management*, 63(3), 267-274. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00053.1>
- Reheis, M. C. 2006. A 16-year record of eolian dust in Southern Nevada and California, USA: Controls on dust generation and accumulation. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 487-520. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.006>
- Tan, M., Li, X., Xin, L. 2014. Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric environment*, 85, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.12.010>
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S. P., Kohfeld, K. E. 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical research letters*, 31(5). <https://doi/pdf/10.1029/2003GL019216>
- Wang, X., Cai, D., Chen, S., Lou, J., Liu, F., Jiao, L., ... & Che, H. 2021. Spatio-temporal trends of dust emissions triggered by desertification in China. *Catena*, 200, 105160. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105160>
- Wang, X., Cheng, H., Che, H., Sun, J., Lu, H., Qiang, M., ... & Lang, L. 2017. Modern dust aerosol availability in northwestern China. *Scientific reports*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09458-w>
- Wang, X., Liu, J., Che, H., Ji, F., Liu, J. 2018. Spatial and temporal evolution of natural and anthropogenic dust events over northern China. *Scientific Reports*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20382-5>
- Wang, X., Xia, D., Wang, T., Xue, X., Li, J. 2008. Dust sources in arid and semiarid China and southern Mongolia: Impacts of geomorphological setting and surface materials. *Geomorphology*, 97(3-4), 583-600. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.09.006>
- Wang, Y. Q., Zhang, X. Y., Arimoto, R. 2006. The contribution from distant dust sources to the atmospheric particulate matter loadings at XiAn, China during spring. *Science of the Total*

- Environment, 368(2-3), 875-883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.03.040>
- Ward, D. S., Mahowald, N. M., Kloster, S. 2014. Potential climate forcing of land use and land cover change. Atmospheric Chemistry and Physics, 14(23), 12701-12724. <https://doi.org/10.5194/acp-14-12701-2014>
- Webb, N. P., Herrick, J. E., Duniway, M. C. 2014. Ecological site-based assessments of wind and water erosion: informing accelerated soil erosion management in rangelands. Ecological Applications, 24(6), 1405-1420. <https://jornada.nmsu.edu/bibliography/14-027.pdf>
- Xin-fa, Q., Yan, Z., Qi-long, M. 2001. Sand-dust storms in China: temporal-spatial distribution and tracks of source lands. Journal of Geographical Sciences, 11(3), 253-260. <https://doi.org/10.1007/BF02892308>
- Zheng, Y., Zhao, T., Che, H., Liu, Y., Han, Y., Liu, C., ... & Zhou, Y. 2016. A 20-year simulated climatology of global dust aerosol deposition. Science of The Total Environment, 557, 861-868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.086>
- Zhuang, G., Guo, J., Yuan, H., Zhao, C. 2001. Composition, source and grain size fraction of the dust storms in China in 2000 and its influence to the global environments. Chinese Sciences Bulletin, 46, 191-197. <https://doi.org/10.1007/BF02900460>



Evaluation of Gully Erosion Sensitivity using Maximum Entropy Model in Shoor River Watershed (Mohr Township)

Aghil Madadi^{a*}, Sayyad Asghari Saraskanroud^b, Saeed Negahban^c, Mehri Marhamat^d

^a Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^b Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^c Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

^d PhD Candidate in Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran

Received: 14 April 2022

Revised: 4 May 2022

Accepted: 31 May 2022

Abstract

Gully erosion is one of the most important land degradation processes that leads to reduced land use. The southern and southeastern parts of the Shoor-Mohr basin have been affected by gully erosion. The consequences of this type of erosion include disturbing the ecological balance of the region, endangering the biological resources, which have necessitated the study of gully erosion in the region. The purpose of this study is to prepare a zoning map for gully erosion sensitivity using the maximum entropy model and GIS. To achieve this goal, 15 variables were selected: height, slope, slope direction, distance from waterway, drainage density, distance from road, soil texture, geology, land use, rainfall, distance from fault, vegetation, cross section curvature, flow strength index (SPI), and Topographic Moisture Index (TWI). Linearity test was performed using Variance Inflation Factor and Tolernace indices. Out of 100 selected gullies, 70% were randomly selected for educational data and 30% for classification validation. Bootstrap sampling method was used to run the model. Jackknife test was used to determine the most important variables and ROC curve was used to determine the predictive power of the model. Test results showed alignment between vegetation, fault distance, cross-sectional curvature, SPI, and TWI, they were thus omitted. According to Jackknife test, the variables of height, average annual rainfall, soil texture, drainage density, geology, distance from the road, distance from the river had the greatest effect on gully erosion, respectively. The ROC curve represents 95% accuracy in the validation stage of the model. According to this model, more than 15% of the basin (8445.83 hectares) is very sensitive to gully erosion.

Keywords: Gully Erosion, Zoning, Sensitivity, Maximum Entropy, ROC

*. Corresponding author: Aghil Madadi E-mail: a_madadi@uma.ac.ir Tel: +989143533026

How to cite this Article: Madadi, A., Asgharisaraskanroud, S., Negahban, S., Marhamat, M. (). Evaluation of gully erosion sensitivity using Maximum Entropy model in Shoor river watershed (Mohr Township) . *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 11(2), 123-145
DOI:10.22067/geoeh.2022.76707.1228



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76707.1228> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۱۴۵-۱۲۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور (شهرستان مهر)

 عقیل مددی^۱ - استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

صیاد اصغری سراسکانرود-دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

سعید نگهبان- دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز.

مهری مرحمت- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۱۰

چکیده

فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تخریب زمین است که منجر به کاهش بهره‌برداری از زمین می‌گردد. بخش جنوب و جنوب شرقی حوضه شور مهر تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته است، از پیامدهای این نوع فرسایش می‌توان به بهم خوردن تعادل اکولوژیک منطقه، به خطر افتادن منابع زیستی اشاره کرد که این امر مطالعه در مورد فرسایش خندقی در منطقه را ضروری می‌کند. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. برای رسیدن به هدف مزبور ۱۵ متغیر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، فاصله از جاده، بافت خاک، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، انحنای مقطع، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) انتخاب و تست هم خطی با استفاده از شاخص‌های (Variance Inflation Factor) و (Tolernace) گرفته شد. از ۱۰۰ خندق انتخابی موردبررسی ۷۰ درصد به صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد برای اعتبار

Email: a_madadi@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۵۳۳۰۲۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ نگهبان، سعید؛ مرحمت، مهری. (۱۴۰۱) ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از

مدل حداکثر آنتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور (شهرستان مهر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳). صص ۱۴۵-۱۲۳
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76707.1228>

سنجی طبقه‌بندی و از روش نمونه‌برداری Bootstrap برای اجرای مدل استفاده شد. جهت تعیین مهم‌ترین متغیرها از آزمون جک نایف و برای مشخص نمودن قدرت پیش‌بینی مدل از منحنی ROC استفاده شد. نتایج تست هم خطی بین پوشش گیاهی، فاصله از گسل، انحنا، مقطع، SPI و TWI وجود داشت در نتیجه حذف شدند. بر اساس آزمون جک نایف به ترتیب متغیرهای ارتفاع، متوسط بارندگی سالانه، بافت خاک، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه بیشترین تأثیر را در فرسایش خندقی داشتند. منحنی ROC نشان دهنده دقت ۹۵ درصدی در مرحله اعتبار سنجی مدل است. بر اساس این مدل بیش از ۱۵ درصد حوضه (۸۴۴۵٫۸۳ هکتار) دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد به فرسایش خندقی است.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خندقی، پهنه‌بندی، حساسیت، حداکثر آنتروپی، ROC.

۱-مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی سراسر جهان، فرسایش خاک است (مارارکانی و سامنر^۱، ۲۰۱۷). خاک‌هایی که تحت یک سری فرایندهای تخریب قرار می‌گیرند مانند فشردگی، از دست دادن مواد مغذی و از دست دادن ظرفیت ذخیره‌سازی آب، منجر به فرسایش خاک می‌شود (پاناگوس و همکاران^۲، ۲۰۱۸). یکی از انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی که دارای مساحت کمتری نسبت به دیگر اشکال فرسایش آبی است اما جزء عوامل اصلی فرسایش خاک در بسیاری از حوضه‌ها به شمار می‌آید. فرسایش خندقی یکی از مشکلات زیست‌محیطی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد (آزره و همکاران^۳، ۲۰۱۹). از جمله پارامترهای محیطی که می‌توانند بر میزان پتانسیل فرسایش خندقی تأثیر بگذارند از قبیل هیدرولوژیکی، اقلیمی، توپوگرافی، اکولوژیک، زمین‌شناسی و انسانی است (کریمی نژاد و همکاران، ۲۰۱۹). پیامدهای این پدیده می‌تواند به ایجاد انواع خسارات در جاده‌ها، منابع طبیعی، مناطق مسکونی، کشاورزی و زیرساخت‌ها اشاره کرد (ذاکرنژاد و مرکز^۴، ۲۰۱۵). استفاده از الگوریتم‌های ماشینی در تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی دارای کارایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی هستند (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶). از جمله مدل‌های یادگیری ماشینی که به محققان اجازه می‌دهند نقشه حساسیت به فرسایش خندقی را تهیه کنند و با تعیین روابط آماری بین عوامل محیطی و توزیع مکانی خندق‌ها، احتمال مکانی وقوع خندق‌ها را ارزیابی و پیش‌بینی کنند، مدل حداکثر آنتروپی است. در داخل و خارج از کشور مطالعات زیادی در خصوص فرسایش خندقی صورت گرفته است که نشان دهنده این موضوع است که پارامترهای محیطی مختلف می‌تواند بر فرسایش خندقی اثرگذار باشد. علی‌رغم حساسیت بالا حوضه آبخیز شور به فرسایش خندقی و با توجه به خطرات ناشی از این نوع فرسایش برای زیرساخت‌های انسانی و منابع آب‌و خاک، تاکنون مطالعات اندکی با

1 Mararakanye & Sumner

2 Panagos et al

3 Azareh et al

4 Zakernejad & Maerker

استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی در این منطقه صورت گرفته است؛ بنابراین مطالعه حاضر به‌منظور پر کردن این خلأ انجام شده است. حوضه آبخیز رودخانه شور در شهرستان مَهر (استان فارس) بخصوص دشت‌های دامنه‌ی واقع در شرق حوضه تا روستای چاهو به شدت تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار دارد. نوسان زیاد بارش در دوره‌های

جدول ۱- برخی مطالعات انجام شده در ایران و جهان

نویسندگان	عنوان	منطقه مورد مطالعه	هدف بررسی	روش	نتیجه‌گیری
ذاکری نژاد (۱۳۹۹)	ارزیابی مدل‌های رقومی ارتفاع جهت تهیه نقشه پتانسیل فرسایش خندقی	حوضه آبخیز سمیرم، جنوب استان اصفهان	تهیه شاخص‌های مختلف توپوگرافی از نقش‌های رقومی ارتفاع و انتخاب بهترین شاخص و بهترین مدل جهت پهنه‌بندی فرسایش خندقی	مدل مکسنت و سیستم اطلاعات جغرافیایی	مدل ارتفاعی SRTM دارای دقت بالاتری نسبت به ASTER است. نقشه پهنه‌بندی نشان داد که نواحی جنوبی و جنوب غربی دارای پتانسیل بالایی برای فرسایش می‌باشند.
شهبازی و وکیلی تجربه (۱۴۰۰)	اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و تعیین پهنه‌های حساس	استان کرمانشاه	پهنه‌بندی عرصه‌های خندق و اولویت‌بندی آبکندها از نظر میزان خسارت و تعیین عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها	مدل مکسنت	لایه‌های لیتولوژی، شیب، ارتفاع و تراکم آبراهه به ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر حساسیت وقوع فرسایش خندقی است.
آذره و همکاران (۲۰۱۹)	مدل‌سازی حساسیت به فرسایش خندقی	منطقه چوار، شمال استان ایلام	تعیین مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده فرسایش خندقی	بررسی کاربرد ضریب اطمینان و حداکثر آنتروپی	نقشه‌های تهیه شده از مدل حداکثر آنتروپی دارای دقت بالاتری نسبت به ضریب اطمینان دارد. همچنین شیب، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی جز تأثیرگذارترین عوامل بر ایجاد فرسایش در منطقه به شمار می‌آید.
برنینی و همکاران ^۱ (۲۰۲۱)	ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی	حوضه رودخانه مخمازی فوقانی، کشور آفریقای جنوبی	شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر عوامل محرک فرسایش خندقی	مدل مکسنت	تقسیم خندق‌ها به دو گروه: گروه A: نهشته‌های شیب کولوویال را برش می‌دهند گروه B: در نواحی پایین دره متمرکز شده‌اند که با رسوبات تراس کولوویال یا آبرفتی با پالئوسول‌های درونی مشخص شده است.

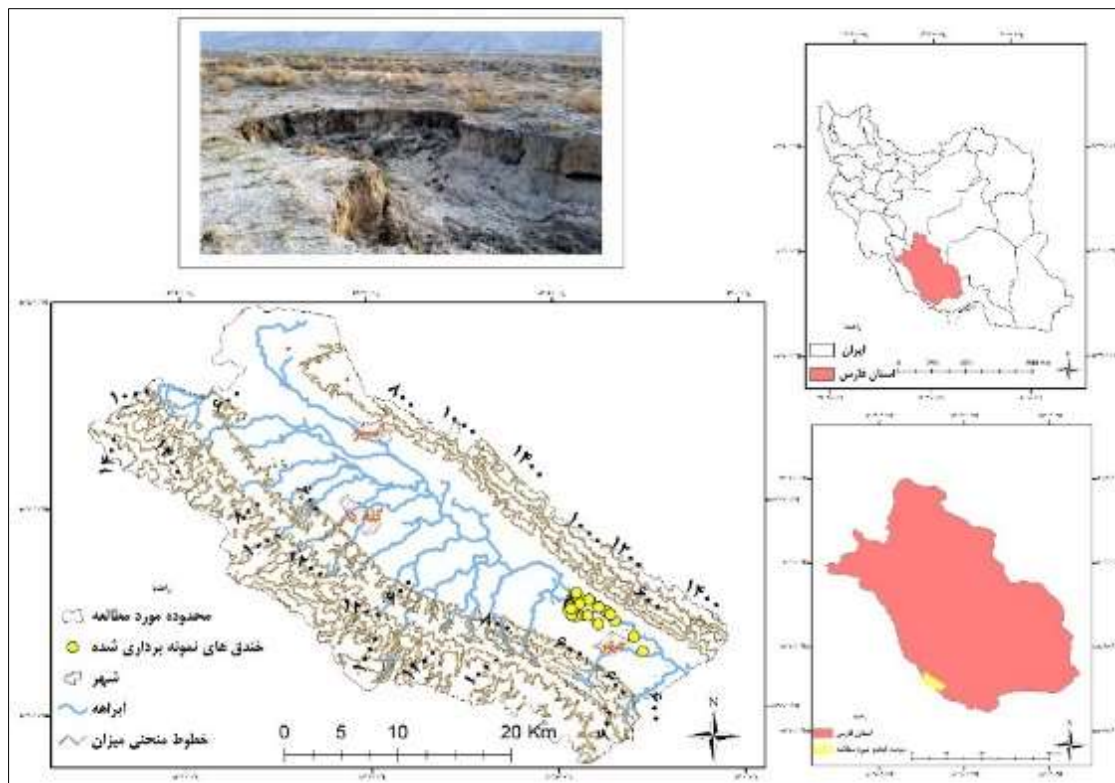
نویسندگان	عنوان	منطقه مورد مطالعه	هدف بررسی	روش	نتیجه گیری
جاویدان و همکاران (۲۰۲۱)	ارزیابی نقشه های خطر (سیل)، رانش زمین و فرسایش خندقی)	حوضه آبخیز گرگانرود، استان گلستان	بررسی توانایی مدل Maxent برای پیش بینی وقوع سیل، رانش زمین و فرسایش خندقی و برای درک بهتر روابط بین این فرآیندها و عوامل کتر کننده آنها	مدل مکسنت	عوامل ایجاد سیل: تراکم رودخانه، فاصله از رودخانه و ارتفاع. عوامل ایجاد زمین لغزش: سنگ شناسی، ارتفاع، و میانگین بارندگی سالانه و عوامل ایجاد فرسایش خندقی: میانگین سالانه بارندگی، ارتفاع و سنگ شناسی بوده است. با ترکیب نقشه های حساسیت به سیل، زمین لغزش و فرسایش خندقی، یک نقشه یکپارچه چند خطر ایجاد شده است.

مختلف، ضعف یا نبود پوشش گیاهی سطح زمین در بعضی نقاط باعث شده خندق های زیادی شکل گیرد. همچنین به سبب دخالت انسان مانند چرای مفرط، شخم زدن زمین ها در جهت شیب، حرکت وسایل نقلیه و ماشین آلات کشاورزی در زمین ها و مراتع و غیره فعالیت این پدیده را به مرحله بحرانی رسانده است (شکل ۱). در این تحقیق با بررسی برخی عوامل محیطی و انسانی سعی بر آن شده است که عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی شناسایی و با تهیه نقشه حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پیش بینی دقیق تر و از خسارات ناشی از آن تا حد امکان جلوگیری شود. بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش، مدل سازی و تغییرات ابعاد هندسی خندق ها با روش های مختلف صورت گرفته است که هر کدام دارای نتایج متفاوتی از یکدیگر بوده اند؛ اما آنچه که بین این نتایج مشترک بوده است رشد خندق ها و تخریب خاک در مناطق مختلف می باشد که به برخی از آن ها اشاره شده است (جدول ۱).

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد پژوهش

حوضه آبخیز رودخانه شور با مساحت ۱۰۱۳۵۰ هکتار و میانگین ارتفاعی ۱۰۵۰/۵ متر در قسمت شرق و شمال شرقی شهرستان مَهر، در جنوب استان فارس واقع شده است. این حوضه بین ۲۷ درجه، ۲۷ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۲۷ درجه، ۴۹ دقیقه و ۴۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه، ۲۴ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۵۲ درجه، ۵۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نمونه‌ی از خندق‌های ایجاد شده در منطقه

۲-۲- مواد و روش

۲-۲-۱- انتخاب عوامل موثر بر فرسایش خندقی

خروجی حوضه (جنوب و جنوب شرقی) آبرفت‌ها به تدریج که از شدت جریان آب و شیب زمین کاسته می‌شود از حرکت باز می‌ماند و در سطح زمین رسوب می‌کند. این قسمت دارای حساسیت بالا به فرسایش خندقی تحت تأثیر برخی عوامل طبیعی از جمله شرایط اقلیمی (بارندگی)، خاک (رسی و سیلتی، شنی لومی) و برخی عوامل مرتبط با انسان از جمله چرای بی‌رویه و اعمال نامناسب کشاورزی است. به‌طوری‌که فرسایش خندقی مهم‌ترین ویژگی در این قسمت حوضه است. مقدار بارندگی در این قسمت از حوضه بین ۱۷۰-۱۸۰ میلی‌متر است که نشان دهنده این موضوع است که در فصل خشک ترک‌ها و شکاف‌های در سطح زمین ایجاد می‌گردد و با ایجاد بارش‌های ناگهانی و با شدت زیاد، آب وارد این شکاف‌ها شده و به درون زمین نفوذ می‌کند و در جهت شیب زمین و با انحلال مواد محلول موجب شکل‌گیری پیپ‌های زیر زمینی می‌شود که عامل مهمی در انتقال مواد انحلال‌پذیر و رسوب به شبکه‌های جاری می‌گردد.

در زمینه انتخاب عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی دستورالعمل خاصی وجود ندارد؛ بنابراین براساس روش کار محققان قبلی در این تحقیق ۱۵ متغیر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، فاصله از جاده، بافت خاک، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، انحنا، مقطع، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) انتخاب شد. در مرحله بعد تست هم خطی بین پارامترها به وسیله دو شاخص ضریب تحمل (tolerance) و عامل تورم واریانس (variance inflation factor) صورت گرفت. اگر مقدار ضریب تحمل کمتر یا مساوی ۰/۱ باشد و مقدار تورم واریانس بیشتر یا مساوی پنج باشد نشان‌گر هم خطی پارامترها است (پاندی و همکاران^۱، ۲۰۱۸). پس از انجام تست هم خطی ۱۰ پارامتر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک و مقدار بارندگی جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی انتخاب شد. مقدار بارندگی با تغییرات ارتفاع تغییر می‌کند که موجب تغییر در میزان هوازدهی و میزان نفوذ آب خواهد شد و از این طریق فرسایش خندقی را کنترل می‌کند (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۷). این لایه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی Landsat-۸ در ابعاد ۳۰ در ۳۰ تهیه گردید. با کاهش شیب، سرعت حرکت رواناب‌های سطحی کاهش می‌یابد و موجب تجمع و نفوذ این رواناب‌ها می‌گردد در نتیجه منطقه را برای فرسایش خندقی آماده می‌کند (هانگ‌شن و همکاران^۲، ۲۰۱۴). این لایه با استفاده از نقشه DEM در محیط Arc GIS و با استفاده از تابع Slope تهیه شد. جهت شیب می‌تواند تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی و تابش خورشید را کنترل کند؛ بنابراین می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در نظر گرفته شود. این لایه در محیط ArcGIS و با استفاده از تابع aspect از نقشه DEM استخراج گردید. آبراهه‌ها با ایجاد شیارها و شکافتن لایه‌های به هم پیوسته خاک، موجب افزایش نفوذ آب‌های سطحی می‌گردد. همچنین موجب ناپایداری دامنه‌ها و تغییر شیب در منطقه می‌گردند که این امر باعث ایجاد سطوح ضعیف بر روی دامنه‌ها است و سازه‌های اطراف را تحت تأثیر این پدیده قرار می‌گیرد (بهیاری و همکاران، ۱۳۹۶). این لایه در محیط ArcGIS و با استفاده از تابع Euclidean distance تهیه شد. جاده باعث تمرکز رواناب سطحی، انحراف رواناب متمرکز به سایر حوضه‌ها و افزایش اندازه حوضه می‌شود که دلایل اصلی توسعه خندق پس از ساخت جاده است. برای بررسی ارتباط بین وقوع خندق با فاصله از جاده در محیط ArcGIS و با استفاده از تابع Euclidean distance اقدام به تهیه نقشه شد. در این نقشه، فاصله اقلیدسی برای هر یک از راه‌های داخل حوضه تعریف شد. تراکم زهکشی تحت تأثیر بارندگی، زمین‌شناسی، نوع پوشش گیاهی، شیب و خاک حوضه آبخیز است (ماناپ و همکاران^۳، ۲۰۱۳). این پدیده موجب کاهش نفوذپذیری، رواناب بیشتر و در نتیجه حساسیت بیشتر منطقه به فرسایش خندقی می‌گردد (کاناستی و همکاران^۴، ۲۰۱۸). این لایه در محیط Arc GIS و با استفاده از

1 Pandey et al

2 Hongchun et al

3 Manap et al

4 Conoscenti et al

تابع Line Density تهیه شد. سنگ‌شناسی و سازندهای موجود عامل بسیار مهمی بر فرایندهای سطح زمین و توسعه شکل‌های فرسایشی مانند خندق‌ها تأثیر می‌گذارد (اگنسی و همکاران^۱، ۲۰۱۱). این لایه از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شد. نوع کاربری اهمیت بالایی در مقدار نفوذ، تبخیر و فرسایش دارد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۹). به‌طور کلی کاربری اراضی یک محرک مهم ایجاد خندق و تخریب زمین است. برای تهیه این لایه ابتدا تصاویر ماهواره Landsat8 از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده دانلود شد. سپس در محیط نرم‌افزاری ENVI 5.3 مرحله پیش‌پردازش که شامل تصحیح رادیومتریکی است، انجام شد. پس از آن تصحیح اتمسفری با استفاده از روش Flash Atmospheric Correction انجام شد. بعد از اعمال روش‌های فوق منطقه مورد مطالعه از کل تصویر جدا شد. برای اینکه پدیده‌ها از وضوح بالاتری برخوردار باشند با استفاده از دستور Gram Schmidt Pan Sharpening قدرت تفکیک ۳۰ متری لندست ۸ با به‌کارگیری باند پانکروماتیک ۱۵ همه باندهای مالتی اسپکترال به ۱۵ متری تبدیل شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌ها برای نمونه‌برداری بهتر و دقیق از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد. بعد از تصحیحات انجام شده بر روی تصاویر، نقشه کاربری اراضی استخراج گردید. نرخ و الگوهای توسعه خندق به شدت توسط خواص خاک کنترل می‌شود. فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر بافت خاک و سایر خصوصیات فیزیکی خاک است (اورسوالد و همکاران^۲، ۲۰۱۴). این لایه از اداره مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس دریافت شد. بر اساس این نقشه منطقه، دارای ۶ نوع کلاس بافت خاک است. از جمله پارامترهای اقلیمی که نقش مهمی در وقوع فرسایش خندقی دارد، بارش است (خطیبی، ۱۴۰۰). متوسط بارش سالانه حوضه، بر اساس آمار بارندگی استخراج شده از سازمان آب منطقه استان فارس، با استفاده از ۸ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک و دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۷۵ آماده و نقشه با استفاده از تابع IDW در نرم‌افزار ArcGIS درون‌یابی شد (جدول ۲).

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده به منظور تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه

داده	روش تهیه
مدل رقومی ارتفاعی (DEM)	تصاویر ماهواره لندست ۸ در ابعاد ۳۰ در ۳۰
شیب	استفاده از نقشه DEM و تابع slope در نرم‌افزار ArcGIS
جهت شیب	استفاده از نقشه DEM و تابع aspect در نرم‌افزار ArcGIS
فاصله از آبراهه و فاصله از جاده	استفاده از نقشه توپوگرافی و نقشه DEM و استفاده از تابع Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS
تراکم آبراهه	استفاده از نقشه DEM و تابع Line Density در نرم‌افزار ArcGIS

1 Agnesi et al

2 Auerswald et al

داده	روش تهیه
سنگ شناسی	با استفاده از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
کاربری اراضی	تصاویر ماهواره لندست ۸ در ابعاد ۳۰ در ۳۰
بافت خاک	اداره مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
متوسط بارندگی	از طریق ایستگاه‌های باران سنجی و تابع IDW در نرم افزار Arc GIS

۲-۲-۲- ثبت موقعیت خندق

در پژوهش حاضر برای شناسایی پهنه‌های حساس به فرسایش خندقی، بازدیدهای گسترده میدانی انجام شد و موقعیت خندق توسط جی پی اس (GPS)^۱ ثبت و سپس وارد نرم افزار Arc GIS 10.5 شد در مجموع ۱۰۰ خندق در منطقه به صورت تصادفی انتخاب و ثبت گردید.

۳-۲-۲- مدل حداکثر آنتروپی (Maxent)

Maxent یک روش یادگیری ماشینی مبتنی بر الگوریتم‌های آماری با یک فرمول ریاضی ساده و دقیق است (فیلیپس و همکاران^۲، ۲۰۰۶). این مدل حساسیت هر سلول شبکه را به عنوان تابعی از متغیرهای محیطی آن سلول شبکه بیان می‌کند. به این ترتیب، امکان پیش‌بینی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی و ارزیابی حساسیت منطقه را فراهم می‌کند. همچنین از نظر عملکرد این مدل بهتر از سایر الگوریتم‌های آماری است. برای ساخت مدل آنتروپی حداکثر، لازم است تمامی نقشه‌های متغیرهای محیطی ورودی به مدل، با فرمت ASCII در نرم افزار Arc GIS تهیه گردد. تمامی نقشه‌های موجود برای ورود به مدل باید موقعیت مکانی، اندازه سلول، تعداد سلول و دارای سیستم مختصات یکسانی باشد تا مدل بتواند انطباق کامل را انجام دهد (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷). از آخرین نسخه به روزرسانی شده 3.4.4 این مدل در این پژوهش استفاده گردید. برای کار با این نرم افزار با تعدادی ورودی، خروجی و پارامتر روبرو هستیم. اگر داده‌ها از فایل اکسل استفاده گردد فرمت داده‌ها حتماً باید CSV باشد. در این روش از ۷۰ درصد نقاط حضور به صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد خروجی این مدل اصولاً به صورت ۳ فایل می‌باشد: ۱- یک فایل با پسوند html که اصلی ترین فایل خروجی می‌باشد و شامل محاسبه‌های آماری، نقشه‌ها، تصویر مدل و پیوند فایل‌های دیگر می‌باشد، همچنین شامل پارامترها و تنظیماتی است که برای جدا کردن مدل استفاده شده است. ۲- یک فایل با پسوند asc که شامل نقشه پیش‌بینی‌ها با قالب (format ascii)، یک فایل با پسوند Png که شامل تصویر پیش‌بینی توزیع می‌باشد. ۳- نقشه‌های مختلف و نمودارها در دایرکتوری Plot ذخیره می‌شوند. در نظر داشته باشید نقشه پیش‌بینی ساخته شده توسط

1 Global Positioning System

2 Philips et al

Maxent یک نقشه احتمالی پیوسته است و این احتمال بین صفر (عدم حساسیت) و یک (حساسیت بسیار بالا) است. همچنین آزمون جک نایف متغیرهای مؤثر را تعیین و سهم هریک از این عوامل را نشان می‌دهد.

۲-۳-۱- روش نمونه‌برداری

روش بوت استرپ (Bootstrap): یکی از تکنیک‌های بازنمونه‌گیری طبقه‌بندی شده و برای تعیین خطای استاندارد و فاصله اطمینان به کار گرفته می‌شود. این روش در حین سادگی اما یکی از روش‌های قوی نمونه‌گیری مونت کارلو محسوب می‌شود که عموماً برای دقت آماری و یا برآورد S توزیع از پارامترهای نمونه استفاده می‌شود. در این روش نمونه تصادفی اولیه را به عنوان چارچوب جامعه به شمار می‌آورد و بعد نمونه‌های مونت کارلو را از خود نمونه اولیه با جایگذاری انتخاب می‌کند. عموماً هیچ فرض پارامتری بر جامعه که از آن نمونه‌برداری شده است، وجود ندارد به همین دلیل از یک توزیع یکنواخت گسسته بر روی نمونه‌های تصادفی در نظر می‌گیرند. به عبارتی دیگر این روش، نمونه‌گیری از یک نمونه می‌باشد که با تکیه بر یک نمونه مشخص انجام می‌گیرد که آن نمونه مشخص تنها منبعی است که پژوهشگر برای پژوهش در اختیار دارد و همین امر بر اهمیت این روش می‌افزاید (پراساد و همکاران^۱، ۲۰۰۸). دو پیش فرض مهم این روش شامل ۱- نمونه، نمونه معتبری از جمعیت است. ۲- نمونه را با جایگزینی از نمونه اصلی می‌گیرد که هر نمونه گرفته شده با این روش، دارای توزیع جمعیت برابر هستند ولی هر نمونه مستقل از نمونه‌های دیگر است. اگر تعداد اطلاعات حضور کم باشد و بخواهید با تکرار کم انجام دهید، این روش بهترین گزینه خواهد بود. در این روش N نمونه با جایگذاری انتخاب می‌گردد. احتمال انتخاب یک نمونه $\frac{1}{N}$ است. احتمال اینکه یک نمونه N بار انتخاب نشود برابر با ۰.۳۶۸ است.

رابطه (۳):

$$\left(1 - \frac{1}{N}\right)^N \approx e^{-1} = 0.368$$

در نتیجه در هر بار مجموعه آموزشی فقط ۶۳ درصد داده‌ها را در بر می‌گیرد. از آنجایی که تعداد اطلاعات کم بوده است به همین علت این روش انتخاب گردید.

۲-۳-۲- ارزیابی مدل (Maxent)

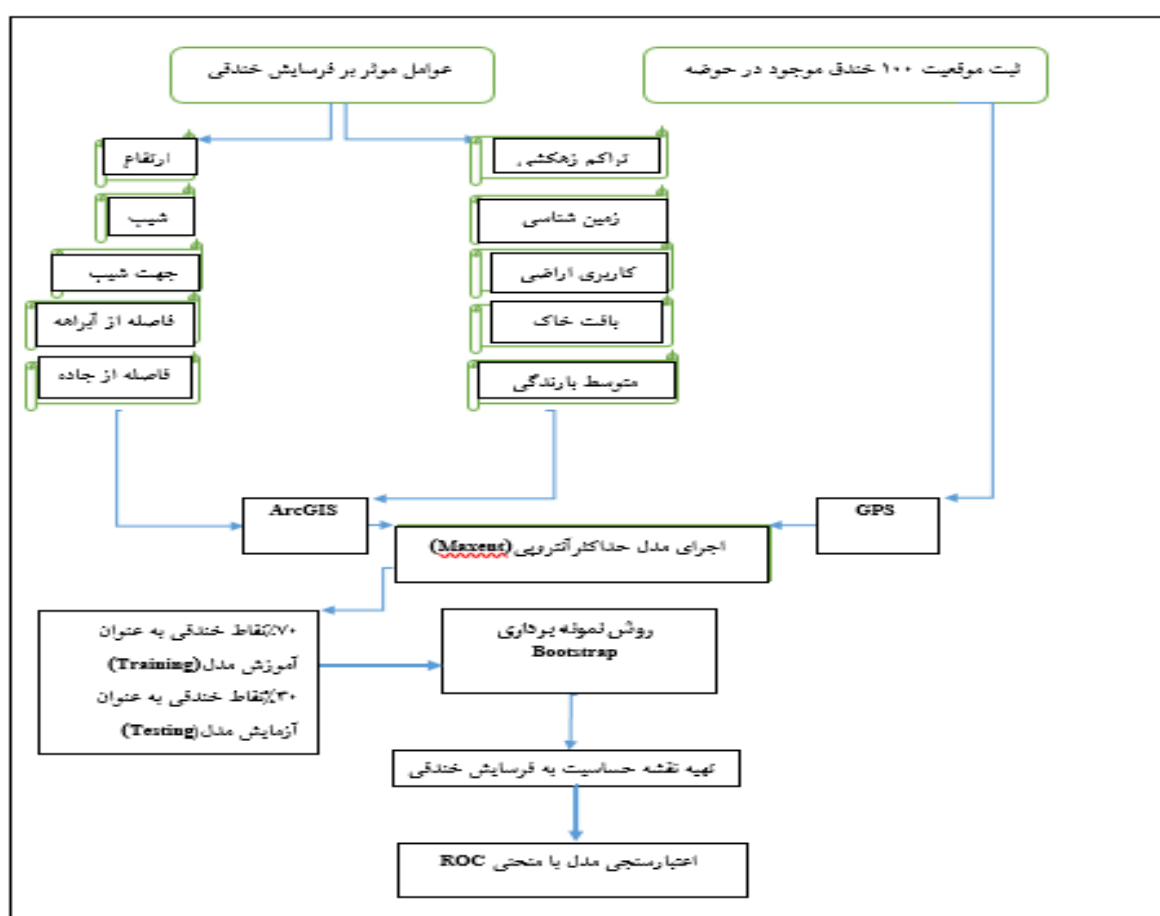
مدل‌ها بدون تأیید از اعتبار علمی برخوردار نیستند. منحنی‌های مشخصه عملکرد گیرنده (ROC^۲) معمولاً برای انجام ارزیابی‌های دقت پیش‌بینی استفاده می‌شوند. این منحنی یک شاخص مؤثر برای کیفیت مدل‌های قطعی و احتمالی و سیستم‌های پیش‌بینی است. افرادی همچون (آنجیلری و همکاران^۳، ۲۰۱۶) برای ارزیابی و عملکرد مدل‌ها

1 Prasad et al

2 Receiver Operating Characteristic

3 Angileri et al

در تعیین توانایی پیش‌بینی وقوع درستی خندق‌ها از منحنی ROC استفاده کردند. مساحت زیر منحنی (AUC)^۱ به عنوان یک اقدام عملکردی مستقل از آستانه در نظر گرفته شده است، که برای اندازه‌گیری صحت پیش‌بینی‌های مکانی به کار گرفته شده است (عمر و همکاران^۲، ۲۰۱۴). مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ می‌باشد. مقادیر پیش‌بینی دقت مدل‌هایی که از منحنی‌های AUC استفاده می‌کنند به شرح زیر تعیین می‌شوند: ۰/۵-۰/۶ (ضعیف)، ۰/۶-۰/۷ (متوسط)، ۰/۷-۰/۸ (خوب)، ۰/۸-۰/۹ (بسیار خوب)، ۱-۰/۹ (عالی) است (عربامری، ۲۰۱۹). مراحل اجرای کار در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- فرآیند پژوهش

1 Area Under Curve

2 umar et al

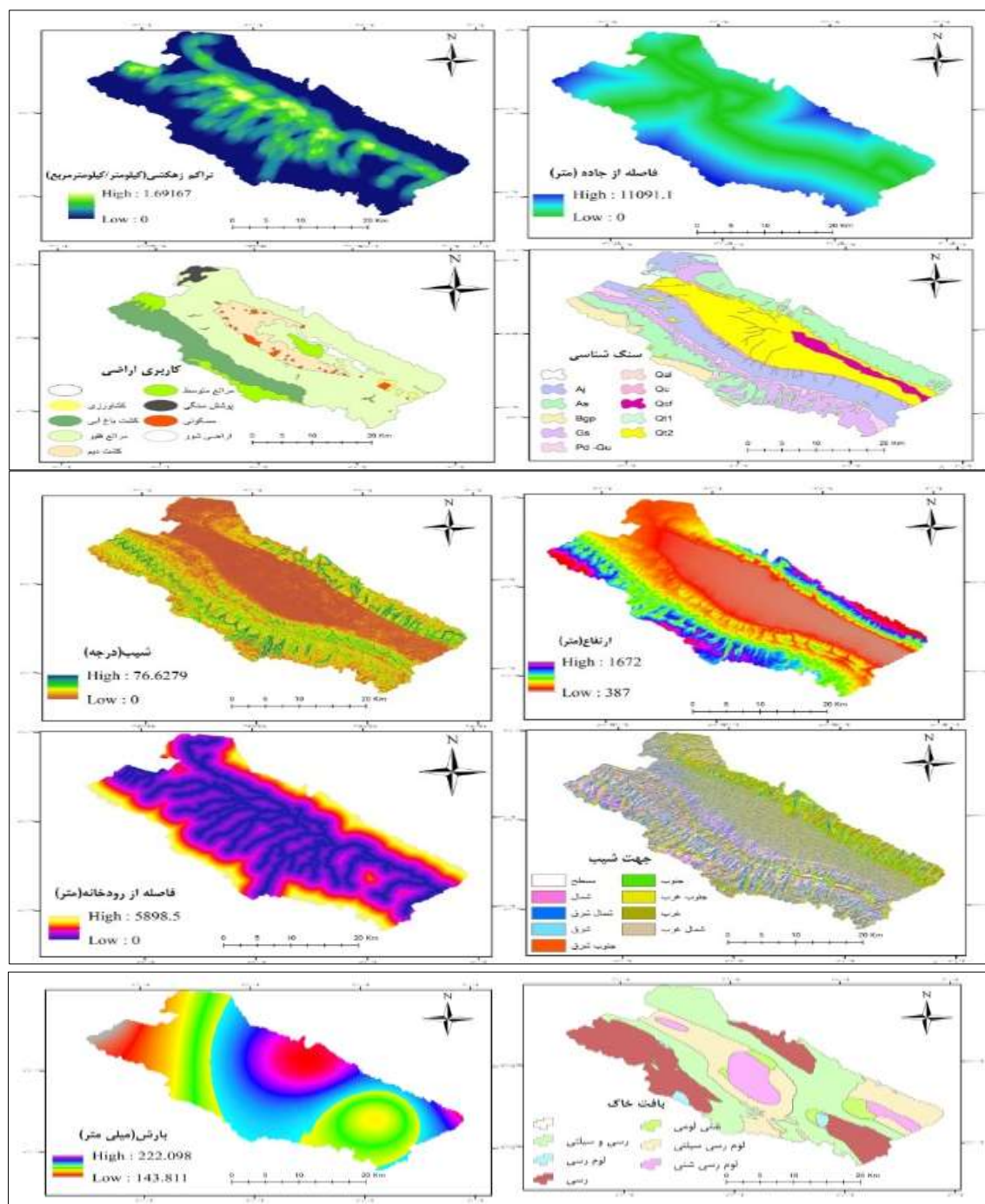
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج

در تهیه نقشه حساسیت به فرسایش خندقی، انجام تست هم خطی بین متغیرهای انتخابی دارای اهمیت است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷). از میان ۱۵ متغیر انتخابی، ۵ متغیر دارای هم خطی هستند و به علت پایین آمدن دقت پیش‌بینی مدل حذف شدند و ۱۰ پارامتر دیگر که دارای ضریب تحمل بیش از ۰/۱ و عامل تورم واریانس کمتر از ۵ دارند، در جریان مدل‌سازی قرار گرفتند (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۳- نتایج آنالیز بین متغیرهای محیطی مؤثر بر فرسایش خندقی

عوامل	تست هم خطی	
	عامل تورم واریانس	ضریب تحمل
ارتفاع	۹۵۳/	۱/۲۳۲
شیب	۲۵۴/	۳/۶۷۸
جهت شیب	۵۶۵/	۳/۰۵۶
فاصله از آبراهه	۶۲۲/	۲/۶۷۸
فاصله از جاده	۴۹۸/	۲/۹۸۹
تراکم زهکشی	۳۳۲/	۳/۱۱۰
زمین‌شناسی	۷۶۷/	۲/۵۵۴
کاربری اراضی	۷۹۸/	۴/۰۹۹
بافت خاک	۸۵۶/	۲/۴۵۵
متوسط بارندگی سالانه	۶۵۳/	۴/۰۶۵



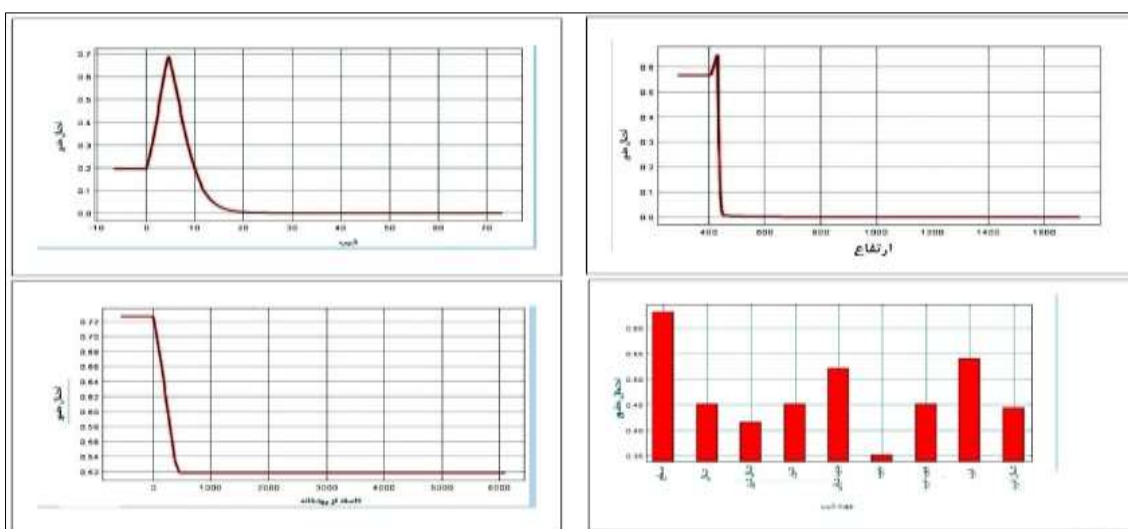
شکل ۳- متغیرهای محیطی مؤثر بر فرسایش خندقی

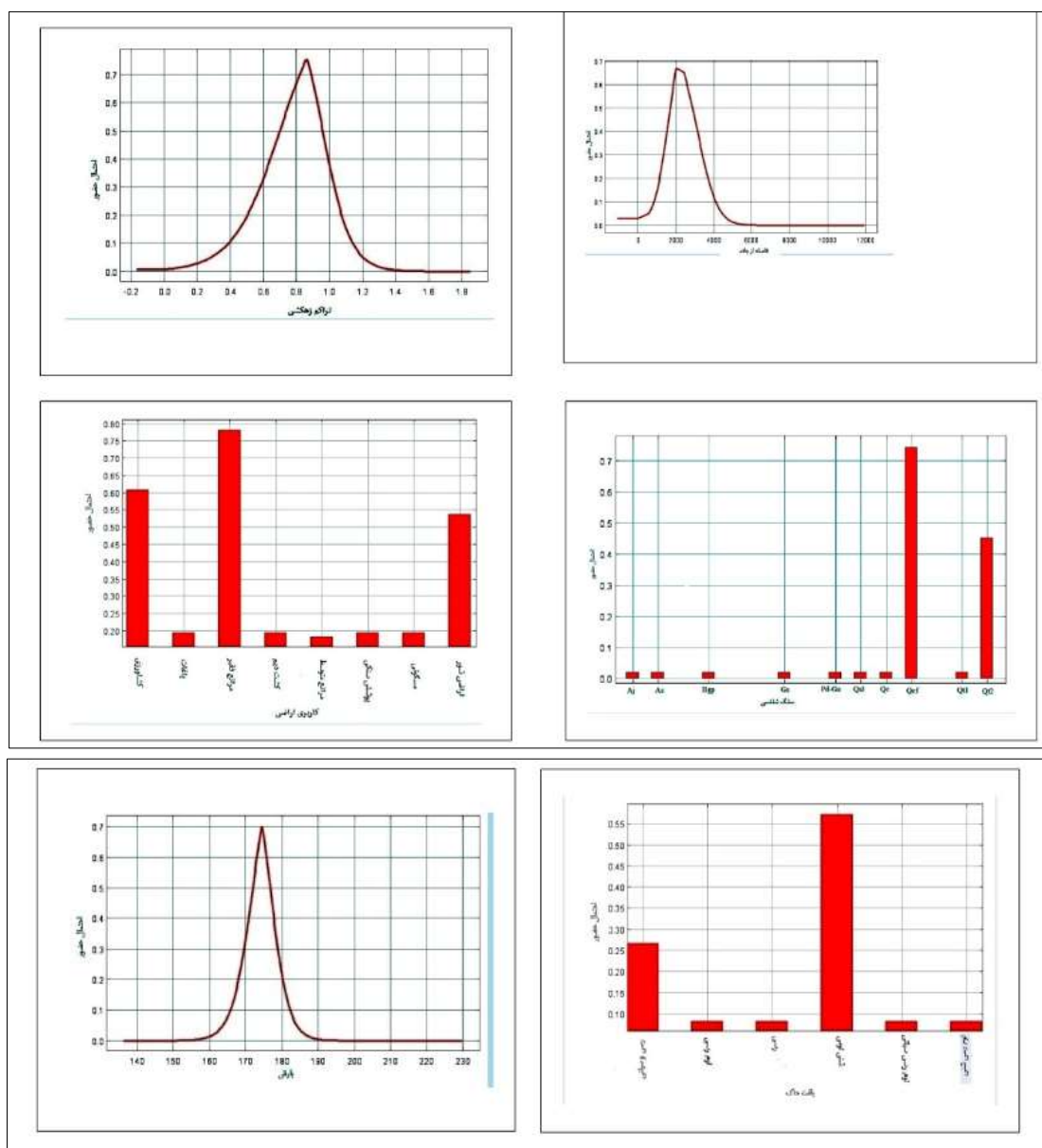
بررسی منحنی پاسخ تغییرات متغیرهای مورد استفاده جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی در مدل Maxent به شرح زیر است:

دامنه ارتفاعی منطقه بین ۳۸۷ تا ۱۶۷۲ متر متغیر و از شمال غرب به سمت جنوب غرب ارتفاع کاهش می‌یابد. خندق‌ها در طبقات ارتفاعی کمتر از ۵۰۰ متر ایجاد و گسترش یافته‌اند. شیب حوضه آبخیز بین صفر تا ۷۶ درجه است که شیب حدود صفر تا ۱۰ درجه بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش خندقی دارد. در میان جهات مختلف شیب (مسطح، غرب و جنوب شرقی) بیشترین تأثیر را در رخداد فرسایش خندقی دارند. فاصله از آبراهه‌های حوضه تا ۵۸۹۸ متر می‌رسد که عموماً خندق‌ها در فاصله ۵۰۰ متری از آبراهه‌ها شکل گرفته‌اند. همچنین فاصله از جاده تا ۱۱۰۹۱ متر است که خندق‌ها حدوداً بین ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر از جاده‌ها ایجاد شده‌اند. تراکم آبراهه‌ها حداکثر تا ۱/۶۹ کیلومتر بر کیلومتر مربع است و خندق‌ها بین ۰/۶ تا ۱/۲ کیلومتر بر کیلومتر مربع در حوضه شکل گرفته‌اند. همچنین این حوضه دارای واحدهای سنگ‌شناسی متنوعی شامل سازند آغاچاری (Aj)، آسماری (As)، بنگستان (Bgp)، گچساران (Gs)، پابده گورپی (Gu-Pd)، رسوبات رودخانه (Qal)، نهشته‌های کنگلومرایی سخت‌شده (Qc)، پهنه‌های رسی و سیلتی (Qcf)، پادگانه‌های آبرفتی قدیمی (Qt^۱)، پادگانه‌های آبرفتی جدید (Qt^۲) دارد. بالاترین میزان پتانسیل فرسایش خندقی مربوط به سازندهای کواترنری (پادگانه‌های آبرفتی جوان و پهنه‌های رسی و سیلتی) رخ داده است (جدول ۴). در حوضه آبخیز ۸ نوع کاربری متفاوت شامل کشاورزی، باغات، مراتع فقیر، کشت دیم، مراتع متوسط، پوشش سنگی، مسکونی و اراضی شور است. شکل‌گیری خندق‌ها بیشتر در مراتع فقیر، زمین‌های کشاورزی و اراضی شور رخ داده است. بافت خاک موجود در منطقه ۶ نوع است که شامل رسی و سیلتی، لوم رسی، رسی، شنی لومی، لوم رسی سیلتی و لوم رسی شنی است. عمده خندق‌های موجود در منطقه در بافت شنی لومی و رسی و سیلتی شکل گرفته‌اند. میانگین بارندگی سالانه در حوضه بین ۱۴۳ تا ۲۲۲ متغیر است و این بارندگی شرایط را برای ایجاد و گسترش خندق‌ها مهیا می‌کند. در مناطقی از حوضه که متوسط بارندگی سالانه بین ۱۷۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر بوده است، عمده خندق‌ها شکل گرفته است (شکل ۴).

جدول ۴- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

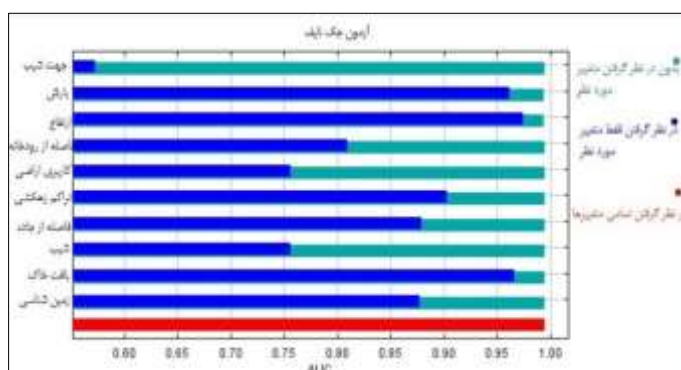
نماد واحد سنگ شناسی	نام واحد	توضیحات	سن
Bgp	بنگستان	تناوبی از بخش های کربناتی و بخش های شیلی نرم است. علاوه بر آن، به طور لکه ای و پراکنده گرگ ها و رگه هایی از ژئیس و اکسید آهن نیز دیده می شود.	کرتاسه
GU-Pd	پابده-گورپی	متشکل از تناوب لایه های مارنی به رنگ های کرم، سبز، زرد، آبی و لایه های نازک آهک رسی و لایه هایی از شیل های توده ای و متورق خاکستری روشن مایل به آبی می باشد.	کرتاسه
As	آسماری	آهک دولومیتی و آهک کرم تا قهوه ای رنگ بوده که در بیرون زدگی ها بصورت برجسته با درز و شکاف های زیاد به خوبی مشخص می باشد	میوسن
Gs	گچساران	شامل مارن، انیدریت، ژئیس و لایه های نازک آهک است	میوسن
Aj	آغا جاری	شامل تناوب ماسه سنگ های قهوه ای تا خاکستری و مارن های قرمز رنگ با رگه های ژئیس و بالاخره سیلستون قرمز رنگ است.	میوسن
Qc	نهشته های کنگلومرای سخت شده	بیشتر از قلوه های آهکی تشکیل شده اند و فضای بین دانه ها را زمینه ای ماسه ای همراه با سیمان کربناته پر کرده است.	کواترنر
Qt1	پادگانه های آبرفتی قدیمی	از آبرفت های دانه درشت تا متوسط و گاهی ریز که سخت شدگی ضعیفی را نشان می دهند، تشکیل شده اند.	کواترنر
Qt2	پادگانه های آبرفتی جوان	نسبت به پادگانه های قدیمی دانه ریز ترند و سخت شدگی کمتری را نیز نشان می دهند.	کواترنر
Qcf	پهنه های رسی و سیلتی	شامل پهنه های رسی و سیلتی است که اغلب در پیرامون رودخانه ها و در مرکز دشتهای واقع شده اند و در مواقع سیلابی از آب پوشیده می شوند.	کواترنر
Qal	رسوبات رودخانه عهد حاضر	شامل رسوبات شنی و قلوه سنگی است و از اندازه رس و سیلت تا قطعات بزرگ در حد تخته سنگ در آن ها دیده می شود.	عهد حاضر





شکل ۴- منحنی‌های پاسخ متغیرهای مؤثر بر فرسایش خندقی با استفاده از روش نمونه برداری Bootstrap در مدل مکسنت

نتایج حاصل از آزمون جک نایف نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر فرسایش خندقی در منطقه به ترتیب شامل ارتفاع، متوسط بارندگی سالانه، بافت خاک، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه است (شکل ۵).



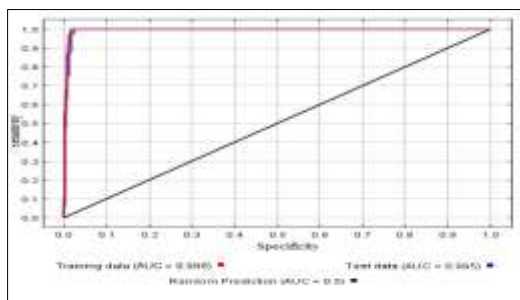
شکل ۵- آزمون جک نایف

درصد سهم مشارکت هر یک از متغیرهای مؤثر نشان می‌دهد که بافت خاک دارای بیشترین (۵۳/۶) و شیب (۰/۱) کمترین سهم مشارکت در مدل‌سازی را دارا می‌باشند (جدول ۵).

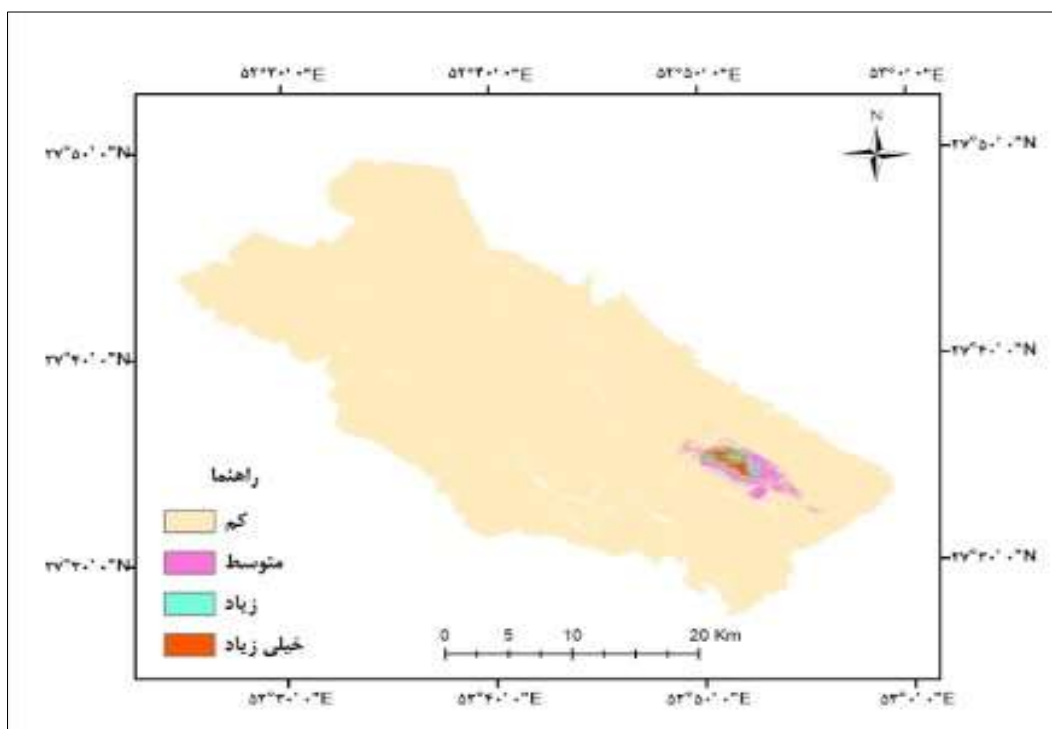
جدول ۵- درصد سهم مشارکت هر یک از متغیرها در مدل‌سازی

متغیر	درصد سهم مشارکت
بافت خاک	۵۳/۶
بارش	۱۵/۹
ارتفاع	۱۵
تراکم زهکشی	۱۱/۳
جهت شیب	۱/۹
زمین‌شناسی	۱/۱
کاربری اراضی	۰/۴
فاصله از رودخانه	۰/۴
فاصله از جاده	۰/۳
شیب	۰/۱

در مرحله بعد از نمودار عامل ROC برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. هرچه نقاط به سمت بالا و چپ نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر و مدل به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر خواهد بود. مقدار AUC یا سطح زیر نمودار به روش بوت استرپ ۹۵ درصد (عالی) است که این درصد نشان دهنده صحت نتایج حاصل از مدل‌سازی می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- منحنی ROC به روش Bootstrap



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی

در نهایت نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی بر اساس مدل نشان داده شده است (شکل ۷). بر اساس این نقشه ۶۶/۱۰ درصد از پهنه حوضه دارای پتانسیل فرسایش خندقی کم، ۱۶/۸۸ درصد از حوضه دارای پتانسیل متوسط، ۶۳

۱۱ درصد از حوضه دارای پتانسیل زیاد و در نهایت ۵/۳۸ درصد از حوضه دارای پتانسیل خیلی زیاد فرسایش خندقی است (جدول ۶).

جدول ۶- توزیع میزان حساسیت فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه

طبقه حساسیت	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
کم	۷۶۰۱۲/۵	۶۶/۱۰
متوسط	۱۶۸۹۱/۶۶	۱۶/۸۸
زیاد	۷۴۰۰/۵۰	۱۱/۶۳
خیلی زیاد	۱۰۴۵/۳۳	۵/۳۸

۳-۲- بحث

در این تحقیق متغیرهای مؤثر بر فرسایش خندقی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی در سطح حوضه آبخیز تهیه گردید. رابطه بین فرسایش خندقی و ارتفاع رابطه معکوسی است به این صورت که ارتفاعات پایین‌تر حساسیت بیشتری نسبت به ارتفاعات بالاتر دارد. علت این امر را می‌توان کم بودن عمق خاک در ارتفاعات بالاتر و یا نبود حوضه بالادست دانست. این نتایج با نتایج شیت و همکاران^۱ (۲۰۱۵) همخوانی دارد. رابطه بین فرسایش خندقی و شیب نشان داد که عموماً خندق‌ها در شیب‌های ملایم یا کمتر از ده درجه ایجاد شده‌اند. در شیب‌های کم رواناب فرصت تمرکز و نفوذ بیشتری دارند؛ بنابراین احتمال ایجاد حفره و تبدیل شدن به فرسایش خندقی بیشتر است. این نتایج با نتایج لوروکس و همکاران^۲ (۲۰۱۲) همخوانی دارد. رابطه بین جهت شیب و فرسایش خندقی نشان داد که این متغیر اثر غیر مستقیمی در ایجاد فرسایش دارد. اثر این عامل بر فرسایش به علت اختلاف میکروکلیمای در شیب‌های مختلف است. خندق‌ها بیشتر در جهت‌های مسطح، غرب و جنوب شرقی تشکیل شده‌اند که این نتایج با نتایج قربان‌زاده و همکاران^۳ (۲۰۲۰) همخوانی دارد. رابطه فرسایش خندقی با فاصله از رودخانه نشان داد که کاهش فاصله از رودخانه به علت آب‌شویی و فرسایش کناری، تعادل دامنه به هم می‌خورد در نتیجه احتمال ایجاد فرسایش خندقی افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج دویی و همکاران^۴ (۲۰۱۴) همخوانی دارد. در رابطه با فاصله از جاده و ایجاد فرسایش خندقی رابطه معکوس است. به این صورت که با کاهش فاصله از جاده، فرسایش خندقی بیشتری رخ می‌دهد به این علت که در کنار جاده‌ها ضخامت زیادی از خاک‌های ریز بافت و همچنین شیب کم منطقه موجب رخداد این پدیده می‌گردد. رابطه فرسایش خندقی با تراکم زهکشی یک رابطه مثبت بوده است به این صورت که افزایش تراکم زهکشی باعث کاهش نفوذپذیری و رواناب بیشتر و در نتیجه

1 Shit et al

2 Le Roux et al

3 Dube et al

اثر آن بر فرسایش خندقی از طریق افزایش جریان است. این نتایج یا نتایج **رحمتی و همکاران (۲۰۱۶)** همخوانی دارد. نتایج حاصل از متغیر لیتولوژی نشان داد که رسوبات کواترنر (پادگانه‌های آبرفتی جوان و پهنه‌های رسی و سیلتی) به دلیل وجود املاح زیاد گچ و نمک، وجود رسوبات ریزدانه رس و سیلت، ناپایداری لس‌ها، تضعیف ساختمان خاکدانه‌ها و کمبود مواد آلی بیشترین ارتباط را با فرسایش خندقی دارند. نتایج بیانگر این موضوع بود که در میان کاربری‌ها مراتع فقیر، زمین‌های کشاورزی و اراضی شور به علت کمبود پوشش گیاهی در این نوع کاربری‌ها فرسایش خندقی بیشتر رخ داده است. به عبارتی دیگر سطوح خالی از پوشش گیاهی در مقابل سطوح پوشیده شده از جنگل که قدرت فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد، فرسایش شدیدتری رخ می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در مورد عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی بیانگر این موضوع بوده است که در بیشتر حوضه‌های آبخیز نوع استفاده از اراضی نقش مهمی در ایجاد فرسایش و تولید رسوب دارند. این نتایج با نتایج **شهبازی و همکاران (۱۴۰۰)** همخوانی دارد. رابطه بین بافت خاک و فرسایش نشان‌دهنده وجود بافت ریز در نتیجه زیاد شدن ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش چسبندگی ذرات و انتقال آن‌ها می‌گردد. این نتایج با نتایج **سها و همکاران^۱ (۲۰۲۱)** همخوانی دارد. نتایج حاصل از بارندگی نشان داد که منطقه دارای آب‌وهوای خشک است که در فصل خشک ترک‌ها و شکاف‌های در سطح زمین ایجاد می‌گردد و با ایجاد بارش‌های ناگهانی و با شدت زیاد، آب وارد این شکاف‌ها شده و به درون زمین نفوذ می‌کند و در جهت شیب زمین و با انحلال مواد محلول موجب شکل‌گیری پپ‌های زیر زمینی می‌شود که عامل مهمی در انتقال مواد انحلال‌پذیر و رسوب به شبکه‌های جاری می‌گردد. اهمیت این متغیر و تأثیر آن بر روی فرسایش خندقی در تحقیقاتی مانند **امیری و همکاران (۱۳۹۸)** مورد تأکید قرار گرفته است. منحنی ROC که دقت مدل در تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی در مرحله اعتبار سنجی عالی بوده است. همچنین **جاویدان و همکاران (۲۰۲۱)** توانایی این مدل جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش خندقی را تأیید کرد.

۴- جمع‌بندی

توسعه شدید فرسایش خندقی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیاز به انجام تحقیقات برای بررسی چگونگی تأثیر فعالیت‌های انسانی و عوامل ژئومحیطی بر وقوع فرسایش خندقی را ضروری می‌سازد. رشد و گسترش سریع این نوع فرسایش در منتهی‌الیه شرقی حوضه علاوه بر تخریب سطح وسیعی از اراضی کشاورزی و مرتعی، خطری جدی برای چند روستا از جمله روستاهای قلعه سید و چاهو و حتی بخشی از شهر مهر است. تهیه نقشه پتانسیل این نوع فرسایش در حوضه با استفاده از رابطه موقعیت مکانی ۱۰۰ خندق انتخابی در منطقه و ۱۰ عامل مؤثر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک و

متوسط بارندگی سالانه تهیه شد. از کل پهنه‌های خندقی ۷۰ درصد به صورت تصادفی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. همچنین از روش نمونه‌برداری Bootstrap به علت کم بودن اطلاعات استفاده شد. از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در این حوضه به ترتیب می‌توان به ارتفاع، متوسط بارندگی سالانه، بافت خاک، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه اشاره کرد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در ۴ کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. برای اعتبارسنجی مدل از منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی آن استفاده گردید. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل پهنه‌بندی با سطح زیر منحنی ۹۵ درصد دارای دقت عالی است. فرسایش خندقی دارای مکانیزم پیچیده است لازم است به منظور کنترل و کاهش این نوع فرسایش اقدامات حفاظتی و آبخیزداری نظیر اصلاح و ایجاد پوشش گیاهی، ایجاد بندهای موقتی، بندهای سنگی، بندهای خاکی در انتهای خندق‌ها، اقدام به جمع‌آوری رواناب کرد. برای بررسی و تحلیل کامل‌تر فرسایش خندقی منطقه می‌توان از مدل رگرسیون درخت تقویت‌شده (BRT) در نرم‌افزار R استفاده کرد.

کتابنامه

- امیری، مهدیس؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ قنبریان، غلام عباس؛ افضل، سیدفخرالدین؛ ۱۳۹۶. مدل‌سازی مکانی فرسایش خندقی حوزه آبخیز مهارلو با استفاده از سناریوهای مختلف و الگوریتم وزن واقعه، مهندسی و آبخیزداری. جلد ۱۱. شماره ۴. صص ۱۰۳۲-۱۰۱۶. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.120399.1435>
- بهیاری، مهدی؛ عزیزاده، ا؛ محمودیان، شهاب؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تأثیر ساختارهای فعال بر خطر فرونشست زمین با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. شماره ۲۴. صص: ۵۶-۴۹. <https://doi.org/10.22055/aag.2017.13229>
- جعفرزاده، مریم؛ طهماسبی پور، ناصر؛ حقی زاده، علی؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ روحانی، حمید؛ ۱۳۹۹. بررسی کارایی روش‌های نمونه‌برداری داده‌های مشاهداتی بر پهنه‌های قابلیت نفوذ آب در خاک با روش ماکزیمم آنتروپی. مدیریت حوزه آبخیز. سال یازدهم. شماره ۲۲. صص: ۹۶-۱۱۰. [10.22055/aag.2017.13229](https://doi.org/10.22055/aag.2017.13229)
- خطیبی، مریم؛ ۱۴۰۰. تعیین آستانه‌های اقلیمی و توپوگرافی برای شروع فرسایش خندقی در شیب‌های نواحی نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه اوجان چای، دامنه شرقی کوهستان سهند). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۵۳. شماره ۴. صص: ۴۴۵-۴۳۱. [10.22059/JPHGR.2022.106008.1006609](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.106008.1006609)
- ذاکری نژاد، رضا؛ ۱۳۹۹. ارزیابی مدل‌های رقومی ارتفاع جهت تعیین پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از مدل مکسنت و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سمیرم، جنوب استان اصفهان). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. سال ۱۱. شماره ۳. صص: ۱۲۲-۱۲۶. <http://girs.iaubushehr.ac.ir>

- زارع چاهوکی، محمدعلی؛ ناصری حصار، نرگس؛ جعفری، محمد؛ ۱۳۹۶. مدل‌سازی پراکنش تپ‌های گیاهی با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع غرب شهرک صنعتی اشتهارد). فصلنامه تحقیقات مراتع و بیابان ایران. ۲۵ (۲): صص: ۲۹۸-۳۰۹. [10.22092/IJRDR.2018.116842](https://doi.org/10.22092/IJRDR.2018.116842)
- شهبازی، خسرو؛ وکیلی تجربه، فرزانه؛ ۱۴۰۰. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و تعیین پهنه‌های حساس در استان کرمانشاه با استفاده از مدل Maxent. انجمن آب‌خیزداری ایران. سال پانزدهم. شماره ۵۴. صص: ۵۸-۴۸. [20.1001.1.20089554.1400.15.54.6.2](https://doi.org/10.1001.1.20089554.1400.15.54.6.2)
- شهبازی، خسرو؛ وکیلی تجربه، فرزانه؛ الوندی، احسان؛ بیات، اصغر؛ اسدی نلیوان، امید؛ ۱۴۰۰. ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر آنتروپی در پهنه‌بندی حساسیت فرسایش آب‌کنندگی حوزه آبخیز سد گلستان. علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران. سال ۱۵. شماره ۵۲. صص: ۱۲-۲۳. [20.1001.1.20089554.1400.15.52.4.6](https://doi.org/10.22092/IJRDR.2018.116842)
- عرب عامری، علی رضا؛ رضایی، خلیل؛ یمانی، مجتبی؛ ۱۳۹۶. ارزیابی حساسیت زمین نسبت به فرسایش خندقی با تکنیک داده کاوی گروهی مطالعه موردی: حوضه شاهرود. علوم زمین. سال ۲۸. شماره ۱۱۱. صص: ۱۵۰-۱۳۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.114756.1374>
- عرب عامری، علی رضا؛ رضایی، خلیل؛ یمانی، مجتبی؛ ۱۳۹۷. تحلیل متغیرهای محیطی به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش خندقی در حوضه طرود با روش شواهد وزن قطعی. مرتع و آب‌خیزداری. مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۷۱ شماره ۱. صص: ۹۷-۱۱۴. [10.22059/jrwm.2018.244297.1178](https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.244297.1178)
- گرنای، رضا؛ شادفر، صمد؛ ۱۳۹۶. کاربرد GIS در تعیین مناطق مستعد فرسایش خندقی با روش فرآیند تحلیل شبکه. پژوهش‌های آب‌خیزداری. دوره ۲۱. شماره ۴. صص: ۵۸-۶۸. [10.22092/WMEJ.2018.121633.1112](https://doi.org/10.22092/WMEJ.2018.121633.1112)
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, Kh., & Conoscent, Ch., 2019. Gully erosion mapping using GIS- based multi –criteria decision analysis techniques, Catena 180:282-297. DOI: [10.1016/j.catena.2019.04.032](https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.032)
- Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W., & Elhaus, D., 2014. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: an alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. Catena 118, 220–225. DOI: [10.1016/j.catena.2014.01.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.008)
- Azareh, A.; Rahmati, O.; Rafiei-Sardooi, E.; Sankey, J.B.; Lee, S.; Shahabi, H.; & Ahmad, B., 2019. Modelling gully-erosion susceptibility in a semi-arid region, Iran: Investigation of applicability of certainty factor and maximum entropy models. Sci. Total Environ, 684–696. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.11.235](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.235)
- A ,Bernini., Bosino, A., Botha, G., & Mearker, M., 2021. Elevation of gully erosion suscepceptibility using a maximum entropy model in the upper Mkhomazi River Basin in South Africa. Geo Information, 1-20. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110729>
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Cama, M., Caraballo-Arias, N.A., & Rotigliano, E., 2018. Assessment of gully erosion susceptibility using multivariate adaptive regression splines and accounting for terrain connectivity. Land Degrad. Dev. 29 (3), 724–736. DOI: [10.1002/ldr.2772](https://doi.org/10.1002/ldr.2772)
- Dube, F., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J., & Mashauri, D.A., 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District–Zimbabwe. Phys. Chem. Earth 67, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.02.002>

- Ghorbanzadeh, O., Shahabi, H., Mirchooli, F., Valizadeh Kamran, KH., Lim, S., Aryal, J., Jarihani, B., & Blaschke, TH., 2020. gully erosion susceptibility mapping (GESM) using machine learning methods optimized by the multi-collinearity analysis and K-fold cross validation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* VOL. 11, NO. 1, 1653–1678. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1810138>
- Hongchun, Z.H.U., Guoan, T., Kejian, Q., & Haiying, L., 2014. Extraction and analysis of gully head of loess plateau in China based on digital elevation model. *Chin. Geogr. Sci.* 24(3), 328–338. doi: 10.1007/s11769-014-0663-8
- Javidan, N., Kaviani, A., Pourghasemi, H. M., Conoscenti, CH., Jafarian, Z., & Rodrigue-Comino, J., 2021. Evaluation of multi-hazard map produced using MaxEnt machine learning technique Nature portfolio, 64-94. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85862-7>
- Kariminejad, N.; Hosseinalizadeh, M.; Pourghasemi, H.R.; Bernatek-Jakiel, A.; Campetella, G.; & Ownegh, M., 2019. Evaluation of factors affecting gully headcut location using summary statistics and the maximum entropy model: Golestan Province, NE Iran. *Sci. Total Environ.* 677, 281–298. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.306
- Le Roux, J. J., & Sumner, P. D., 2012. Factors controlling gully development: Comparing continuous and discontinuous gullies. *Land Degradation & Development*, 23(5), 440–449. <https://doi.org/10.1002/ldr.1083>
- Manap, M.A., Sulaiman, W.N.A., Ramli, M.F., Pradhan, B., & Surip, N., 2013. A knowledge-driven GIS modeling technique for groundwater potential mapping at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arab. J. Geosci.* 6, 1621–1637. <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0469-2>
- Mararakanye, N., & Sumner, P.D., 2017. Gully erosion: A comparison of contributing factors in two catchments in South Africa. *Geomorphology* 288, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.029>
- Panagos, P., Standardi, G., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Bosello, F., 2018. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *L. Degrad. Dev.* 29, 471–484. <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>
- Pandey, V.K., Pourghasemi, H.R., & Sharma, M.C., 2018. Landslide susceptibility mapping using maximum entropy and support vector machine models along the Highway Corridor, Garhwal Himalaya. *Geocarto International* 35(2):1-38. DOI:10.1080/10106049.2018.1510038
- Prasad, R.K., N.C. Mondal, P. Banerjee, M.V. Nandakumar & Singh .V.S., 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environ. Geol.* 55(3): 467-475. DOI:10.1007/s00254-007-0992-3
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H.R., & Noormohamadi, F., 2016. Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison, *Nat. Hazards*, 82 (2), 1231–1258. <http://link.springer.com/10.1007/s11069-016-2239-7>
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H.R., & Feizizadeh, B., 2017. Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: An integrated framework. *Sci. Total Environ.* 579, 913–927. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.176
- Saha, A., Chandra pal, S., Arabameri, A.R., Chowdhuri, I., Rezaie, F., Chakraborty, R., Roy, P., & Manisa, SH., 2021. Optimization modelling to establish false measures implemented with ex-situ plant species to control gully erosion in monsoon-dominated region with novel in situ measurements. *Environmental management*, 287, 112284. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112284

- Shit, P.K., Paira, R., Bhunia, G. & Maiti, R., 2015. Modeling of potential gully erosion hazard using geo-spatial technology at Garbgheta block, West Bengal in India. *Model, Earth Sys. Environ*, 1 (1–2), 1–16. DOI:[10.1007/s40808-015-0001-x](https://doi.org/10.1007/s40808-015-0001-x)
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M.N., & Shafapur Tehrany, M., 2014. Earth quake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia. *Catena* 118, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.005>
- Zakerinejad, R., & Maerker, M., 2014. Prediction of gully erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and Maximum Entropy Modeling: A case study in the Mazayejan plain, Southwest Iran. *Geogr. Fis. E Din. Quat.* 37, 67–76. DOI:[10.4461/GFDQ.2014.37.7](https://doi.org/10.4461/GFDQ.2014.37.7)



Evaluating the Role of Optimized Land Use in Runoff Generation (Case Study: Nahre Azam Watershed of Shiraz)

Mohammad Taghi Dastorani^{a*}, Mahmood Reza Barahimi^b, Ali Akbar Karimian^c, Amir Esmailpour Zarmehri^d

^a Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b MSc in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

^c Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

^d MSc in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received: 26 October 2021

Revised: 15 December 2021

Accepted: 19 December 2021

Abstract

Land use change is one of the most important factors affecting flow hydrology, erosion and sedimentation that sometimes causes biodiversity destruction. The purpose of this research was evaluating runoff generation process in current land use condition in comparison with the optimized land use condition in Nahre Azam watershed of Shiraz. To do this, after preparing current and optimized (land use types regarding land capability) land use maps, the impacts of land use on runoff generation were evaluated for the two mentioned conditions using SCS hydrological model. The comparison of the land uses in these conditions indicates that agricultural areas do not show considerable differences. However, there is 8.1% decrease in urbanized area and 17.18% increase in range lands in optimal land use condition comparing to the current land use condition. The results also show that the overall value of CN in current land use condition is 82.6 while it is 75.2 in the optimized land use condition. The percentage of decrease in the runoff in the optimized land use condition over the current land use condition decreases as the return period is increased, and the highest decrease of runoff belongs to return periods of 2, 5, 10 and 25 years which is respectively 37.47%, 29.97%, 26.54%, and 23.32%. The results show that identification of the capability of the lands is very important and land use planning based on the land potential plays an important role in reducing flood damages and runoff loss.

Keywords: Land Use, Runoff, Curve Number, Ecological Potential

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

How to cite this Article: Dastorani, M. T., Barahimi, M. R., Karimian, A. A., & Zarmehri, A. (2022). Evaluating the role of optimized land use in runoff generation (Case study: Nahre Azam watershed of Shiraz). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 147-161.

DOI:10.22067/geoeh.2021.73198.1123



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.73198.1123> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهارم و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۱۶۱-۱۴۷

مقاله پژوهشی

بررسی نقش کاربری بهینه اراضی در تولید رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهر اعظم شیراز)

 محمدتقی دستورانی^۱ - استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمود رضا براهیمی - کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کوهپایه‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

علی اکبر کریمیان - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کوهپایه‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

امیر اسماعیل پور زرمهری - کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۸

چکیده

تغییر کاربری اراضی یکی از فاکتورهای مهم در تغییر وضعیت هیدرولوژیکی جریان، فرسایش و رسوب و گاهی اوقات منجر به مشکلات جدی در شرایط اکولوژیکی می‌گردد. هدف از این پژوهش بررسی وضعیت تبدیل بارش به رواناب حوزه در شرایط کاربری فعلی نسبت به شرایط بهینه است. بدین منظور پس از تهیه نقشه کاربری اراضی فعلی و نقشه توان اکولوژیکی حوزه (کاربری بهینه) اثرات کاربری اراضی روی تولید رواناب حوزه آبخیز نهر اعظم شیراز به وسیله اجرای مدل هیدرولوژیکی SCS (روش سرویس حفاظت خاک آمریکا) در دو حالت کاربری فعلی و بهینه موردبررسی قرار می‌گیرد. مقایسه سطوح کاربری‌ها در هر دو شرایط نشان می‌دهد که در کل در وسعت اراضی کشاورزی تغییر چندانی حاصل نشده است؛ اما در شرایط بهینه نسبت به شرایط فعلی ۸/۱ درصد از سطح اراضی شهری کاهش یافته و ۱۷/۱۸ درصد به سطح اراضی مرتعی افزوده می‌شود. همچنین نتایج نشان دهنده مقدار متوسط شماره منحنی ۸۲/۶ برای کاربری‌های فعلی و ۷۵/۲ برای کاربری‌های بهینه است. نتایج حاصل از برآورد ارتفاع رواناب در دو شرایط

Email: dastorani@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول : ۰۹۱۳۳۵۷۵۴۲۵

نحوه ارجاع به این مقاله:

دستورانی، محمدتقی؛ براهیمی، محمودرضا؛ کریمیان، علی اکبر؛ اسماعیل پور زرمهری، امیر. (۱۴۰۱). بررسی نقش کاربری بهینه

اراضی در تولید رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نهر اعظم شیراز). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳)، صص ۱۶۱-۱۴۷
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.73198.1123>

مورد بررسی نشان می‌دهد که درصد کاهش ارتفاع رواناب در شرایط بهینه نسبت به فعلی با افزایش دوره بازگشت کمتر می‌شود، به طوری که بیشترین درصد کاهش ارتفاع رواناب مربوط به دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال به ترتیب با ۳۷/۴۷، ۲۹/۹۷، ۲۶/۵۴ و ۲۳/۳۲ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی به منظور کاربری اراضی بر اساس استعداد آن‌ها نقش قابل توجهی در کاهش خسارات سیل و نیز هدررفت رواناب‌ها دارد.

کلیدواژه‌ها: کاربری اراضی، رواناب، شماره منحنی (CN)، توان اکولوژیک.

۱- مقدمه

محیط‌زیست طبیعی جهان توان اکولوژیکی محدودی برای استفاده انسان دارد. در برخی از محیط‌ها طبیعت با کمترین خسران مہیای بالاترین توسعه است و در برخی دیگر کمترین توسعه در آن منجر به خرابی محیط‌زیست می‌شود. این معنا بیان کننده این است که برای انجام توسعه در محیط‌زیست پیش از برنامه‌ریزی، باید به ارزیابی توان اکولوژیکی آن در چارچوب یک برنامه جامع منطقه‌ای پرداخت. هادیانی (۱۳۸۶)، در بررسی نقش کاربری اراضی بر دبی سیلاب‌های منطقه‌ای در حوزه آبخیز مادرسو با روش SCS به این نتیجه رسید که تخریب شدید و تغییر کاربری اراضی در این حوزه، به‌ویژه در مناطق با گروه‌های هیدرولوژیکی خاک C و D سبب شده است دبی حداکثر سیلاب ناشی از کاربری فعلی اراضی (در وضعیت رطوبت پیشین خاک II و III) نسبت به دبی پیش‌بینی شده ناشی از استفاده از اراضی به تناسب توانایی آن‌ها تا بیش از ۷۰٪ افزایش یابد. علاوه بر آن بیشترین نقش کاربری اراضی در افزایش دبی سیلاب در وضعیت رطوبت پیشین متوسط است. در این حالت با استفاده از داده‌های بارندگی و جریان مشاهداتی نسبت به واسنجی مدل^۱ HEC-HMS اقدام و به وسیله آن (CN) محاسبه شدند، نتایج مربوط به برآورد شماره منحنی توسط مدل گفته شده با نتایج مربوط به روش مشاهده‌شده سازگاری نشان داد. **رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۳)**، تغییرات کاربری باغ، دیم و بایر را در طی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ در حوزه آبخیز سد علویان مراغه در مقدار رواناب و سیل‌خیزی حوضه مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد با افزایش مساحت کاربری مرتع در سال ۲۰۱۳ مقدار رواناب در حوزه ۱۴٪ کاهش یافته است. **فرضی و همکاران (۱۳۹۴)**، تأثیر کاربری اراضی مرتع و زراعت را در تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران در طبقات شیب ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و بالای ۳۰ درصد را در حوزه آبخیز صنوبر تربت‌حیدریه بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار رواناب و رسوب در کاربری مرتع در مقایسه با کاربری زراعت بیشتر بود. تغییر کاربری اراضی یکی از فاکتورهای مهم در تغییر وضعیت هیدرولوژیکی، فرسایش حوزه بوده و باعث خسارت زیست‌محیطی می‌شود. **شایسته و عابدیان (۱۳۹۸)**، آثار تغییر کاربری اراضی در دوره زمانی (۱۳۷۳-۱۳۹۴) بر روی عمق و حجم رواناب با استفاده از مدل^۲ L-THIA در حوزه

1 The Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System

2 Long-Term Hydrological Impact Assessment

آبخیز زیارت بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در اثر تغییر کاربری عمق رواناب تولیدی به طور متوسط ۱۴/۲ میلی‌متر در طی ۲۱ سال، زمان، عمق رواناب تولیدی در حوضه به طور متوسط افزایش پیدا کرده است. **بیلز و همکاران^۱ (۱۹۸۱)**، با مطالعه ۵۸۵ سیلاب مشاهداتی از ۳۶ حوزه آبخیز نشان دادند که رواناب حاصل از بارندگی نسبت به تغییرات شاخص شماره منحنی (CN) بسیار حساس است. لذا با مطالعه ۱۵ خصوصیت فیزیکی حوزه به این نتیجه رسیدند که کاربری اراضی و خصوصیات فیزیکی خاک مهم‌ترین عوامل در تعیین شماره منحنی حوزه هستند. **یشواتسفا و باردوسی^۲ (۲۰۰۴)**، با استفاده از یک مدل توصیفی بارش-رواناب به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توسعه شهری سبب افزایش دبی اوج سیل می‌شود و در مقابل افزایش اراضی جنگلی کاهش دبی اوج را به دنبال دارد. ارزیابی اثرات تغییرات زیست‌محیطی گوناگون روی عکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی حوزه‌ها یکی از زمینه‌های مهم در تحقیقات در دهه‌های اخیر بوده است. علاوه بر آب و هوا، کاربری اراضی یکی از فاکتورهای اساسی کنترل رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌ها است (**هورمان و همکاران^۳، (۲۰۰۵)**). برخلاف ویژگی‌های عمدتاً ثابت حوزه (مثل خصوصیات خاک و توپوگرافی و شکل)، کاربری اراضی به علت تغییرپذیری سریع خود ممکن است زمینه‌ساز تغییرات کوتاه‌مدت و شدید در چرخه هیدرولوژیکی حوزه باشد. بنابراین، عموماً فرض می‌شود که تغییر کاربری اراضی علت اصلی تغییر در پویایی هیدرولوژیکی حوزه‌ها است (**هویسمان و همکاران^۴؛ (۲۰۰۹)**). **یئو و گلدمن^۵ (۲۰۰۹)**، رابطه بین دبی پیک رواناب و الگوهای کاربری اراضی را در حوزه‌ای در جنوب غرب اوهایو در ایالات متحده آمریکا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند و به وجود رابطه قوی بین دبی پیک رواناب و نوع کاربری اراضی حوزه اشاره کردند. تغییر کاربری اراضی می‌تواند ناشی از تغییرات آب و هوایی، اقدامات سیاسی، شرایط اقتصادی-اجتماعی و تغییرات جمعیت شناختی باشد (**آلفرت و همکاران^۶، (۲۰۱۰)**). **آلفرت و همکاران^۶ (۲۰۱۰)** با شبیه‌سازی اثرات گذشته و شرایط احتمالی آینده مربوط به تغییرات کاربری اراضی روی عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوزه آبریز رودخانه هانت در شمال آلمان با استفاده از مدل فرآیند محور شبیه‌سازی بیلان آبی^۷ (WaSiM-ETH) به این نتیجه رسیدند که مدل به اندک تغییرات مشاهده شده در آخرین دهه از قرن بیستم به شدت حساس است. همچنین نتایج نشان داد که مدل به پوشش زمین نسبت به سناریوهای مختلف، حساسیت بیشتری دارد.

1 Bales and Beston

2 Yeshewatesfa and Bardossy

3 Hörmann et al

4 Huismann et al

5 Yeo and Guldman

6 Elfert et al

7 Water Balance Simulation Model

سازندار کومار و همکاران^۱ (۲۰۱۰) در تجزیه و تحلیل رواناب برای حوزه آبخیز با استفاده از روش SCS-CN^۲ و GIS^۳ به این نتیجه رسیدند که:

۱. GIS یک ابزار کارآمد برای آماده سازی بیشتر اطلاعات ورودی مورد نیاز برای مدل SCS است.
۲. ترکیب سنجش از دور و مدل SCS برآورد رواناب را با دقت و سرعت بیشتری انجام می دهد.

زنگ و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، اثرات تغییر کاربری اراضی روی تولید رواناب و رسوب در چهار حوزه آبخیز واقع در کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از به ترتیب کاهش ۲۰ تا ۱۰۰ درصد و ۱۰ تا ۱۰۰ درصد میزان رواناب و رسوب در اثر تغییر کاربری به اراضی جنگل کاری شده و اراضی زراعی تراس بندی شده بود. اوجی و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، تأثیر مدیریت کاربری اراضی را روی کاهش رواناب سطحی در حوزه جاجرود استان تهران بر اساس سه سناریوی مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده بهینه از اراضی (کاربری بر اساس استعداد زمین) می تواند رواناب سطحی را تا حدود ۷۳ درصد کاهش دهد. مرکادو و همکاران^۶ (۲۰۱۷)، تأثیر توسعه اراضی بر رواناب ناشی از بارش در کاربری های جنگل، اراضی کشاورزی پارکینگ ها، مناطق مسکونی، اراضی لخت، گراسلندها و جاده ها در منطقه ژیونجی کره جنوبی در طی ژوئن سال ۲۰۱۱ تا دسامبر سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل PCSWMM^۷ بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مدت زمان رواناب در سال ۲۰۱۵ با ۲۶ ساعت و کمترین مدت زمان رواناب در سال ۲۰۱۱ با مقدار برابر با ۶/۳ ساعت بود. بیشترین حجم رواناب در سال ۲۰۱۳ با مقدار برابر با $4/4 \log_{10} m^3$ بود. این امر ناشی از افزایش مساحت اراضی لخت در سال ۲۰۱۳ در مقایسه با دوره های دیگر بود.

شرستا و همکاران^۸ (۲۰۲۱)، تأثیر تغییر کاربری اراضی ناشی از شهرسازی بر رواناب سطحی با استفاده از GIS^۹ و روش SCS-CN^{۱۰} در طول سال های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ برای رویدادهای بارشی با دوره بازگشت های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله در ژامین چین را شبیه سازی کردند. نتایج برای تمامی دوره های بازگشت مذکور نشان داد که در بین تمامی دوره ها، دوره ۱۹۹۰-۲۰۰۵ بیشترین تغییرات رواناب و دوره ۱۹۸۰-۱۹۹۰ کم ترین تغییرات را دارا بودند. پژوهش حاضر به دنبال آن است که وضعیت رواناب در حوزه را در شرایط کاربری فعلی اراضی نسبت به شرایط بهینه کاربری اراضی که بر اساس توان اکولوژیکی حوزه تعیین می گردد، مورد ارزیابی قرار دهد.

1 Sundar Kumar

2 Soil Conservation Service-Curve Number

3 Geographic Information System

4 Zang et all

5 Owji et all

6 Mercado et all

7 The Personal Computer Storm water Management Model

8 Shrestha et all

9 Geographic Information System

10 Soil Conservation Service-Curve Number

۲- مواد و روش‌ها

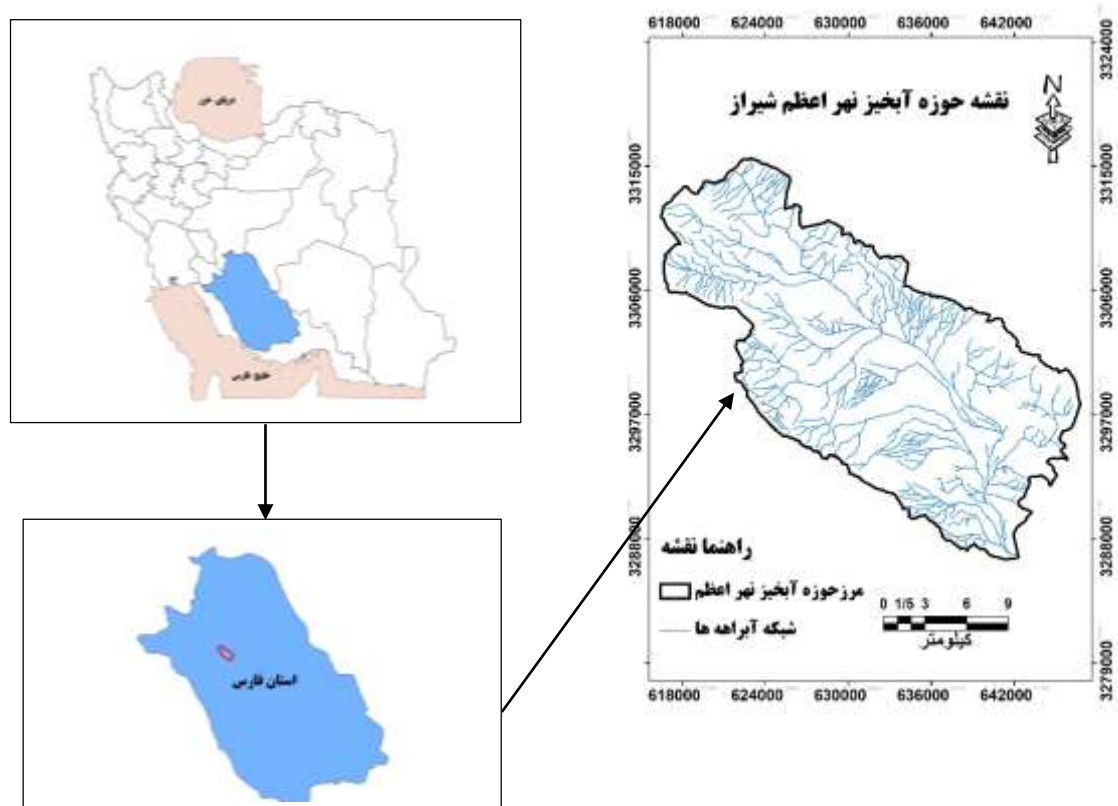
۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نهرا عظم یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز رودخانه خشک شیراز است، که در شمال غرب شهر شیراز واقع شده است. حوزه نهرا عظم بین طول‌های جغرافیایی $52^{\circ} 12' 13''$ تا $52^{\circ} 13' 15''$ طول شرقی و عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ} 42' 10''$ الی $29^{\circ} 42' 57''$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوزه دارای یک ایستگاه باران‌سنجی بوده و در خروجی حوزه نیز یک ایستگاه هیدرومتری وجود دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزه $592/37$ میلی‌متر است و اقلیم حوزه بر اساس داده‌های ایستگاه باران‌سنجی مستقر در داخل حوزه و با روش دومارتن نیمه مرطوب ارزیابی شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع در حوزه نهرا عظم به ترتیب 1658 و 3001 متر از سطح دریا می‌باشد و شیب متوسط حوزه نیز $23/37$ درصد است (مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی استان فارس، ۱۳۸۱)

۲-۲- روش انجام پژوهش

۲-۲-۱- تهیه نقشه کاربری فعلی اراضی

به منظور تهیه نقشه کاربری فعلی اراضی ابتدا به کمک نقشه‌های رقومی توپوگرافی $1:25000$ (سازمان نقشه برداری کشور)، نقشه Dem با اندازه سلول 10 متر در محیط Arc GIS 9.3 برای حوزه آبخیز نهرا عظم شیراز نقشه اولیه تهیه گردید، سپس با استفاده از آن نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب ایجاد شد. با تلفیق نقشه‌های مذکور (طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب)، نقشه واحدهای اراضی حوزه به دست آمد. کاربری فعلی واحدهای اراضی در حوزه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در گوگل ارث مشخص گردید. در نهایت نقشه نهایی کاربری اراضی منطقه (شکل ۲) با دقت بالا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 پس از انجام بازدید صحرایی و مقایسه با نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس تهیه گردید.



شکل ۱- نقشه موقعیت حوزه آبخیز نهر اعظم در استان فارس



شکل ۲- نقشه کاربری فعلی اراضی در حوزه نهر اعظم شیراز

۲-۲-۲- تهیه نقشه توان اکولوژیکی (کاربری بهینه) حوزه

شناسایی منابع سرزمین گام اول ارزیابی و برنامه‌ریزی سرزمین می‌باشد. لذا بایستی در ابتدا مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی انجام گردد و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نقشه‌های موضوعی در رابطه با منابع اکولوژیکی حوزه آبخیز روش سیستمی مورد استفاده قرار گیرد. پس از جمع‌بندی و تحلیل داده‌ها، مرحله دوم ارزیابی توان اکولوژیک است که با استفاده از تصحیح نقشه‌ها و ترکیب آن‌ها صورت می‌گیرد. بدین نحو که منابع اکولوژیک حوزه آبخیز با ترکیب پارامترهای تشکیل دهنده اکوسیستم با یکدیگر معین گردیده و مرز اکوسیستم‌ها بر روی نقشه مشخص می‌شود. واحدهای به دست آمده از این ترکیب‌ها را یگان‌های زیست‌محیطی می‌نامند (مخدوم، ۱۳۸۱). مدل مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین، مدل سیستمی مخدوم (۱۳۸۱) می‌باشد، که برای هریک از کاربری‌های جنگل، مرتع‌داری، فاریاب، کشاورزی دیم، توسعه شهری-روستایی و صنعتی، باغبانی، توریسم متمرکز، توریسم گسترده و حفاظت (رخنمون سنگی) با توجه به شرایط فیزیوگرافیکی و اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه در سه طبقه، شامل طبقه یک (توان بالا)، طبقه دو (توان متوسط)، طبقه سه (توان پایین) برای حوزه آبخیز نهرا عظم تدوین گردید. کار ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین با مقایسه ویژگی‌های اکولوژیکی هر واحد زیست‌محیطی با مدل اکولوژیکی کاربری‌ها به عمل آمد و توان سرزمین برای هریک از سناریوهای تعریف شده مشخص و در نهایت نقشه توان اکولوژیکی سرزمین برای حوزه مذکور تهیه گردید (شکل ۳). در این تحقیق کلیه نقشه‌های تلفیقی در محیط نرم‌افزار Arc Gis 9.3 تهیه و ترسیم شده است.

۲-۳- برآورد ارتفاع رواناب

به منظور بررسی نقش کاربری اراضی بر ارتفاع رواناب، در این تحقیق روش مدل شماره منحنی (SCS) مربوط به سازمان حفاظت خاک آمریکا که با توجه به وضعیت خاک، پوشش گیاهی، خصوصیات فیزیوگرافیک و در نهایت کاربری اراضی به برآورد ارتفاع رواناب می‌پردازد انتخاب شد. مراحل برآورد ارتفاع رواناب در این روش به شرح زیر است.

۲-۳-۱- برآورد شماره منحنی (CN)

یکی از عوامل مؤثر در برآورد شماره منحنی نفوذپذیری خاک است که از نظر توانایی در تولید هرز آب به ۴ گروه هیدرولوژیکی A، B، C و D تقسیم می‌شود، که A کم‌ترین توان تولید رواناب و D بیشترین توانایی تولید رواناب را دارا می‌باشد. پس از تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (شکل ۴)، نقشه مذکور با نقشه‌های کاربری فعلی اراضی و توان اکولوژیک منطقه (کاربری بهینه) مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS تلفیق شد و مقادیر شماره

منحنی برای هر یک از کاربری‌ها در هر دو حالت کاربری فعلی و بهینه و برای شرایط رطوبت پیشین متوسط خاک برآورد گردید. سپس نقشه شماره منحنی برای هر دو شرایط کاربری فعلی و بهینه تهیه و در نهایت مقادیر متوسط وزنی شماره منحنی حوزه برای هر دو شرایط کاربری برآورد گردید (شکل‌های ۵ و ۶).

۲-۳-۲- برآورد میزان تلفات (S)

مقدار تلفات کل یا (S) را پس از محاسبه شماره منحنی (CN)، از رابطه ۱ بر حسب میلی‌متر برای هر دو شرایط کاربری فعلی و کاربری متناسب با توان اکولوژی برآورد گردید.

رابطه (۱)

$$S = (25400/CN) - 254$$

که در این رابطه مقدار تلفات کل (S) بر حسب میلی‌متر است (مهدوی، ۱۳۹۲).

۲-۴- محاسبه ارتفاع رواناب

جهت برآورد ارتفاع رواناب از داده‌های بارش حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه هواشناسی حوزه مورد مطالعه برای یک دوره آماری ۳۷ ساله استفاده گردید. مراحل آماده‌سازی داده‌های مورد نظر برای برآورد ارتفاع رواناب به شرح زیر می‌باشد:

الف) انتخاب بهترین توزیع آماری: در هیدرولوژی سعی می‌شود برای داده‌ها توابع احتمالاتی مناسبی پیدا و رسم شود تا از روی آن‌ها بتوان مقدار متغیر مورد نظر را به ازای احتمالات مختلف محاسبه کرد (مهدوی، ۱۳۹۲). امروزه نرم‌افزارهای کامپیوتری در اختیار است که علاوه بر برازش و ارائه نمایه‌های نکویی برازش، مقادیر متغیر را به ازای آن توزیع در احتمالات مختلف محاسبه می‌کند. لذا با استفاده از نرم‌افزار آماری EasyFit 5/5 professional داده‌های مورد نظر با آزمون برازش نکویی کلموگروف-اسمیرنوف مورد برازش قرار داده شده و بهترین توزیع آماری برای داده‌های مورد مطالعه، یعنی توزیع گامای ۳ پارامتره^۱ انتخاب شد.

ب) آنالیز فراوانی وقایع: هدف از تحلیل فراوانی وقایع در هیدرولوژی به دست آوردن احتمال وقوع یک حادثه مثل حداکثر بارش ۲۴ ساعته، حداکثر لحظه‌ای سیلاب و غیره می‌باشد (مهدوی، ۱۳۹۲). بدین منظور و پس از مشخص شدن نوع توزیع مناسب، مقادیر بارش حداکثر ۲۴ ساعته حوزه مورد مطالعه برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار مذکور و توزیع گامای ۳ پارامتره محاسبه گردید.

پس از تعیین بارش حداکثر ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف ارتفاع رواناب برای دوره بازگشت‌های مورد نظر در هر دو حالت کاربری فعلی و بهینه با استفاده از فرمول زیر (رابطه ۲) برآورد گردید:

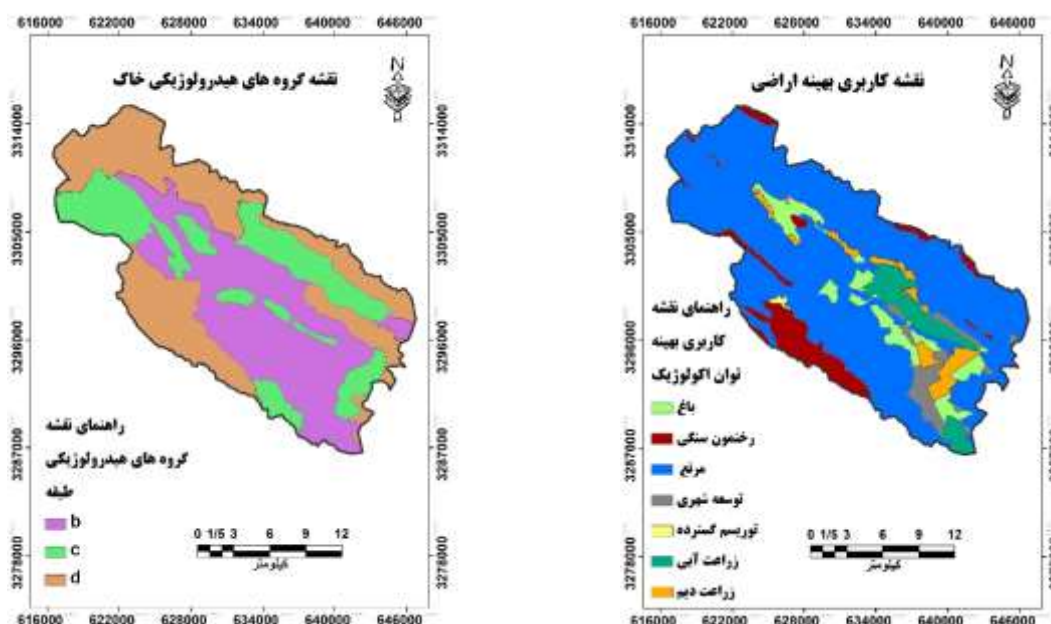
$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad \text{و} \quad p > 0.2S \quad \text{رابطه (۲)}$$

1 Three-Parameter Gamma Distribution

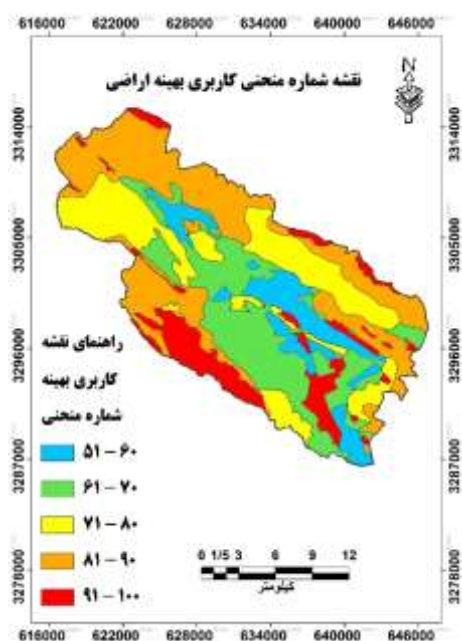
که در آن Q: ارتفاع رواناب بر حسب میلی متر، P: ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته به میلی متر و S: حداکثر توان نگهداری مربوط به ایترسپشن و نفوذ در خاک و ذخیره سطحی می باشد (مهدوی، ۱۳۹۲).

۳- نتایج و بحث

با توجه به شکل ۳ از نظر توان اکولوژیکی بیشترین بخش حوزه را کاربری مرتع به خود اختصاص داده است و اراضی کشاورزی از این نظر در رده دوم قرار دارد. کاربری های توسعه شهری و صنعتی وسعت کمتری را به خود اختصاص داده اند که این خود نشان دهنده این است که حوزه مورد مطالعه به صورت کلی توان بالایی برای مرتع داری و در رده بعدی توسعه کشاورزی دارد. خصوصیات خاک شامل بافت، ظرفیت و شدت نفوذ از مطالعات خاک شناسی رودخانه خشک شیراز (تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان فارس) استخراج و براساس آن گروه های هیدرولوژیکی خاک حوزه آبخیز نهر اعظم تعیین و تفکیک گردید. همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می شود گروه های هیدرولوژیکی خاک در حوزه مورد مطالعه شامل گروه های b، c و d که به ترتیب میزان تولید رواناب آنها متوسط، نسبتاً زیاد و خیلی زیاد است. شکل ۵ نشان می دهد که بیشترین طبقه شماره منحنی برای طبقه ۸۱-۹۰ است که نشان دهنده پتانسیل بالای حوزه برای تولید رواناب در شرایط کاربری فعلی اراضی است. براساس شکل ۶ مقدار شماره منحنی در این طبقه (۹۰-۸۱) در شرایط بهینه کاربری های کاهش خواهد یافت.

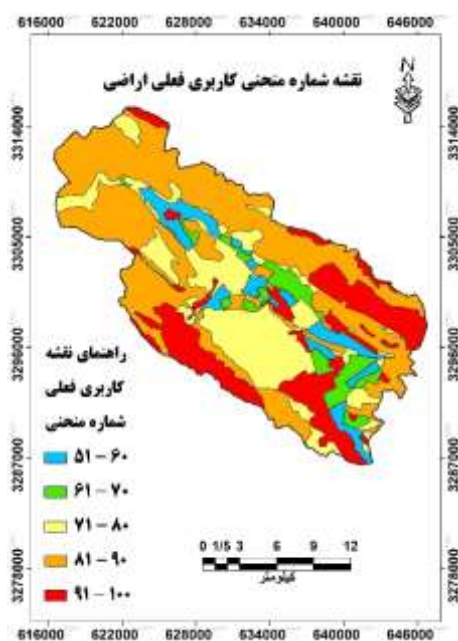


شکل ۳- نقشه کاربری بهینه اراضی در حوزه نهر اعظم شیراز شکل ۴- نقشه گروه های هیدرولوژیکی خاک حوزه



شکل ۶- نقشه شماره منحنی در حالت کاربری

بهینه اراضی نهر اعظم شیراز

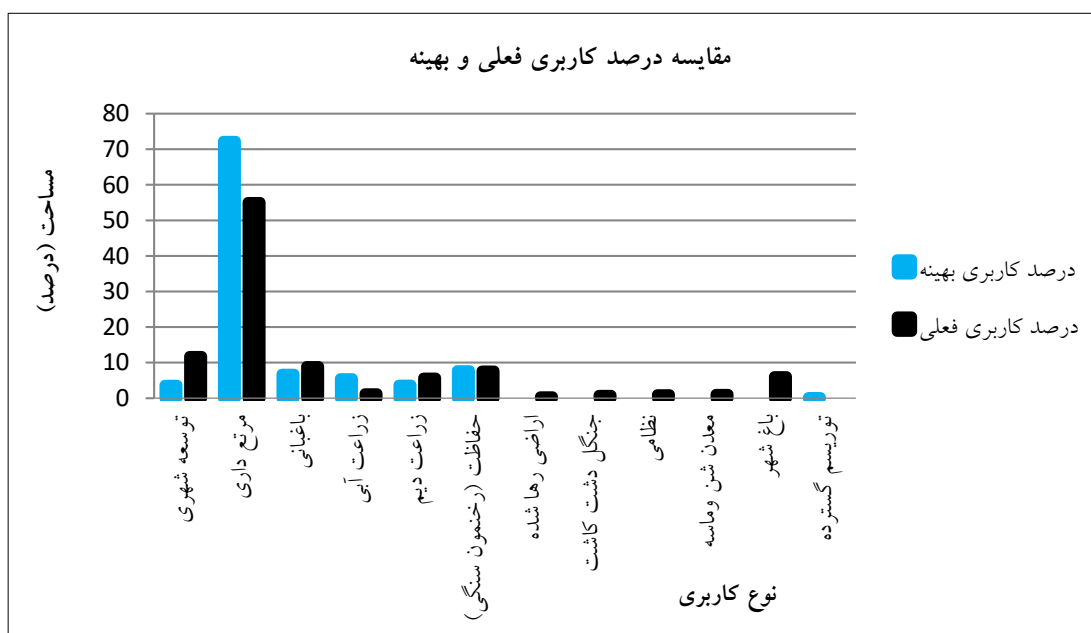


شکل ۵- نقشه شماره منحنی در حالت کاربری

فعلی اراضی حوزه

۳-۱- نتایج حاصل از مقایسه کاربری فعلی و کاربری بهینه

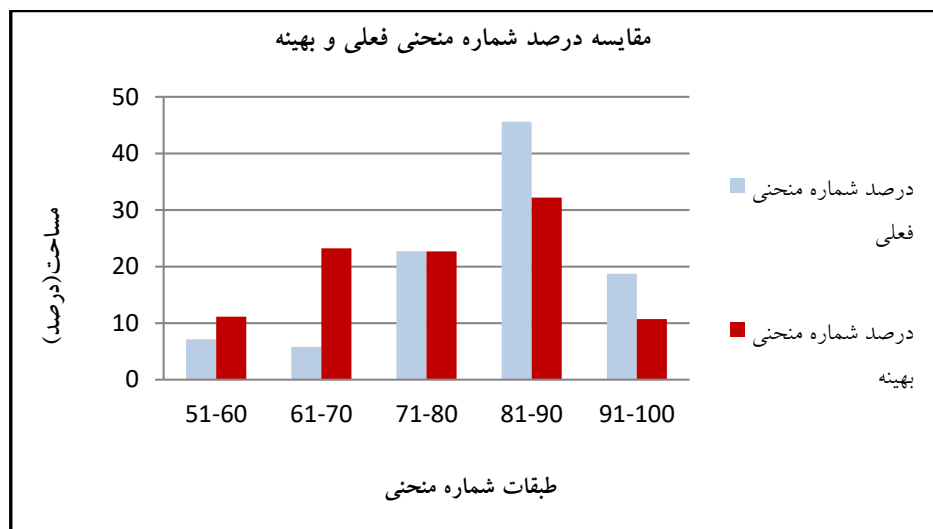
بررسی و مقایسه سطوح کاربری‌های دو نقشه نشان می‌دهد که در وسعت اراضی کشاورزی (باغات، زراعت آبی، زراعت دیم) تغییر چندانی حاصل نشده است؛ اما کاهش ۸/۱ درصد از سطح اراضی توسعه شهری و افزایش ۱۷/۱۸ درصد به سطح اراضی مرتعی در نقشه توان اکولوژیک نسبت به نقشه کاربری فعلی اراضی در حوزه نشان از توان پایین حوزه مورد مطالعه جهت توسعه شهری و توان بالای منطقه جهت کاربری مرتع‌داری می‌باشد. این مطلب بیان‌کننده این نکته می‌باشد که توسعه شهری در سطح منطقه بدون توجه به توان اکولوژیکی حوزه مورد مطالعه صورت گرفته است (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه درصد مساحت کاربری‌ها در نقشه‌های کاربری فعلی و کاربری بهینه

۲-۳- نتایج حاصل از مقایسه وضعیت شماره منحنی

همان‌گونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، درصد مساحت مربوط به شماره منحنی‌های کمتر از ۷۰ در نقشه کاربری بهینه نسبت به کاربری فعلی بیشتر می‌باشد. همچنین درصد مساحت مربوط به شماره منحنی‌های بیشتر از ۸۱ یعنی شماره منحنی‌های بالا از نظر تولید رواناب در کاربری بهینه نسبت به کاربری فعلی کمتر می‌باشد. داده‌های این شکل همچنین بیان می‌کند که مقدار کلی شماره منحنی (متوسط وزنی شماره منحنی) در شرایط بهینه ($N=75/2$) کمتر از شرایط فعلی ($CN=82/6$) می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه درصد مساحت اراضی با طبقات مختلف شماره منحنی در نقشه‌های کاربری فعلی و کاربری بهینه

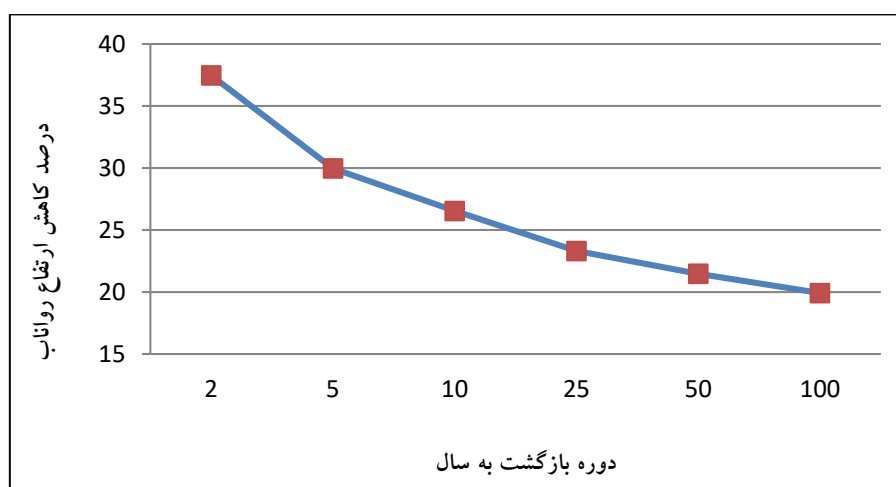
۳-۳- نتایج مربوط به ارتفاع رواناب در دو حالت کاربری بهینه و کاربری فعلی

جدول (۱) ارتفاع رواناب برآوردی حوزه را برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در شرایط کاربری فعلی و کاربری بهینه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ارتفاع رواناب در حالت استفاده از اراضی با توجه به توان سرزمین (کاربری بهینه) کمتر از ارتفاع رواناب در شرایط کاربری فعلی می‌باشد. هر چند میزان این تفاوت با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد، ولی با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که درصد کاهش ارتفاع رواناب در شرایط بهینه نسبت به شرایط فعلی با افزایش دوره بازگشت کمتر می‌شود، به‌طوری‌که درصد کاهش ارتفاع رواناب مربوط به دوره بازگشت ۲ ساله ۳۷/۴۷ است که این مقدار در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ۱۹/۹۲ تقلیل می‌یابد. روند این کاهش در **شکل ۹** نمایش داده شده است.

این مطلب بیان‌کننده این نکته می‌باشد که تأثیر نوع کاربری‌ها در کاهش ارتفاع رواناب با افزایش دوره بازگشت کاهش می‌یابد و تأثیر عوامل دیگر مثل خصوصیات بارش بر ارتفاع رواناب در دوره بازگشت‌های بالا بیشتر از تغییر کاربری اراضی می‌باشد. ضمناً نتایج این تحقیق با نتایج زنگ و همکاران (۲۰۱۰) و اوجی و همکاران (۲۰۱۲) که کاهش قابل ملاحظه رواناب در حالت استفاده از اراضی بر اساس استعداد آن (کاربری بهینه اراضی) را نشان دادند هم راستا می‌باشد.

جدول ۱- ارتفاع رواناب برآوردی با مدل SCS در شرایط کاربری فعلی و بهینه اراضی در حوزه نهر اعظم شیراز

دوره بازگشت به سال (Tr)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
در کاربری فعلی (میلی متر)	۲۴/۵۸	۴۱/۳۶	۵۳/۳۵	۶۸/۸۲	۸۰/۳۶	۹۱/۷۹
در کاربری بهینه (میلی متر)	۱۵/۳۷	۲۸/۹۷	۳۹/۱۹	۵۲/۸۷	۶۳/۱	۷۳/۵
میزان تفاوت (میلی متر)	۹/۲۱	۱۲/۳۹	۱۴/۱۶	۱۶/۰۵	۱۷/۲۶	۱۸/۲۹
درصد تفاوت	۳۷/۴۷	۲۹/۹۷	۲۶/۵۴	۲۳/۳۲	۲۱/۴۸	۱۹/۹۲



شکل ۹- روند کاهش ارتفاع رواناب حوزه در حالت کاربری بهینه نسبت به کاربری فعلی به ازاء افزایش دوره بازگشت

۴- جمع بندی

نتایج تحقیق نشان دهنده کاهش ارتفاع رواناب و به تبع آن مقدار دبی اوج سیلاب در شرایط کاربری بهینه نسبت به شرایط فعلی اراضی در حوزه نهر اعظم شیراز است. از دلایل این مطلب می توان به کاهش وسعت اراضی مسکونی در کاربری بهینه نسبت به کاربری فعلی، افزایش سطح مراتع و تا حدودی نیز افزایش سطح اراضی کشاورزی آبی (باغات و اراضی زراعی) در شرایط بهینه اشاره کرد. بدیهی است لحاظ شرایط مناسب کشت و کار در اراضی کشاورزی و همچنین لحاظ اصول صحیح مرتع داری در اراضی مرتعی در شرایط بهینه نسبت به شرایط فعلی در تولید رواناب تأثیرگذار است. کاهش ارتفاع رواناب در شرایط تناسب اراضی (کاربری بهینه) نسبت به شرایط کاربری فعلی بیان کننده این مطلب است، که تغییر کاربری اراضی و نوع کاربری مورد استفاده نقش بسزایی در کاهش یا افزایش ارتفاع رواناب و در نتیجه دبی اوج سیلاب دارد. توجه به توان سرزمین در برنامه ریزی های استفاده از سرزمین

و تعیین نوع کاربری با توجه به توان اکولوژیکی منطقه می‌تواند تا حد زیادی اثرات زیست‌محیطی و هیدرولوژیکی مخرب ناشی از کاربری‌های غیر اصولی را کاهش دهد و منطقه مورد نظر را در جهت توسعه و پیشرفت سوق دهد. موضوع عدم رعایت نوع کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز ایران یک مسئله بسیار رایج بوده که متأسفانه آنچنان که باید از طرف بهره‌برداران رعایت نمی‌شود و مسئولین و دست‌اندرکاران نیز در این خصوص تا کنون برنامه‌ریزی و تلاش مناسب از خود نشان نداده‌اند. نتیجه بی‌توجهی به این موضوع مهم علاوه بر اینکه بازدهی سرزمین را پایین نگهداشته و باعث عدم تأمین منافع مناسب برای بهره‌برداران در درازمدت می‌شود، همان‌گونه که نتایج تحقیق نشان داد باعث هدر رفت بخش قابل توجهی از آب حاصل از بارش‌ها در کشور کم آب ما می‌گردد، که البته بایستی خسارات حاصل از فرسایش و هدررفت حجم عظیمی از خاک‌های حاصل خیز و نیز خسارات ناشی از تشدید سیلاب‌ها را نیز بدان افزود.

کتابنامه

- رضایی مقدم، محمدحسین؛ اندریانی، صغری؛ الماس پور، فرهاد؛ ولی زاده کامران، خلیل؛ مختاری اصل، ابوالفضل؛ ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر کاربری و پوشش اراضی بر روی سیل‌خیزی و دبی رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد علویان). *هیدروژئومورفولوژی*. دوره ۱. شماره ۱. صص ۵۷-۴۱.
https://journals.tabrizu.ac.ir/article_3274.html
- سازمان نقشه‌برداری کشور. نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه خشک‌رود شیراز. شایسته، کامران؛ عابدیان، سحر؛ ۱۳۹۸. ارزیابی درازمدت اثرات هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبریز زیارت. *فصلنامه علمی فضای جغرافیایی*. سال نوزدهم. شماره ۶۶. صص ۶۱-۴۳.
<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3766-fa.html>
- فرضی، پریسا؛ آذرخشی، مریم؛ رسول‌زاده، علی؛ بشیری، مهدی؛ ۱۳۹۵. تأثیر کاربری اراضی بر تولید رواناب و رسوب در شیب‌ها و شدت‌های بارش. مختلف با استفاده از شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: حوضه آبخیز صنوبر، تربت‌حیدریه). *علوم و مهندسی آبخیزداری*. دوره ۱۰. شماره ۳۳. صص ۲۶-۱۹.
<http://jwmsei.ir/article-1-543-fa.html>
- مخدوم، مجید؛ ۱۳۸۱. شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران.
- مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی استان فارس؛ ۱۳۸۱. گزارش سیمای حوضه آبخیز رودخانه خشک شیراز. مهدوی، محمد؛ ۱۳۹۲. *هیدرولوژی کاربردی*. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.
- هادیانی، میر امید؛ ۱۳۸۶. نقش تغییر کاربری اراضی بر دبی سیلاب‌های منطقه‌ای (مطالعه موردی در حوزه آبخیز مادرسو). *محیط‌شناسی*. دوره ۳۳. شماره ۴۲. صص ۱۶-۹.
- https://jes.ut.ac.ir/article_18655.html

- Bales, J., Beston, R.P., 1981. The curve number as a hydrologic index. Proceeding of international symposium on Rainfall-runoff hydrologic modeling. Mississippi state university, pp. 371-386.
- Elfert, S., Bormann, H., 2010. Simulated impact of past and possible future land use changes on the hydrological response of the Northern German lowland Hunte catchment. Journal of Hydrology, vol. 383, pp. 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.12.040>
- Hörmann, G., Horn, A., Fohrer, N., 2005. The evaluation of land-use options in mesoscale catchments-prospects and limitations of eco-hydrological models. Ecol Model, vol. 187, pp. 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.022>
- Huisman, J.A., Breuer, L., Bormann, H., Bronstert, A., Croke, B.F.W., Frede, H.G., Gräff, T., Hubrechts, L., Jakeman, A.J., Kite, G., Leavesley, G., Lanini, J., Lettenmaier, D.P., Lindström, G., Seibert, J., Sivapalan, M.G., Viney, N.R., Willems, P., 2009. Assessing the impact of land use change on hydrology by ensemble modelling (LUCHEM) III: scenario analysis. Adv Water Resour, vol. 32, pp. 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.06.009>
- Mercado M.A., Lee B.Y., Memon S.A, Umer S.R, Salim I., Lee C., 2017. Influence of land development on stormwater runoff from a mixed land use and land cover catchment. Science of the Total Environment, vol. 599, pp. 2142-2155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.081>
- Owji, M.R., Nikkani, D., Mahdian, M.H., Mahmoudi, S., 2012. Minimizing Surface Runoff by Optimizing Land Use Management. World Applied Sciences Journal, vol. 20, pp. 170-176. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.01.125>
- Shrestha, S., Cui, S., Xu, L., Wang, L., Manandhar, B., Ding, S., 2021. Impact of Land Use Change Due to Urbanisation on Surface Runoff Using GIS-Based SCS-CN Method: A Case Study of Xiamen City China. land, vol. 10, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/land10080839>
- Sundar Kumar, P., Kanth, R., Babu, M.J., Praveen, T.V., Vagolu, V., 2010. Analysis of the Runoff for Watershed Using SCS-CN Method and Geographic Information Systems. International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2, pp. 3947-3654. <https://www.researchgate.net/journal/International-Journal-of-Engineering-Science-and-Technology-0975-5462>
- Yeo, I.Y., Guldmann, J.M., 2009. Analyzing the relationship between peak runoff discharge and land-use pattern—a spatial optimization approach. Hydrology and Earth System Sciences, vol. 6, pp. 3543-3575. <https://doi.org/10.5194/hessd-6-3543-2009>
- Yeshewatesfa, H., Bardossy A., 2004. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. Journal of Hydrology, vol. 292, pp. 281-295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.002>
- Zang, X., Cao, W., Guo, Q, Wu, S., 2010. Effects of land use change on surface run off and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. International Journal of Sediment Research, vol. 25, pp. 283-29. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(10\)60045-5](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60045-5)



The Evaluation of Agricultural Water Management Status in the Mountainous Basin of the Kashkan River

Mehrshad Toulabinejad^{a*}, Mohammad Azadpour^b, Zeynab Dolatshahi^c

^a Lorestan University lecturer, and Post doctorate Department of Geography and Rural Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b MA in Geography and Rural Planning (Physical Space), University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

^c PhD Candidate in Climatology, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 6 October 2021

Revised: 6 January 2022

Accepted: 15 January 2022

Abstract

The transfer of water of mountainous regions of Lorestan province to other provinces, the migration of non-indigenous farmers to the region, and the occurrence of drought have reduced the water level of the rivers of Lorestan province. This has made problems for farmers who use surface water resources for agriculture. Water management is one of the most important issues that can help the optimal productivity of agricultural water. The purpose of this study was to evaluate agricultural water management in the Kashkan River basin in Poldokhtar. Questionnaire and interview were used in this applied mixed study to collect data. The first statistical population of this study included farmers of the basin of Kashkan river who were selected through the Cochran formula to be 354 farmers for quantitative part. The second statistical population of the study included agricultural experts and water managemers, selected by purposive sampling to be 30 experts for qualitative part. To answer the research questions, an unlimited exploration and qualitative analysis were used. The results show that using pipes for transferring water, reducing irrigation, irrigation during the evaporating time, the use of cement for water conduits, dredging water channels, and using small water tanks are the most important ways of managing agricultural water resources in this region. Qualitative results showed that engineering, technology, as well as institutional, social, economic, and environmental measures are the most important steps that can be used to optimize agricultural water in the Kashkan River basin by farmers.

Keywords: Agricultural development, Agricultural Water Management, River Basin of Kashkan, Poldokhtar Township

*. Corresponding author: Mehrshad Toulabinejad E-mail: mehrshad_t65@yahoo.com Tel: +989168574731

How to cite this Article: Toulabi nejad, M., azadpour, M., & Dolatshahi, Z. (2022). The evaluation of agricultural water management status in the mountainous basin of the KASHKAN River. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 163-187.

DOI: 10.22067/geoh.2022.72926.1118



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 41, Spring 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.72926.1118> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۱۸۷-۱۶۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان

 مهرشاد طولابی نژاد^۱- مدرس دانشگاه لرستان، و پسا دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمد آزادپور- کارشناس ارشد جغرافیا برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

زینب دولتشاهی- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

انتقال آب مناطق کوهستانی استان لرستان به سایر استان‌ها، ورود کشاورزان غیربومی به منطقه، در کنار وقوع خشکسالی باعث کاهش سطح آب رودخانه‌های استان لرستان و همچنین رودخانه کشکان شده است. این موضوع کشاورزانی را که از منابع آب سطحی برای کشاورزی استفاده می‌کنند، با مشکلاتی روبرو ساخته است. برای سازگاری با این چالش، مدیریت آب از موضوعات مهم است که می‌تواند به بهره‌وری بهینه آب کشاورزی کمک کند. هدف این مطالعه ارزیابی مدیریت آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر است. تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و روش انجام آن ترکیبی (کیفی و کمی) است. ابزار گردآوری داده‌ها و اطلاعات پرسش‌نامه و مصاحبه است. پژوهش حاضر دارای دو جامعه آماری است. جامعه آماری اول کشاورزان حوضه رودخانه کشکان است که از طریق فرمول کوکران ۳۵۴ کشاورز برای تحلیل‌های کمی انتخاب شد. جامعه آماری دوم شامل کارشناسان کشاورزی و مدیریت آب است که با روش نمونه‌گیری هدفمند ۳۰ کارشناس برای تحلیل‌های کیفی انتخاب شد. برای پاسخگویی به سؤالات پژوهش از آزمون رتبه‌ای هم‌انباشتگی نامحدود اکتشافی (روش جوهانسن) و تحلیل کیفی استفاده شد. نتایج پژوهش گویای آن است که استفاده از لوله برای انتقال آب، کاهش دفعات آبیاری، آبیاری در زمان تبخیرکم، سیمان زدن جوی‌های آب، لایروبی کانال‌های آب و استفاده از مخازن کوچک آب مهم‌ترین شیوه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه می‌باشند. نتایج کیفی نشان داد که

Email: mehrshad_t65@yahoo.com

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۶۸۵۷۴۷۳۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

طولابی نژاد، مهرشاد؛ آزادپور، محمد؛ دولتشاهی، زینب. (۱۴۰۱). ارزیابی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در حوضه

کوهستانی رودخانه کشکان. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۱۸۷-۱۶۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.72926.1118>

اقدامات مهندسی، تکنولوژی، نهادی/مدیریتی، اجتماعی، محیط زیستی و اقتصادی مهم‌ترین اقداماتی است که می‌تواند جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان از سوی کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: توسعه کشاورزی، مدیریت آب کشاورزی، حوضه رودخانه کشکان، شهرستان پلدختر.

۱- مقدمه

کشاورزی یک سیستم پیچیده است که در آن جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی نقش عمده‌ای بازی می‌کنند (بیلسکی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱)، و قدیمی‌ترین شکل شناخته شده از فعالیت اقتصادی انسان روستایی است (استاندر^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). محبوبیت چندمنظوره کشاورزی به این دلیل است که کشاورزی نه تنها تأمین‌کننده محصولات، کالاها و خدمات برای انسان است (هرنیک^۳ و همکاران، ۲۰۱۹)، بلکه ایاف، سوخت و مواد اولیه‌ای برای معاش انسان (ویس^۴ و همکاران، ۲۰۲۰)، عرضه مواد خام مورد نیاز صنایع مرتبط با بخش را نیز فراهم می‌کند (جشاری و مرادی، ۱۳۹۸). تغذیه جمعیت در حال رشد یکی از وظایف دیگر بخش کشاورزی است (گومرو^۵، ۲۰۱۱). به همین خاطر توسعه کشاورزی یک فرصت بسیار مهم برای تأمین امرارمعاش را فراهم می‌کند (کومار^۶ و همکاران، ۲۰۱۴)؛ و پایه اصلی سیستم اقتصادی و اجتماعی اکثر کشورها به شمار می‌رود (عناستانی و طولابی‌نژاد، ۱۳۹۷). از منظر توسعه پایدار، نیز محور اقتصادی و راه حل عملی برای پایداری جوامع می‌باشد (آرمو^۷، ۲۰۱۴)، و ارزآوری از طریق صادرات، و بهبود رفاه مردم روستایی را فراهم می‌کند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو، توسعه این بخش می‌تواند محرکی برای پیشرفت دیگر بخش‌های اقتصادی به حساب آید (اسماعیل زاده پاداری و همکاران، ۱۳۹۶). باین حال که کشاورزی کارکردهای مختلفی دارد و منافع زیادی برای جوامع روستایی و کشاورزی به دنبال دارد و یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد روستایی و کل کشورها است، ولی بسیاری از موضوعات حل نشده در آن وجود دارد که هر ساله از اهمیت بخش کشاورزی و تعداد کشاورزان کاسته است. از مهم‌ترین مسائل و مشکلات در بخش کشاورزی، تأمین منابع آب کشاورزی است (عیدی و همکاران، ۱۴۰۰) و در سالیان اخیر، کمبود آب برای مصارف کشاورزی به تدریج به یک بحران سیستمیک جهانی تبدیل شده است (باکر^۸، ۲۰۱۲). به گفته محققان، رشد جمعیت در قرن بیست و یکم به ۱۰ میلیارد نفر رسیده است. این رشد سریع

1 Bielski

2 Standar

3 Hernik

4 Weiss

5 Gomiero

6 Kumar

7 Aremu

8 Bakker

جمعیت خواسته‌ها و چالش‌های زیادی را برای آب ایجاد کرده است (رودل و فامیگلیتی^۱، ۲۰۱۸). چراکه حداقل ۸۲ درصد از برداشت جهانی آب به مصرف کشاورزی (در ایران ۹۲ درصد) مربوط می‌شود (ژین چون^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در سالیان اخیر وقوع تغییرات آب و هوایی، تغییر در الگوهای دما و بارش و بروز مخاطرات اقلیمی، کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی‌های بی‌درپی و تغییر چرخه هیدرولوژیکی جهانی کمیت و کیفیت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است (میسرا^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طوری‌که امروزه کمبود آب موردنیاز کشاورزی به مسئله مهم و چالش بزرگی برای امنیت جهانی و تولید غذا تبدیل شده است (لی روکس^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). چراکه با افزایش جمعیت کشور و به‌تبع آن افزایش تقاضا برای مواد غذایی، بهره‌برداری از منابع آب بسیار بیشتر از گذشته شده است (یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۸) و با توجه به رشد روزافزون جمعیت، مصرف و تقاضای آب در بخش کشاورزی همواره رو به افزایش است (منتظری و همکاران، ۱۴۰۰). لذا توجه به پایداری استفاده از آب کشاورزی، مسئله فوری و مهمی است که نیازمند توجه جدی برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران می‌باشد (موکارام^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). برای رفع این مشکل مدیریت صحیح آب کشاورزی کلید مقابله با این چالش‌ها و مسئله کمبود آب است (ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۸)، و مدیریت آب به‌عنوان یکی از واحدهای مدیریتی، به‌عنوان رویکردی حیاتی برای حل مشکلات آب در بخش کشاورزی، تأمین منابع آب کشاورزی، ترویج و توسعه کشاورزی و تضمین امنیت غذایی شناخته شده است.

بر اساس ادبیات، مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از قوانین، روش‌ها و فرایندهای تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب و خدمات وابسته است (مهدی‌زاده ملاباشی، ۱۳۹۴). مدیریت آب کشاورزی یکی از مؤلفه‌های مهم در شیوه‌های مدیریتی است (یادتا^۷ و همکاران، ۲۰۲۰) که برای برآوردن نیازهای آینده آب ضروری است و نقش اساسی در عملکرد محصولات کشاورزی ایفا می‌کند (اولاح^۸ و همکاران، ۲۰۲۱). در تعریف دیگر، مدیریت آب کشاورزی شامل فعالیت‌ها و اقداماتی است که بهره‌وری آب آبیاری را افزایش می‌دهد، سازگاری با کمبود آب را فراهم می‌آورد و می‌تواند بر افزایش راندمان آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب تأثیر بگذارد (حیدری، ۱۳۹۸). همچنین مدیریت آب کشاورزی یک جزء مهم برای دستیابی به استفاده بهینه از منابع آب و توسعه عملکرد کشاورزی از طریق بهبود شیوه‌های آبیاری در بخش کشاورزی است (روندهی^۹ و همکاران، ۲۰۲۰)، که اغلب برای دستیابی به

1 Rodell anf Famiglietti

2 Xinchun

3 Mishra

4 Le Roux

5 Mokarram

6 Zhang

7 Yadeta

8 Ullah

9 Rondhi

امنیت پایدار آب و عدم قطعیت‌های آب و هوایی مورد توجه قرار گرفته است (ژیانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع مدیریت آب کشاورزی، به معنای استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی با استفاده از استراتژی‌های مدیریت آب است. در این تعریف افزایش همزمان کارایی مصرف آب و افزایش تولید ملاک عمل قرار می‌گیرد (شهیدی و مروت‌نشان، ۱۳۹۵). مدیریت منابع آب کشاورزی به دلیل تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی، خشکسالی و در نتیجه کمبود آب (ژوو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹)، و همچنین به منظور حل مسئله کمبود آب اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است (چادیم^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). هرچند در دهه‌های گذشته بحث مدیریت منابع آب مطرح بوده، ولی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی در دو دهه گذشته مورد توجه پژوهشگران و برنامه‌ریزان قرار گرفته است (دل‌کاریو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه دقیق خصوصیات آبیاری می‌تواند زیربنای مناسبی جهت برنامه‌ریزی‌های محلی و ناحیه‌ای فراهم آورد. در گذشته هدف از توسعه و بهبود مدیریت آب کشاورزی عمدتاً تقویت بهره‌وری کشاورزی و غلبه بر فقر و گرسنگی بود (چن و راولیون^۵، ۲۰۰۷). با این حال، امروزه هدف مدیریت آب کشاورزی به عاملی برای حفاظت از آب کشاورزی، ترویج اقتصاد روستایی، عاملی برای افزایش درآمد کشاورزان و حفظ تعادل اکولوژیکی تبدیل شده است (دی‌فرایتوره^۶ و همکاران، ۲۰۱۰). اهمیت دیگر توجه به مدیریت آب، شناسایی شیوه‌های مدیریت آب کشاورزی برای حفظ کمیت و کیفیت منابع آب به خصوص در فعالیت‌های کشاورزی است. به همین دلیل توجه به این مباحث، شناسایی استراتژی‌ها و شیوه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در مرکز توجه محققان و برنامه‌ریزان مرتبط با مدیریت آب قرار گرفته است. بسیاری از پژوهشگران در داخل کشور و کشورهای مختلف، نگرانی خود را در زمینه مدیریت آب کشاورزی نشان داده‌اند. حال اینکه در داخل کشور در زمینه ارزیابی مدیریت آب کشاورزی در "حوضه کوهستانی رودخانه‌ها" مطالعه چندانی صورت نگرفته است و مطالعات داخلی بیشتر به بررسی مدیریت منابع آب کشاورزی در مناطق خشک و در واکنش به کم‌آبی و خشکسالی پرداخته‌اند. ولی مطالعه حاضر مدیریت آب کشاورزی در حوضه‌های رودخانه‌ای را که معمولاً دسترسی مناسب‌تری به آب دارند، مورد بررسی قرار داده است. البته برخی از محققان خارجی مدیریت منابع آب کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. مانند بارکر و موله^۷ (۲۰۰۴)، نامارا^۸ و همکاران (۲۰۱۰)، گوردن^۹ و همکاران (۲۰۱۰)، مولدن^{۱۰} (۲۰۱۳)، سون^{۱۱} و همکاران

1 Xiang

2 Zhu

3 Khadim

4 Del Carpio

5 Chen and Ravallion

6 De Fraiture

7 Barker and Molle

8 Namara

9 Gordon

10 Molden

11 Sun

(۲۰۱۷) مدیریت آب کشاورزی را عاملی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، پاسخی در جهت کمبود منابع آب، و پاسخگویی به افزایش تقاضا برای غذا به دلیل افزایش جمعیت در جهان معرفی کرده‌اند. در همین حال، ژوو^۱ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که مدیریت آب کشاورزی با کشاورزی، توسعه روستایی، حفظ محیط‌زیست، تأمین آب و زه‌کشی آبیاری و فن‌آوری تولید و افزایش عملکرد اقتصادی و بازده محصول ارتباط نزدیکی دارد و این عوامل تأثیر زیادی در مدیریت آب کشاورزی دارند. ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۸) مدیریت پایدار استفاده از آب کشاورزی در حوضه رودخانه تاریم در چین که تحت مخاطرات آب و هوایی قرار داشته را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که مدیریت صحیح و پایدار آب کشاورزی در مناطق خشک کلید مقابله با خطرات آب و هوایی است و مدیریت آب کشاورزی پاسخی به تغییرات آب و هوایی و کمبود آب است. نووآ^۳ و همکاران (۲۰۱۹) چارچوب نظری مدیریت آب کشاورزی برای بهبود مدیریت آب در شیلی را مورد بررسی قرار دادند و کیفیت ساخت‌وساز و زیرساخت‌های آبیاری و فن‌آوری مهندسی صرفه‌جویی در آب را عامل مهمی برای مدیریت پایدار منابع آب معرفی کردند. میشر^۴ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیرات تغییرات اقلیمی بر مدیریت آب و آبیاری در نپال را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که تغییرات آب و هوایی و الگوهای کاهش بارندگی که منجر به کمبود آب شده است بر تقاضای آب و در دسترس بودن آن و مهم‌تر مدیریت آب کشاورزی تأثیر مهمی داشته است. در گزارش بانک جهانی^۵ (۲۰۱۶)، مدیریت آب کشاورزی با استفاده از آب، وضعیت اقتصادی اصلی و سیاست اقتصاد کلان مرتبط است. شهیدی و مروتنشان (۱۳۹۵) مدیریت آب کشاورزی با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک، دشت بیرجند را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات سطح زیر کشت محصولات را عامل مدیریت آب کشاورزی معرفی کردند. حیدری (۱۳۹۸) رویکردها و راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم از جنبه‌های مدیریت آب کشاورزی و امنیت غذایی را مورد مطالعه قرار دادند و کاهش در کاربرد آب حین آبیاری، حفاظت از آب و جلوگیری از تبخیر زیاد از سطح خاک، افزایش تولید (افزایش صورت کسر شاخص بهره‌وری آب)، کاهش ریسک اقتصادی از طریق ایجاد تنوع در منابع درآمدی کشاورزان، بیمه محصولات را راهبردها و راهکارهای مرتبط با مدیریت آب کشاورزی در نظر گرفتند. با توجه به مطالبی که ارائه شد می‌توان گفت که مدیریت منابع آب کشاورزی نقش مهمی در صرفه‌جویی منابع آب، توسعه کشاورزی، و احترام به حق‌آبه مناطق رودخانه‌ای پایین دست ایفا می‌کند و ضروری است که برای توسعه روستایی و توسعه کشاورزی به مدیریت منابع آب کشاورزی توجه شود و شیوه‌های مدیریت آب و اقدامات مؤثر بر مدیریت بهینه آب کشاورزی شناسایی و مورد استفاده کشاورزان و روستاییان قرار گیرد.

1 Xu

2 Zhang

3 Novoa

4 Mishra

5 World Bank

در نواحی کوهستانی شهرستان پلدختر نیز اقتصاد روستایی و معیشت اصلی مناطق روستایی بر پایه کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط با آن شکل گرفته است. به‌طوری‌که انواع بسیار گوناگونی از محصولات کشاورزی مانند انواع سبزیجات، خیار، گندم، جو، انواع مرکبات، انجیر سیاه (بیش از ۱۵٪ انجیر سیاه کشور) و غیره در این شهرستان تولید می‌شود. در شهرستان پلدختر شبکه رودخانه‌ها بسیار متراکم است؛ به‌طوری‌که دو رودخانه بزرگ و پرآب کشکان و سیمره (همراه با دو رودخانه کوچک‌تر چولهول و رودخانه زال) از این شهرستان عبور می‌کنند (طولابی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). در این بین رودخانه کشکان به‌عنوان حوضه رودخانه‌ای مورد مطالعه این پژوهش که سرچشمه آن کوهستان‌های اطراف شهرستان خرم‌آباد است و حدود یک‌سوم خاک لرستان را در بر می‌گیرد، تا رسیدن به شهرستان پلدختر حدود ۱۱۰ کیلومتر را طی کرده و بیشتر از ۱۲۰ روستا در حاشیه رودخانه استقرار یافته‌اند که معیشت و اقتصاد این روستاها وابسته به کشاورزی و منابع آب رودخانه کشکان می‌باشد. همچنین آب حدود ۸۲ درصد از اراضی کشاورزی شهرستان پلدختر، توسط رودخانه کشکان تأمین می‌شود و این رودخانه در واقع شاه‌رگ حیاتی شهرستان پلدختر محسوب می‌شود. این رودخانه با اینکه در سالیان گذشته از رودخانه‌های پر آب استان لرستان و شهرستان پلدختر بوده و در زمان وقوع سیل، مانند وقوع جریان سال ۱۳۹۸^۱ بر اساس گزارش فرمانداری شهرستان پلدختر (۱۳۹۸) حدود ۸۲ میلیارد و ۷۳۰ میلیون ریال به بخش‌های مختلف از جمله تأسیسات زیربنایی، ابنیه، پل‌ها، تأسیسات آب، برق، راه و کشاورزی این شهرستان خسارت وارد نموده است. ولی در چند سال اخیر بر اثر سیاست‌های انتقال آب مناطق کوهستانی استان لرستان به استان‌های مرکزی، قم و اصفهان، در کنار وقوع خشکسالی‌های اخیر، کمبود بارش و تغییر رژیم بارشی در استان و به‌ویژه شهرستان پلدختر، حفر چاه‌های غیرمجاز در بالادست و نصب تلمبه موتور آب در بستر رودخانه و همچنین برداشت‌های بی‌رویه کشاورزان به مقدار زیادی از حجم آب این رودخانه کاسته شده است. کاهش سطح آب رودخانه کشکان کمیت و کیفیت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی حوضه این رودخانه را تحت تأثیر قرار داده و مسائل و مشکلاتی برای کشاورزان پایین دست به وجود آورده و معیشت مردم منطقه را به مخاطره انداخته است. این مسائل باعث شده کشاورزانی که از منابع آب سطحی برای کشت محصولات استفاده می‌کنند را با چالش‌های روبرو ساخته شود. برای رفع این چالش‌ها مدیریت آب کشاورزی از موضوعات مهم می‌باشد. مدیریت آب کشاورزی از موضوعات و عوامل مهم برای کاهش این مشکل و تأمین منابع آب کشاورزی در حوضه این رودخانه و مدیریت صحیح آب کشاورزی و توجه به استراتژی‌ها، فعالیت‌ها و اقدامات مدیریت آب کشاورزی است. چراکه مدیریت آب کشاورزی در این حوضه ضمن افزایش بهره‌وری آب می‌تواند بر افزایش راندمان آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب تأثیر بگذارد. بنابراین برای کاهش تبعات و زیان‌های کمبود آب کشاورزی در روستاهای حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر ضروری است که استراتژی‌ها و اقدامات مؤثر

۱ در جریان این سیل، دبی این رود از ۴۶۰۰ متر مکعب در ثانیه عبور کرد.

بر مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان شناسایی شوند و در کنار برنامه مدیریت منابع آب، برای کاهش سطح آسیب‌پذیری کشاورزان و افزایش راندمان آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب پیشنهادهایی ارائه شوند. بنابراین، توسعه یک رویکرد جامع برای ارزیابی مدیریت آب کشاورزی در حوضه رودخانه‌ای کشکان رود ضروری است. لذا با توجه به اهمیت این موضوع، این مطالعه با هدف بررسی مدیریت آب کشاورزی در حوضه کوهستانی رودخانه کشکان شهرستان پلدختر صورت گرفته است. بر این اساس و با توجه به آنچه بیان شد سؤالات این پژوهش عبارتند از:

- ۱- مهم‌ترین روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر کدامند؟
- ۲- مهم‌ترین الزامات و اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کدامند؟

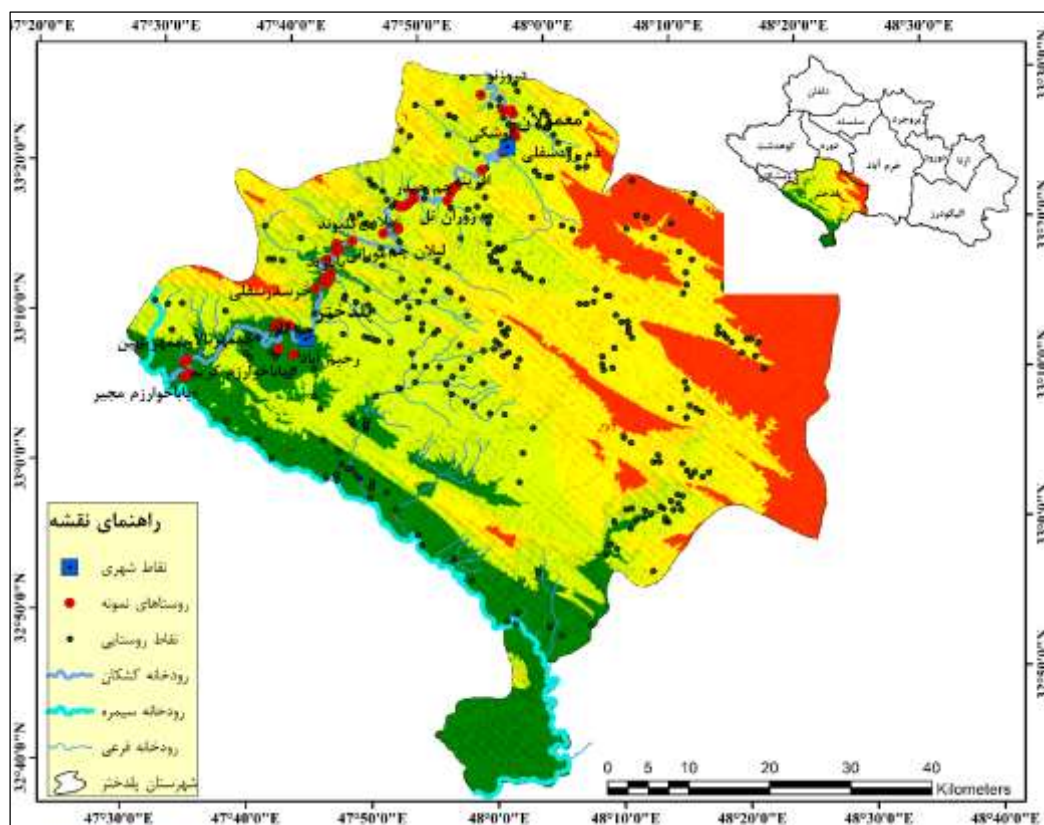
۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل روستاهای حوضه کوهستانی رودخانه کشکان در محدوده شهرستان پلدختر می‌باشد. طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۵)، شهرستان پلدختر دارای جمعیتی بالغ بر ۷۳۷۴۴ نفر جمعیت (۲۰۳۰۳ خانوار) است که از این تعداد ۳۹۳۳۸ نفر (۱۱۲۸۹ خانوار) در روستاها و مابقی در دو شهر معمولان و پلدختر زندگی می‌کنند (شکل ۲). بررسی آمار و داده‌های ایستگاه هواشناسی پلدختر نشان می‌دهد که بارش متوسط سالانه منطقه در بلندمدت ۳۴۰ میلی‌متر است که از ۲۸۰ تا ۶۱۰ میلی‌متر نیز متغیر است. عمده بارش بین آذرماه و بهمن‌ماه دریافت می‌شود. زبان اصلی مردمان شهرستان پلدختر لری می‌باشد، و از نظر قومیتی همه ساکنین جز قوم لر (لر بالاگریوه‌ای) هستند. معیشت اصلی مناطق روستایی این شهرستان وابسته بخش کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط با آن می‌باشد. کشاورزی در منطقه اغلب به‌طور سنتی انجام می‌گیرد. فعالیت‌های کشاورزی در منطقه شامل کشت محصولات برای تأمین معاش خانواده و فروش به بازارهای محلی و فرامحلی می‌باشد (برخی محصولات عمده مانند خیار، انجیر سیاه، گندم، و گوسفند زنده با بازارهای مختلف منطقه‌ای و یا به خارج کشور نیز صادر می‌شود). چهار رودخانه سیمره، کشکان، چولهول و زال در این منطقه جریان دارند که در تأمین آب کشاورزی نقش مهمی ایفا می‌کنند. با این حال، در یکی دو سال اخیر بر اثر انتقال آب بالادست به سایر استان‌های کشور مانند قم و اصفهان، ورود کشاورزان غیربومی^۱ به منطقه، بروز خشکسالی، کمبود بارش و تغییر رژیم بارشی در استان و به ویژه شهرستان پلدختر و به مقدار زیادی از حجم آب این رودخانه کاسته شده (شکل ۲ و ۳) که مشکلات بسیاری برای کشاورزان و

۱ کشاورزان غیر بومی: منظور کشاورزان همدانی و اصفهانی که با اجاره زمین در منطقه و با برداشت آب از رودخانه (با موتور جت) محصولاتی مانند سیب‌زمینی کشت می‌کنند.

روستاییان منطقه به وجود آورده است که برای کمک به رفع و یا سازگاری با این مشکل لازم است به مدیریت آب کشاورزی توجه ویژه‌ای شود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه رودخانه کشکان و روستاهای نمونه



شکل ۲- تصاویر رودخانه کشکان، سمت راست، سال ۱۳۹۹؛ سمت چپ، سال ۱۴۰۰



شکل ۳- نحوه برداشت آب کشاورزی از رودخانه کشکان

۲-۲- روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و روش انجام آن ترکیبی (کیفی و کمی) می‌باشد. به این دلیل روش ترکیبی است که اولاً از ابزار کیفی مانند مصاحبه با کارشناسان و مدیران/نخبگان روستایی در کنار روش کمی و پرسش‌نامه (با طیف لیکرت) به منظور کمک به تحلیل داده‌های کمی و به منظور به دست آوردن اطلاعات عمیق و تجربیات شخصی روستاییان در زمینه مدیریت منابع آب کشاورزی و شناسایی مهم‌ترین الزامات مؤثر بر مدیریت منابع آب کشاورزی در حوضه رودخانه‌ای کشکان رود بهره گرفته شد. لذا برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها از هر دو روش کیفی و کمی استفاده شد. مطالعات نظریه‌ای با استفاده از روش اسنادی گردآوری شد. داده‌های کمی از طریق پرسشنامه، اطلاعات کیفی از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان و کارشناسان جمع‌آوری گردید. پژوهش حاضر دارای دو جامعه آماری است. جامعه آماری اول که بیشتر برای بخش کمی مورداستفاده قرار گرفت، شامل کشاورزان روستاهای حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر (۵۳۹۲ خانوار) بود که کشاورزان از آب این رودخانه برای مصارف کشاورزی استفاده می‌کنند. برای انتخاب تعداد نمونه‌های این جامعه ابتدا از میان روستاهای مورد نظر، ۳۸ روستا بود (۴۵۲۲ خانوار) انتخاب شد. در ادامه با توجه به ۴۵۲۲ کشاورز این روستاها، با استفاده از فرمول کوکران ۳۵۴ کشاورز به روش تصادفی ساده انتخاب شد (جدول ۱). جامعه آماری دوم تحقیق که برای انجام مصاحبه و برای بخش کیفی مورداستفاده قرار گرفت، شامل کارشناسان و متخصصان حوزه کشاورزی و منابع آب در رشته‌های علوم جغرافیایی، اقتصاد/مدیریت، علوم کشاورزی، مهندسی آبخیزداری، کارشناسان جهاد کشاورزی، و نخبگان/مدیران/جوانان روستایی شهرستان پلدختر می‌باشد. با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند ۳۰ نمونه برای انجام مصاحبه انتخاب شد.

برای پاسخگویی به پرسش‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات از روش‌های آماری (توصیفی و استنباطی) و تحلیل کیفی استفاده شد. برای پاسخگویی به پرسش نخست پژوهش و در مورد شناسایی روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر ابتدا با استفاده از روش تحلیل محتوا و مصاحبه، روش‌های مورد استفاده در این منطقه شناسایی شد و بعد از تکمیل پرسش‌نامه مربوطه و تکمیل آن، جهت تعیین کمیت و میزان اهمیت روش‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه از آزمون رتبه‌ای هم‌انباشتگی نامحدود اکتشافی^۱ (روش جوهانسن^۲) استفاده شد. در این آزمون با توجه به مقادیر ویژه (مقدار عددی)، ضمن شناسایی روش‌های مدیریتی و شاخص‌ها، می‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی و اولویت‌بندی کرد. برای پاسخگویی به سؤال دوم پژوهش و در راستای شناسایی الزامات و اقدامات مورد نیاز جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در منطقه مورد از روش‌های تحلیل کیفی و مصاحبه عمقی با کارشناسان انتخاب شده استفاده شد و الزامات/اقدامات و شاخص‌های مرتبط و مورد نیاز جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در روستاهای همجوار رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر شناسایی و تجزیه و تحلیل گردید. همچنین برای بررسی اهمیت الزامات/اقدامات مهم جهت مدیریت آب کشاورزی و طبق مصاحبه‌ها از آمار توصیفی استفاده شد و مدل رادار اهمیت اقدامات مورد نیاز برای مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی ترسیم گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های جمعیتی و تعداد نمونه روستاهای مورد مطالعه در شهرستان پلدختر

روستا	خانوار	جمعیت	تعداد نمونه	روستا	خانوار	جمعیت	تعداد نمونه
چم‌مورت	۱۱۴	۳۸۶	۹	ملاوی	۷۰	۲۲۸	۵
بن‌کشکه	۷۶	۲۴۷	۶	کولیوند	۱۵۱	۲۲۵	۱۲
بن‌تومان سه	۲۷	۹۵	۲	مورانی	۵۴۶	۱۷۷۰	۴۳
دروزنو	۳۳	۱۰۹	۳	تیمورآباد	۶۷	۲۳۳	۵
چم‌حیدر	۳۴	۷۴	۳	پران‌پرویز	۳۴۱	۱۱۶۵	۲۷
دم‌رود علیا	۱۳۸	۴۸۱	۱۱	گل‌گل پایین	۲۱۷	۶۹۶	۱۷
دم‌رود سفلا	۲۴	۷۴	۲	خرسدر سفلا	۱۶۱	۵۵۴	۱۳
کوشکی	۱۹	۵۹	۲	خرسدر علیا	۹۸	۳۵۰	۸
چم‌شهران	۳۳	۱۰۴	۳	وره زرد	۲۸۳	۹۴۵	۲۲
دم‌رود امیربالا	۲۷	۸۰	۲	بابازید	۱۶۷	۵۳۲	۱۳
دم‌رود امیرپایین	۲۵	۷۸	۲	چم‌گردله وسطی	۲۷	۸۵	۲
دم‌رود امیروسطی	۳۰	۹۲	۲	چم‌گردله بالا	۴۵	۱۶۱	۴
افرینه	۵۵۵	۱۹۴۴	۴۲	چم‌گردله پایین	۱۶۶	۵۷۱	۱۳

1 Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

2 Johansen

روستا	خانوار	جمعیت	تعداد نمونه	روستا	خانوار	جمعیت	تعداد نمونه
زوران‌تل	۸۹	۲۸۲	۷	چم قلعه	۳۴	۱۱۵	۳
برگلان سوخته	۶۶	۲۱۳	۵	رحیم‌آباد	۹۶	۳۷۰	۸
کلک زورانتل	۲۲	۶۴	۲	چم مهریالا	۱۵۷	۵۴۰	۱۲
جلگه‌خلج بالا	۲۲۲	۶۸۴	۱۷	چم مهرپاین	۱۸۳	۶۱۴	۱۴
جلگه‌خلج پایین	۷۰	۲۲۸	۵	باباخوارزم کریم	۴۶	۱۴۸	۴
لیلان‌چم	۴۰	۱۶۲	۲	باباخوارزم مجیر	۲۳	۶۸	۲
کل: تعداد روستا (۳۸): خانوار (۴۵۲۲): جمعیت (۱۴۸۳۶): تعداد پرسش‌نامه (۳۵۴)							

منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵، و یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

سطوح و مقیاس داده‌ها ترتیبی و فاصله‌ای بوده، و متغیرها هم توزیع نرمال داشتند. روایی پرسش‌نامه با استفاده از روایی محتوا و بعد تصحیح از انجام اصلاحات، سنجیده و مورد تأیید قرار گرفت، که توسط افراد خبره در موضوع مورد مطالعه تعیین می‌شود. به‌منظور سنجش پایایی، از یک نمونه اولیه شامل ۳۰ پرسش‌نامه پیش‌آزمون گرفته شد و میزان ضریب اعتماد با روش آلفای کرونباخ^۱ محاسبه شد. آلفای به‌دست‌آمده کل ۰/۸۷، که بالاتر از ۰/۷۰ است، نشان دهنده قابل قبول بودن پایایی ابزار سنجش می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- میزان آلفای محاسبه شده برای هر عامل

عامل	تعداد متغیر	میزان آلفای کرونباخ
مدیریت با افزایش قابلیت و ظرفیت سازگاری	۵	۰/۸۳
مدیریت آب در دسترس	۵	۰/۹۶
مدیریت در زمان کم‌آبی	۵	۰/۸۹
مدیریت با حفظ تنوع زیستی	۵	۰/۷۸
کل	۲۰	۰/۸۷

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

۳- نتایج و بحث

نتایج بررسی ویژگی‌های زمینه‌ای پاسخگویان (کشاورزان) به‌عنوان نمونه آماری اول، در **جدول (۳)** نشان می‌دهد که میانگین سن کشاورزان مورد مطالعه در منطقه ۵۶/۴ سال می‌باشد که نشان دهنده سن بالای فعالین بخش کشاورزی در منطقه و مهاجرت جوانان روستایی می‌باشد، متوسط تعداد سال‌های مشغول به فعالیت‌های کشاورزی و دامداری ۳۹/۵ سال، متوسط اندازه خانوار ۵ نفر بوده است. متوسط تعداد کارگران و نیروی کار فعال خانواده به ازای هر خانوار کشاورز ۴/۱۲ نفر بوده است. سطح تحصیلات سرپرست خانوار در منطقه به‌طور کلی پایین بوده، ۵۶/۹ درصد

1 Cronbach's alpha

پاسخگویان تا دبستان یا کمتر از آن تحصیل کرده‌اند. از نظر شغل ۱۰۰ درصد نمونه‌های مورد مطالعه و انتخاب شده نیز با توجه به هدف پژوهش و جامعه آماری اول (کشاورزان) وابسته به فعالیت‌های بخش کشاورزی بوده‌اند. بررسی ویژگی‌ها و خصوصیات زمینه‌ای پاسخگویان (کارشناسان) به عنوان نمونه آماری دوم (جدول ۳) نیز نشان داد که ۴۶ درصد کارشناسان مربوط به گروه سنی ۴۱ تا ۵۰ سال سن بوده است. از نظر تحصیلات ۴۲ درصد دارای مدرک دکترا یا دانشجوی دکترا بوده‌اند. از نظر جنسیت، ۷۹ درصد پاسخگویان مرد و مابقی زن بوده‌اند. از نظر اشتغال ۷۹ درصد از پاسخگویان از جزء اساتید دانشگاه‌ها و یا مدرس دانشگاه‌های مختلف و یا کارمند ادارات مرتبط با کشاورزی بوده‌اند. از نظر رشته تحصیلی از ۳۰ کارشناس، درصد نمونه‌ها به صورت زیر بوده است: علوم جغرافیایی (۱۳/۳ درصد)، اقتصاد/مدیریت (۶/۷ درصد)، مهندسی آبخیزداری (۲۰ درصد)، علوم کشاورزی (۱۶/۷ درصد)، کارشناسان جهاد کشاورزی (۲۰ درصد) و نخبگان/مدیران/جوانان روستایی (۲۳/۳ درصد).

جدول ۳- خصوصیات زمینه‌ای پاسخگویان جمعیت مورد مطالعه

نمونه آماری	مشخصات پاسخ دهنده		میانگین / درصد
کشاورزان (نمونه ۳۵۴)	متوسط سن سرپرستان خانوار (میانگین به سال)		۵۶/۴
	تجربه کشاورزی سرپرستان خانوار (میانگین به سال)		۳۹/۵
	سطح تحصیلات سرپرستان خانوار (درصد)		۵۶/۹
	اشتغال (کشاورزی) (درصد)		۱۰۰
	اندازه خانوار (افراد)		۵
	تعداد کارگران (افراد)		۴/۱۲
کارشناسان (نمونه ۳۰)	سن (۴۱ تا ۵۰)		۴۶
	تحصیلات (دکترا یا دانشجوی دکترا)		۴۲
	جنسیت (مرد)		۷۹
	شغل (استاد/ یا کارمند)		۷۴
	رشته تحصیلی	علوم جغرافیایی	۱۳/۳
		اقتصاد/ مدیریت	۶/۷
		مهندسی آبخیزداری	۲۰
		علوم کشاورزی	۱۶/۷
		کارشناسان جهاد کشاورزی	۲۰
		نخبگان/ مدیران/جوانان روستایی	۲۳/۳

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

برای بررسی مهم‌ترین روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر و پاسخ به سؤال اول پژوهش، ابتدا با استفاده از روش تحلیل محتوا و مصاحبه روش‌های مورد استفاده در این منطقه

شناسایی شد و بعد از تکمیل پرسش‌نامه مربوطه و تکمیل آن‌ها، از آزمون رتبه‌ای هم‌انباشتگی نامحدود اکتشافی استفاده شد و وزن سطوح و شیوه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر به توجه به مقادیر ویژه به دست آورده شد.

بررسی روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر نشان داد که کشاورزان نمونه تمایل چندانی برای استفاده از شیوه‌های مدیریت منابع آب نداشته‌اند و از بین ۲۰ روش مدیریت منابع آب که برای این پژوهش و با توجه به شاخص‌های بومی در حوضه رودخانه کشکان در نظر گرفته شده فقط ۷ روش (علامت ***) مورد استفاده برخی کشاورزان قرار گرفته است. شاید مهم‌ترین دلیل این امر به دلیل وجود همیشگی آب (هرچند در سال ۱۴۰۰ بسیار کم شده است) در رودخانه کشکان و عدم توجه کشاورزان به کم‌آبی در حوضه پایین دست این رودخانه بوده است. چراکه کشاورزان مورد مطالعه توجه چندانی به کم‌آبی در روستاهای پایین دست رودخانه نداشته‌اند. بررسی شیوه‌های مدیریتی مورد استفاده نشان داد که کشاورزان منطقه بیشتر روش‌های ابتدایی و ساده مدیریت منابع آب که نیاز به تخصص و سرمایه زیادی نداشته را مورد استفاده قرار داده‌اند. مهم‌ترین دلیل این امر کمبود سرمایه و تخصص در بین کشاورزان (که اکثر خرده ملک بوده‌اند) و عدم آگاهی آن‌ها از بسیاری از شیوه‌های مدیریتی نوین بوده و آن‌ها شیوه‌هایی را مورد استفاده قرار داده که با دانش بومی - محلی آن‌ها هماهنگ بوده است.

بررسی روش‌های مورد استفاده نشان داد که استفاده از لوله برای انتقال آب با ضریب عددی (۰/۷۹۴) برای مزارع مهم‌ترین و اولین شیوه مدیریت آب توسط کشاورزان شناسایی شد و آن‌ها این شیوه مدیریتی را اتخاذ کرده‌اند. البته مصاحبه با برخی از کشاورزان نشان داد که شاید به دلیل کوهستانی بودن منطقه و شیب زمین‌های کشاورزی تا رودخانه باعث شده که کشاورزان با موتور آب و با استفاده از لوله آب رسانی به مزارع را مورد توجه قرار داده‌اند. با این حال این شیوه مهم‌ترین شیوه مدیریت منابع آب توسط کشاورزان شناسایی شده است. با توجه به کم‌آبی رودخانه کشکان (به خصوص در سال آبی جاری) بسیاری از کشاورزان اذعان کردند که برای آبیاری مزارع و به خصوص آبیاری باغ‌ها تعداد دفعات آبیاری مزارع و باغات خود را کاهش داده‌اند (به عنوان مثال کاهش میزان آبیاری از سه روز یکبار به چهار روز یکبار و یا بیشتر). به همین خاطر شیوه کاهش دفعات آبیاری با ضریب عددی (۰/۷۳۲) دومین شیوه مدیریت آب توسط کشاورزان شناسایی شد. با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک شهرستان پلدختر و نیاز به آبیاری بعد از غروب آفتاب و شب‌ها - به خصوص در فصل بهار و تابستان - می‌تواند شیوه مناسبی برای مدیریت آب در دسترس و یا سازگاری با کم‌آبی باشد. به همین دلیل کشاورزان مورد مطالعه آبیاری در زمانی که تبخیر کمتر می‌باشد (شب‌ها و بعد از غروب آفتاب) با ضریب عددی (۰/۷۳۱) را به عنوان سومین شیوه مدیریت منابع آب کشاورزی انتخاب نمودند و معتقد بودند که از این روش نیز به عنوان یکی از شیوه‌های مدیریت آب استفاده کرده‌اند. کشاورزان مورد مطالعه سیمان زدن جوی‌ها و نهرهای انتقال آب با ضریب عددی (۰/۷۳۰) را به عنوان

چهارمین شیوه مدیریتی انتخاب کردند. بر اساس مصاحبه‌های صورت گرفته با کشاورزان، آن‌ها اذعان داشتند که به دلیل رسوبی بودن خاک منطقه و کوهستانی بودن منطقه، سیمان زدن جوی‌ها و کانال‌های انتقال آب از نفوذ آب در زمین جلوگیری می‌کند. ضمن اینکه این شیوه حرکت سریع آب به مزارع را نیز تسریع می‌کند. پنجمین شیوه مدیریت منابع آب کشاورزی که کشاورزان به آن اشاره داشتند مربوط به بهبود سیستم‌های زهکشی در مزارع و باغات با ضریب عددی (۰/۷۲۲) بوده است. ششمین شیوه مدیریت منابع آب مورد استفاده توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان لایروبی کانال‌ها و جوی‌های انتقال آب با ضریب عددی (۰/۶۱۲) بوده است. کشاورزان این شیوه را به عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب لازم و ضروری می‌دانستند. چراکه آن‌ها معتقد بودند که با توجه به اینکه آب مزارع و باغات این منطقه از طریق آب رودخانه کشکان تأمین می‌شود، این رودخانه دارای رسوبات را نیز به کانال‌های آبی منتقل می‌کند و لذا نیازمند لایروبی سالیانه می‌باشند. نهایتاً هفتمین شیوه مهم که کشاورزان در حوضه رودخانه کشکان از آن استفاده نموده‌اند، استفاده از مخازن آب کوچک در زمین‌های کشاورزی با ضریب عددی (۰/۶۰۹) بوده است. روی هم رفته این هفت شیوه در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ مهم‌ترین شیوه‌های مورد استفاده کشاورزان برای مدیریت منابع آب کشاورزی در شهرستان پلدختر بوده‌اند. البته برخی شیوه‌های مدیریتی (با علامت *) نیز کم و بیش توسط کشاورزان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش‌هایی که علامت خاصی نداشته‌اند کاربرد چندانی از سوی کشاورزان نداشته‌اند. اولویت روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان به طور کامل در جدول (۴) آورده شده است.

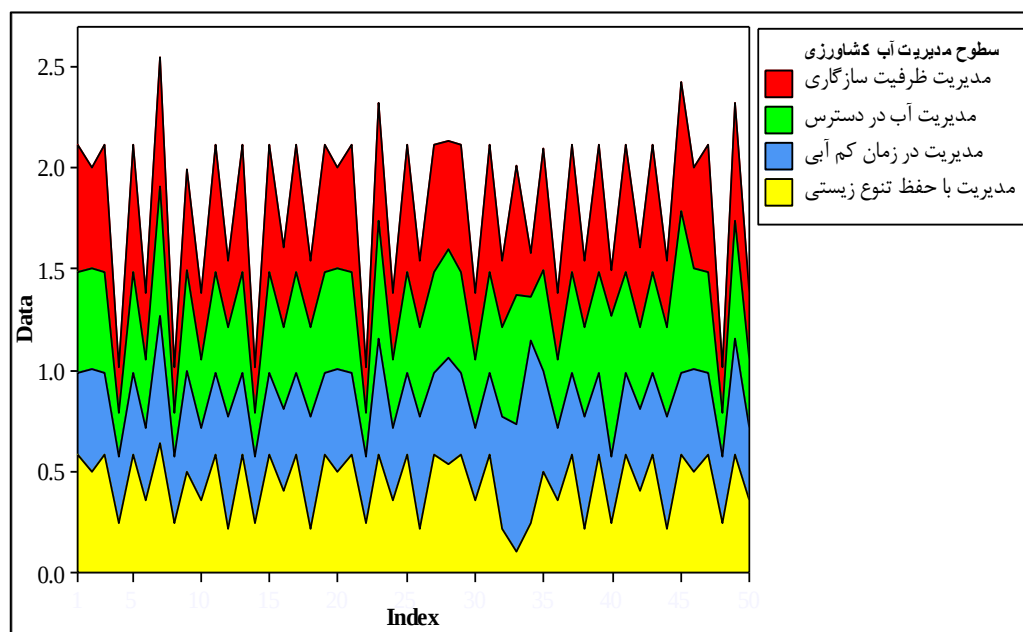
جدول ۴- روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان (شهرستان پلدختر)

رتبه	آماره	مقدارویژه	شیوه مدیریت آب	سطح مدیریتی
۹	۲۵۱/۲۸۸	۰/۴۰۱*	درک کم‌آبی و اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی	مدیریت با افزایش قابلیت و ظرفیت سازگاری (۰/۵۳۲)
۳	۵۸۸/۳۵۲	۰/۷۳۱**	آبیاری در زمان تبخیر کمتر (شب‌ها/و بعد از غروب آفتاب)	
۱۰	۲۳۹/۴۱۳	۰/۳۹۸*	مصرف بهینه آب بر اساس نیاز گیاه	
۲	۷۰۸/۵۷۲	۰/۷۳۲**	کاهش دفعات آبیاری	
۸	۲۹۹/۱۴۸	۰/۴۰۲*	درک بی‌آب و صرفه جویی در مصرف آب کشاورزی	مدیریت آب در دسترس (۰/۵۰۸)
۱۳	۵۷/۰۰۴	۰/۲۹۹	استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری (قطره‌ای و بارانی)	
۷	۳۸۶/۰۲۳	۰/۶۱۰**	استفاده از مخازن آب کوچک در زمین‌های کشاورزی	
۱	۸۹۴/۳۲۱	۰/۷۹۴**	استفاده از لوله برای انتقال آب	
۴	۶۲۹/۵۹۷	۰/۷۳۰**	سیمان زدن جوی‌ها و نهرهای انتقال آب	
۱۹	۹/۴۵۲	۰/۱۰۸	مهار سیلاب به کمک سد و بند خاکی	مدیریت در زمان کم‌آبی (۰/۳۹۳)
۵	۵۹۳/۲۹۳	۰/۷۲۲**	بهبود سیستم‌های زهکشی در مزارع و باغات	
۱۵	۱۷/۳۷۹	۰/۱۱۷	تعیین اولویت استفاده از آب	
۶	۴۱۸/۳۷۶	۰/۶۱۲**	لایروبی کانال‌ها و جوی‌های انتقال آب	

رتبه	آماره	مقدار ویژه	شیوه مدیریت آب	سطح مدیریتی
۱۴	۳۰/۳۱۱	۰/۱۲۱	حفظ منابع آبی کم در دسترس	
۱۱	۲۲۱/۶۹۸	۰/۳۹۷*	کنترل هرزآب‌ها و استفاده مجدد از آب	
۱۶	۱۷/۳۷۳	۰/۱۱۵	کشت گیاهان مقاوم با نیاز آبی کم	
۱۷	۱۱/۲۵۶	۰/۱۱۲	کاشت درخت در اطراف زمین زراعی	مدیریت با حفظ
۲۰	۷/۸۰۱	۰/۱۰۱	کاشت نوار چمن در اطراف زمین برا حفظ رطوبت	تنوع
۱۸	۱۰/۰۲۱	۰/۱۰۹	تغییر نوع کشت و الگوی کشت و حذف گیاهان با نیاز آبی بالا	زیستی (۰/۱۵۸)
۱۲	۲۱۸/۰۰۴	۰/۳۵۴*	تقویت خاک با کود و استفاده از خاکوری یا/حفاظت از مراتع	
* معنی‌داری در سطح ۵ درصد؛ ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد				

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

همچنین بررسی یافته‌های مدل در زمینه سطوح اصلی مدیریتی منابع آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر (جدول ۳) نیز نشان داد که از بین ۴ سطح اصلی مدیریتی منابع آب کشاورزی در نظر گرفته شده، به ترتیب مدیریت با افزایش قابلیت و ظرفیت سازگاری با ضریب عددی (۰/۵۳۲)، مدیریت آب در دسترس (۰/۵۰۸)، مدیریت در زمان کم‌آبی (۰/۳۹۳) و مدیریت با حفظ تنوع زیستی (۰/۱۵۸) در اولویت‌های اول تا چهار قرار گرفته‌اند. به‌طوری‌که ظرفیت سازگاری نسبت با سایر روش‌ها در سطح بالاتری بوده و شیوه مدیریت با استفاده از حفظ تنوع زیستی در روستاهای حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر کاربرد چندانی نداشته است. نکته مهم در این زمینه مدیریت منابع آب کشاورزی در زمان کم‌آبی بوده که نشان دهند عدم توجه کشاورزان مورد مطالعه به وقوع کم‌آبی در منطقه بوده است. در شکل (۴) نیز شدت و ضعف کاربردی هر یک از ۴ سطوح اصلی مدیریتی منابع آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر مدیریت با افزایش قابلیت و ظرفیت سازگاری در اولویت اول و مدیریت با حفظ تنوع زیستی در پایین‌ترین سطح قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- مقادیر، شدت و ضعف کاربرد روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان

برای شناسایی مهم‌ترین الزامات/ اقدامات مدیریت بهینه آب کشاورزی در روستاهای حوضه رودخانه کشکان و در راستای پاسخگویی به سؤال دوم پژوهش از روش کیفی و تکنیک مصاحبه عمقی با کارشناسان نمونه و روش کمی (درصد) استفاده شد. برای این منظور بعد از انجام مصاحبه با کارشناسان اقدام به جمع‌آوری اطلاعات و کدگذاری اقدامات مدیریتی شد و در ادامه میزان اهمیت هر روش تعیین و نمودار رادار اهمیت هر یک از روش‌ها به درصد بیان شد. نتایج مصاحبه‌ها نشان داد که الزامات/ اقدامات زیادی مدیریت بهینه آب کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند به عنوان شیوه و استراتژی مدیریت بهینه آب عمل کنند. نتایج بررسی اکتشافی از طریق مصاحبه عمقی با کارشناسان شش گروه عمده (۱) اقدامات تکنولوژی، (۲) اقدامات مهندسی، (۳) اقدامات نهادی/ مدیریتی، (۴) اقدامات محیط‌زیستی، (۵) اقدامات اقتصادی و (۶) اقدامات اجتماعی به‌عنوان الزامات و اقدامات اصلی جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر شناسایی شدند. ۶ گروه اصلی از اقدامات و الزامات مؤثر بر مدیریت آب کشاورزی شناسایی شده با توجه به اینکه با ویژگی‌های کشاورزی در حوضه‌های رودخانه کشکان شناسایی شده‌اند و ارتباط بیشتری با مدیریت منابع آب کشاورزی این منطقه دارند. توجه به این الزامات و اقدامات می‌تواند به مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کمک نمایند. در کنار ۶ گروه اصلی از اقدامات مؤثر بر مدیریت آب کشاورزی ۲۹ شاخص یا اقدامات خردتر برای مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر شناسایی شد که این شاخص‌ها و اقدامات خردتر به تفکیک اقدامات

کلی در جدول (۵) آورده شده‌اند که می‌توانند به عنوان شیوه و استراتژی مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان عمل کنند.

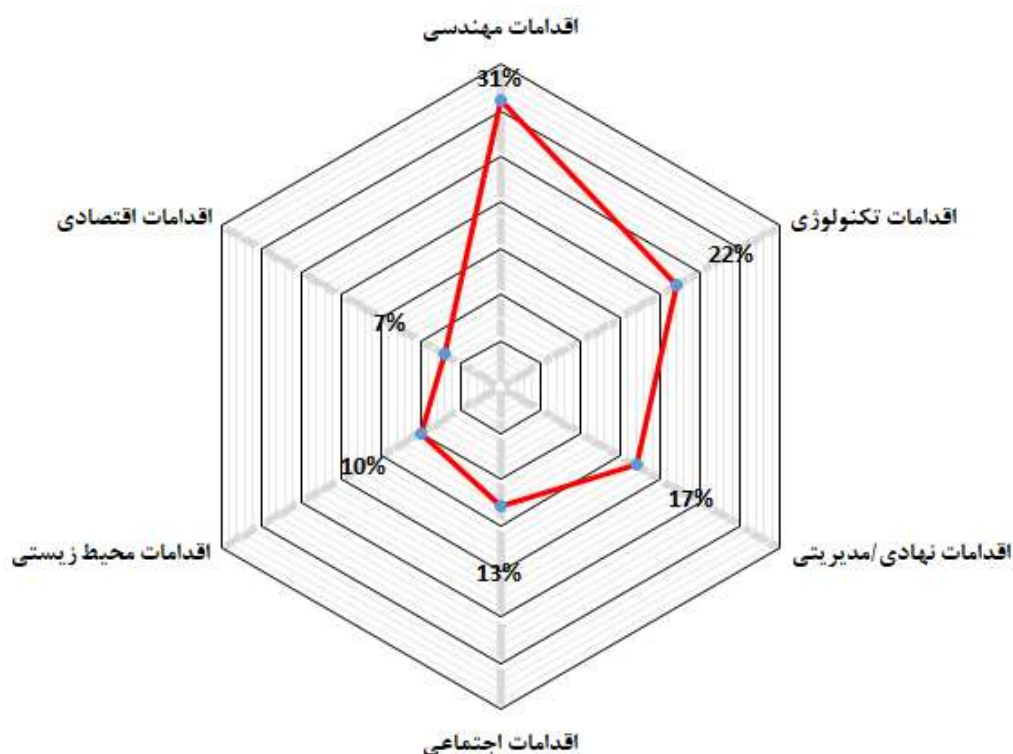
جدول ۵- الزامات و اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی (نظر کارشناسان)

اقدامات	اقدام خردتر	اقدامات / الزامات مؤثر بر مدیریت آب کشاورزی
تکنولوژی	❖ استفاده از فن‌آوری برای صرفه‌جویی در آب (ذخیره‌سازی، انتقال) ❖ فن‌آوری ذخیره سازی آب زراعی و بیولوژیکی / روش‌های عملی ❖ استفاده از محصول سازگار با محیط و محل ❖ استفاده از موتور آب برای انتقال آب (به جای استفاده از کانال) ❖ انتخاب انواع محصول مقاوم در برابر کم‌آبی ❖ استفاده از فن‌آوری برای آبیاری و بالا بردن راندمان استفاده از آب (موتور کشاورزی)	
اقدامات مهندسی	❖ افزایش کیفیت ساخت و ساز کانال‌ها و جوی‌های انتقال آب ❖ عملیات و نگهداری امکانات حفاظت از آب از طریق ساخت شبکه‌های انتقال آب ❖ ایجاد سد و بندهای کوچک در بالا دست رودخانه جهت تغذیه منابع آبی زیرزمینی که در هنگام کم‌آبی رودخانه استفاده شود ❖ اختصاص کمک هزینه برای روش‌های نوین بیاری / بیمه آبیاری ❖ ساخت کانال و شبکه انتقال آب سرپوشیده با بتون و یا کانال‌های آهنی	
اقدامات نهادی / مدیریت	❖ مدیریت فرآیند آبیاری و برنامه‌ریزی بهینه آبیاری ❖ دادن اطلاعات به کشاورزان در مورد شیوه‌های مناسب آبیاری ❖ سیاست تشویقی برای مزارع و کشاورزانی که از روش‌های نوین آبیاری استفاده می‌کنند ❖ سهمیه بندی و تقسیم بندی زمان‌های آبیاری ❖ برگزاری برنامه آموزش کشاورزان در مورد آبیاری و صرفه‌جویی در آب ❖ استفاده از آب زیرزمینی در کنار آب رودخانه برای کاهش فشار بر منبع آب رودخانه (به خصوص در فصول کم آب رودخانه)	
اقدامات محیط‌زیستی	❖ استفاده از منابع آب باران و ذخیره‌سازی آن ❖ استفاده از آب‌های زیرزمینی در کنار آب سطحی ❖ کشت درخت و چمن برای نگهداری و ذخیره‌سازی آب ❖ کنترل فرسایش زمین و کنترل آلودگی سطح خاک ❖ کنترل آلودگی منابع آب و خاک	
اقدامات اقتصادی	❖ افزایش عملکرد محصولات و بازده محصول در واحد سطح ❖ تنوع اقتصاد روستایی و عدم وابستگی آن‌ها به کشاورزی خالص ❖ پویایی سرمایه‌گذاری و برنامه‌های کارآفرینی و کاهش فشار بر منابع آب	

❖ مشارکت کشاورزان برای نوبتی کردن آبیاری به تفکیک هر روستا (به خصوص در زمان کم آبی) ❖ مشارکت کشاورزان در فرآیند مدیریت آبیاری ❖ مشارکت کشاورزان و استفاده هر روستا از یک کانال سرپوشیده و بتونی برای انتقال آب (به جای استفاده هر کشاورز از یک کانال) ❖ اعتماد کشاورزان به مدیران و مسئولین جهاد کشاورزی و پذیرش برنامه‌های مدیریت در مواقع کم آبی (البته در صورت تدوین و ارائه همچنین برنامه‌هایی)	اقدامات اجتماعی	
---	-----------------	--

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

در ادامه این بحث و با توجه به انجام مصاحبه‌ها درصد اهمیت مهم‌ترین الزامات/ اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی (نظر کارشناسان) شناسایی شد و مدل رادار آن ترسیم گردید (شکل ۵). برای ترسیم مدل رادار ابتدا درصد نظر هر یک از کارشناسان در مورد الزامات و اقدامات مدیریتی محاسبه شد و در ادامه و بعد از جمع بندی نظرات مشارکت کنندگان درصد اهمیت هر یک از الزامات/ اقدامات مدیریتی به دست آورده و مدل رادار ترسیم شد. طبق نتایج مدل رادار (شکل ۲) از میان ۶ گروه الزامات/ اقدامات مدیریتی کلی شناسایی شده، ۳۱٪ کارشناسان اقدامات مهندسی، ۲۲٪ اقدامات تکنولوژی، ۱۷٪ اقدامات نهادی/ مدیریتی، ۱۳٪ اقدامات اجتماعی، ۱۰٪ اقدامات محیط زیستی و ۷٪ کارشناسان اقدامات اقتصادی را مهم‌ترین الزامات و اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر را در نظر گرفتند. در بین اقدامات شناسایی شده، اقدامات مهندسی، بیش‌ترین اهمیت را در سیستم مدیریت آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه داشته است. دلیل اینکه این معیار بیش‌ترین اهمیت را داشت این بود که مهندسی آبیاری برای انتقال و توزیع آب کشاورزی بسیار مهم بود. بنابراین، بهبود استاندارد ساخت و ساز مهندسی آبیاری برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در حوضه‌های رودخانه‌ای که معمولاً با کم‌آبی زیاد روبرو نیستند، بسیار مهم است. اقدامات تکنولوژیکی و مدیریتی آن در اولویت دوم و سوم قرار داشتند، زیرا مدیریت آبیاری با استفاده از فن‌آوری‌های نوین و مدیریت بهینه از عوامل ضروری برای کارایی مصرف آب کشاورزی در حوضه‌های رودخانه‌ای می‌باشد. بنابراین، به‌منظور بهبود سطح مدیریت آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، مهندسی آبیاری، مدیریت با برنامه و تکنولوژی صرفه‌جویی در آب کشاورزی حوضه رودخانه کشکان باید افزایش یابد.



شکل ۵- نسبت اهمیت الزامات و اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی (درصد)

۴-جمع‌بندی

کمپابی آب و فرسایش منابع آبی، از مسائلی است که در صورت ادامه روندهای آن، بحران غیرقابل بازگشتی را رقم خواهد زد و فعالیت‌های کشاورزی که وابستگی زیادی به آب و منابع آب دارد را با چالش‌های زیادی روبرو خواهد نمود. در نواحی کوهستانی شهرستان پلدختر اقتصاد روستایی بر پایه کشاورزی شکل گرفته که توسعه آن تحت تأثیر منابع آب (به‌خصوص آب‌های سطحی) می‌باشد. در این شهرستان چهار رودخانه کشکان، سیمره، چولهول و زال در جریان هستند که نقش مهمی در تأمین آب کشاورزی روستاهای این شهرستان بازی می‌کنند. در این بین رودخانه کشکان به‌عنوان شاه‌رگ حیاتی اقتصاد کشاورزی شهرستان، دارای نقش برجسته‌تری است. با این حال سیاست‌های انتقال آب مناطق کوهستانی استان لرستان به استان‌های دیگر کشور در کنار وقوع خشکسالی‌های اخیر، عدم اجرای الگوی صحیح کشت و سوء مدیریت باعث کاهش سطح آب رودخانه‌های استان لرستان و از جمله رودخانه کشکان شده است. این امر کشاورزانی را که از منابع آب سطحی برای کشت محصولات استفاده می‌کنند را با چالش‌های روبرو ساخته است. علاوه بر این، وقوع مشکلات زیست‌محیطی، اقتصاد و معیشت جمعیت زیادی از مردم و کشاورزان که وابسته به رودخانه کشکان هستند را به خطر انداخته است. برای کاهش مشکلات کم‌آبی و سازگاری کشاورزان منطقه با این مشکل، یکی از موضوعات مهم و از راهکارهای مقابله با کمبود

آب و در نتیجه افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب کشاورزی و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های کارآمد و مدیریت منابع آب می‌باشد. در حوضه رودخانه کشکان نیز برای کاهش اثرات کم‌آب رودخانه، برای حفظ فعالیت‌های کشاورزی لازم است که مدیریت منابع آب کشاورزی مدنظر قرار گیرد و استراتژی‌های مدیریت آب کشاورزی شناسایی شوند. چراکه در شهرستان پلدختر و در حوضه رودخانه کشکان همانند سایر مناطق کشور که با چنین بحران‌هایی روبرو هستند، شناسایی روش‌های مدیریت آب و اقدامات جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی ضروری است.

در این مطالعه، بر اساس ادبیات و نظر کارشناسان چهار سطح مدیریت کلی و ۲۰ شیوه مدیریت خردتر برای شناسایی و ارزیابی مدیریت منابع آب و روش‌های مدیریت منابع آب کشاورزی موردبررسی قرار گرفت. نتایج در زمینه ارزیابی روش‌های مدیریت آب توسط کشاورزان حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر نشان داد که سطوح مدیریت منابع آب در شهرستان پلدختر پایین می‌باشد و کشاورزان تمایل چندانی به استفاده از روش‌های مدیریت آب کشاورزی ندارد. باین‌حال و بر اساس نتایج از بین روش‌های شناسایی شده برای مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، کشاورزان به دلیل کمبود سرمایه و تخصص بیشتر روش‌های ابتدایی و ساده مدیریت منابع آب که نیاز به تخصص و سرمایه زیادی نداشته را مورداستفاده قرار داده‌اند. کشاورزان روش‌هایی مانند آبیاری در زمان با تأخیر کم، کاهش دفعات آبیاری، استفاده از مخازن آب کوچک در زمین‌های کشاورزی، استفاده از لوله برای انتقال آب، سیمان زدن جوی‌ها و نهرهای انتقال آب، بهبود سیستم‌های زهکشی در مزارع و باغات و لایروبی کانال‌ها و جوی‌های انتقال آب را که بیشتر در برگیرنده روش‌های عملی و کاربردی است، به کار گرفته‌اند. نتایج در زمینه سطوح اصلی مدیریتی منابع آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر نیز نشان داد که مدیریت با افزایش قابلیت و ظرفیت سازگاری، مدیریت آب در دسترس، مدیریت در زمان کم‌آبی و مدیریت با حفظ تنوع زیستی مهم‌ترین روش‌های کلی مدیریت آب کشاورزی هستند. نتایج در زمینه شناسایی اقدامات مؤثر جهت مدیریت بهینه آب از طریق روش کیفی و تکنیک مصاحبه عمقی نشان داد که اقدامات تکنولوژی، اقدامات مهندسی، اقدامات نهادی/مدیریتی، اقدامات محیط‌زیستی، اقدامات اقتصادی و اقدامات اجتماعی به‌عنوان مهم‌ترین الزامات و اقدامات اصلی جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان در شهرستان پلدختر می‌باشند که برای بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه کشکان و توسعه کشاورزی در این منطقه لازم است مورد توجه قرار گیرند. البته در کنار توجه به شیوه‌های مدیریتی و اقدامات مدیریتی لازم است که از انتقال آب بالادست در استان به استان‌های قم و اصفهان، کشت بی‌رویه محصولات آبدوست، برداشت‌های غیر مجاز آب و ورود کشاورزان غیر بومی که با اجاره زمین و نصب پمپ موتورهای جت برای کشت سیب‌زمینی و هندوانه منابع آب این رودخانه را با چالش‌هایی روبرو نموده‌اند، جلوگیری شود. همچنین تعیین یک الگوی کشت با تأکید بر گیاهان سازگار به کم‌آبی از دیگر موضوعات مهم برای مدیریت آب کشاورزی این منطقه است. با توجه به یافته و در راستای سؤال اول پژوهش

می‌توان گفت که استفاده از لوله برای انتقال آب، کاهش دفعات آبیاری، آبیاری در زمان تبخیر کم، سیمان زدن جوی‌های آب، لایروبی کانال‌های آب و استفاده از مخازن کوچک آب مهم‌ترین شیوه‌های مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه می‌باشند. در پاسخ به سؤال دوم پژوهش نیز نتایج کیفی نشان داد که اقدامات مهندسی، تکنولوژی، نهادی/مدیریتی، اجتماعی، محیط زیستی و اقتصادی مهم‌ترین اقداماتی است که می‌تواند جهت مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان از سوی کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد.

مقایسه نتایج به دست آمده از این پژوهش با مطالعات پیشین حاکی است که یافته‌های این پژوهش در زمینه کیفیت ساخت و ساز و زیرساخت‌های آبیاری و فن‌آوری مهندسی کاهش دفعات آبیاری با نتایج مطالعه **حیدری (۱۳۹۸)** و **نووا و همکاران (۲۰۱۹)** و در زمینه استفاده از اقدامات مهندسی، تکنولوژی، نهادی/مدیریتی با نتایج مطالعه **ژانگ و همکاران (۲۰۱۸)** و **میشرا و همکاران (۲۰۲۱)** و نهایتاً در زمینه حفظ محیط زیست و کاربرد زه‌کشی آبیاری و فن‌آوری با نتایج مطالعه **ژوو و همکاران (۲۰۱۰)** همسو بوده و نتایج این تحقیقات را تأیید می‌نمایند.

در رابطه با یافته‌های این پژوهش، برای افزایش شیوه‌های مدیریتی و اقدامات مدیریتی و مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان و سایر مناطق کشور نکات زیر پیشنهاد می‌شود:

الف) با توجه به انجام روش‌های آبیاری سنتی و ابتدایی توسط کشاورزان شهرستان پلدختر، لازم است که تغییراتی در روش‌های آبیاری در باغات و زمین‌های کشاورزی حوضه این رودخانه انجام گیرد. به عنوان مثال تغییر روش آبیاری از آبیاری سنتی به آبیاری تحت فشار و دو نوع آن، آبیاری قطره‌ای و آبیاری بارانی می‌تواند راندمان آبیاری و تولیدات را به میزان بسیاری بالا ببرد؛

ب) جلوگیری از فعالیت کشاورزان غیربومی در منطقه - منظور کشاورزان همدانی و اصفهانی که با اجاره زمین در منطقه و با برداشت آب از رودخانه (با موتور جت) محصولات آب‌بری مانند سیب زمینی کشت می‌کنند که همین امر باعث هدر رفت و مصرف زیاد آب شده است - از دیگر راهکارهای مدیریت آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است؛

ج) با توجه به اینکه اکثر محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه کشکان از نوع محصولات آب دوست (مانند برنج، انواع سبزیجات و انجیر سیاه) هستند تغییر الگوهای کشت به محصولاتی چون زعفران، کنجد، حبوبات و غیره می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در منابع آب کشاورزی به بازده اقتصادی محصولات کشاورزی هم کمک کند؛

د) جلوگیری از انتقال آب استان لرستان به استان‌های قم و اصفهان که از علل کم‌آبی منابع آب سطحی و زیرزمینی هستند، همچنین جلوگیری از کشت سیب‌زمینی توسط کشاورزان غیربومی (همدانی / اصفهانی) از دیگر موضوعات مهم مدیریت منابع آب در استان لرستان، شهرستان پلدختر و به خصوص حوضه روخانه کشکان است؛

ه) با توجه به اینکه سد یا بند مهمی در بالا دست رودخانه برای ذخیره‌سازی آب و تقویت آب‌های زیرزمینی احداث نشده و چند سد در دست بررسی و اقدام هستند، اتمام پروژه‌های زیرساختی در بخش کشاورزی استان و شهرستان مانند سد چولهول و سد معشوره برای ذخیره‌سازی آب و تقویت آب‌های زیرزمینی می‌تواند در فصل کم بارش و کم‌آبی رودخانه کشکان جایگزین خوبی برای تأمین کشاورزی شهرستان باشد؛

ی) همچنین پیشنهاد می‌شود کشاورزان با روش‌های مدیریت رطوبت خاک از طریق بکارگیری روش‌ها و مواد مختلف از جمله استفاده مجدد از پساب‌های مزرعه، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، افزایش ظرفیت ذخیره رطوبت خاک از طریق استفاده از کودهای دامی و بقایای گیاهی، انجام شخم عمیق در پاییز و زمستان برای حفظ رطوبت خاک استفاده شود؛

و) استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای و کشت‌های هیدروپونیک (کشت بدون خاک) که نیاز چندانی به آب ندارد نیز از دیگر راهکارهای مدیریت آب و صرفه‌جویی در منابع آب است. استفاده از این روش‌های کشت مزایای زیادی از جمله افزایش عملکرد در واحد سطح، کاهش مصرف آب، کاهش استفاده از سموم برای کنترل آفات و بیماری‌ها بدلیل در کنترل بودن شرایط کلیمای محصول مورد کشت و اشتغال‌زایی وسیع را نیز به دنبال دارد.

کتابنامه

اسماعیل‌زاده پاداری، سیامک، حسینی، سید محمود، امیدی نجف‌آبادی، مریم؛ ۱۳۹۶. بررسی نقش اعتبارات اعطایی بانک کشاورزی در توسعه روستایی: مطالعه موردی استان تهران. روستا و توسعه. دوره بیستم. شماره ۱. صص ۱-۱۴۷-

۱۶۹. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.15633322.1396.20.1.7.6>

جشاری، سهیلا، مرادی، ابراهیم؛ ۱۳۹۸. تدوین راهبردهای توسعه اقتصاد کشاورزی نواحی روستایی استان سیستان و بلوچستان با رویکرد آینده‌پژوهی. اقتصاد فضا و توسعه روستایی. دوره هشتم شماره ۲۹. صص ۵۱-۶۶.

<http://serd.khu.ac.ir/article-1-3353-fa.html>

حیدری، نادر؛ ۱۳۹۸. رویکردها و راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم از جنبه‌های مدیریت آب کشاورزی و امنیت غذایی. مدیریت آب در کشاورزی. دوره ششم. شماره ۱. صص ۲۳-۳۶.

URL: http://wmaj.iaid.ir/article_100570.html

شهیدی، علی، مروّت‌نشان، علی؛ ۱۳۹۵. مدیریت آب کشاورزی با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک (GA) (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه آبیاری و زهکشی / ایران. دوره دهم. شماره ۶. صص ۷۱۴-

۷۲۲. https://idj.iaid.ir/article_55454_b459982af601bc9be2c0621c9861747b.pdf

طولابی‌نژاد، مهرشاد، طولابی‌نژاد، میثم، طباطبایی، سیدعلی، (۱۳۹۶)، سازگاری کشاورزان با تغییرات آب و هوایی و نقش آن در امنیت غذایی خانوارهای روستایی شهرستان پلدختر. مخاطرات محیط طبیعی. دوره ششم. شماره ۱۳. صص

۶۷-۹۰. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3148>

عنابستانی، علی‌اکبر، طولابی‌نژاد، مهرشاد؛ ۱۳۹۷. ارزیابی و اولویت‌بندی موانع و چالش‌های بازاریابی محصولات کشاورزی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (مطالعه موردی: روستاهای بخش مرکزی شهرستان پلدختر).

مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره هشتم. شماره ۳۰. صص ۵۹-۷۸.

<https://doi.org/10.30488/gps.2019.85832>

عیدی، اسماء، کاظمیه، فاطمه، ظریفیان، شاپور؛ ۱۴۰۰. واکاوی عوامل مؤثر بر نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی گندمکاران روستاهای شهرستان مراغه). دانش کشاورزی و تولید پایدار. دوره

سی و یکم. شماره ۲. صص ۳۶۱-۳۷۵. <https://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.13118>

منتظری، عبدالقیوم، صحنه، بهمن، قانقرمه، عبدالعظیم؛ ۱۴۰۰. نقش مدیریت منابع آب در معیشت پایدار خانوارهای نواحی روستایی نمونه پژوهش: دهستان مزرعه شمالی و جنوبی شهرستان آق‌قلا. برنامه‌ریزی فضایی. دوره یازدهم،

شماره ۱، صص ۶۷-۸۶. <https://doi.org/10.22108/sppl.2020.122008.1478>

مهدی‌زاده ملاباشی، تورج؛ ۱۳۹۴. حکمرانی و مدیریت جامع منابع آب در فضای پسابرجام، فصلنامه صدای آب. دوره

چهارم، شماره ۱، صص ۱-۱۰. <https://civilica.com/doc/245>

یارمرادی، زهرا، خداداد، مهدی، نصیری، بهروز، کرپور، مصطفی؛ ۱۳۹۸. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب آب‌های زیرزمینی نیازمند به تغذیه مصنوعی با مدل فازی (با تاکید بر استان لرستان). علوم و مهندسی آب و فاضلاب. دوره چهارم،

شماره ۲، صص ۴۷-۵۷. <https://doi.org/10.22112/jwwse.2019.163705.1130>

Aremu, Y. S., 2014. Role of Agriculture in Economic Growth & Development: Nigeria Perspective, Munich Personal RePEc Archive (MPRA), Paper No. 55536, posted 28. April 2014 13:18 UTC, 1- 22. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/55536/1/MPRA_paper_55536.pdf

Bakker, K., 2012. Water security: research challenges and opportunities. Science, 337(6097), 914-915. <https://doi.org/10.1126/science.1226337>

Barker, R. Molle, F., 2004. Evolution of irrigation in South and Southeast Asia (Vol. 5). Iwmi. <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files/pdf/publications/ResearchReports/CARR5.pdf>

Bielski, S., Marks-Bielska, R., Zielińska-Chmielewska, A., Romanekas, K., & Šarauskis, E., 2021. Importance of agriculture in creating energy security-A case study of Poland. Energies, 14(9), 1- 20. <https://doi.org/10.3390/en14092465>

Chen, S., & Ravallion, M., 2007. Absolute poverty measures for the developing world, 1981-2004. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(43), 16757-16762. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702930104>

Cheng, C., & Jinxia, W., 2010. Progress, characteristics and determinants of irrigation management reform: empirical research in the irrigation district of the yellow river basin. Journal of Natural Resources, 25(7), 1079-1086. <http://www.jnr.ac.cn/EN/10.11849/zrzyxb.2010.07.003>

De Fraiture, C., Molden, D., & Wichelns, D., 2010. Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture. Agricultural Water Management, 97(4), 495-501. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.015>

- Del Carpio, M. B., Alpizar, F., & Ferraro, P. J., 2021. Community-based monitoring to facilitate water management by local institutions in Costa Rica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(29), 1- 10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2015177118>
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G., 2011. Is there a need for a more sustainable agriculture? Critical reviews in plant sciences, 30(1-2), 6-23. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.553515>
- Gordon, L. J., Finlayson, C. M., & Falkenmark, M., 2010. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management*, 97(4), 512-519. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.017>
- Hernik, J., Noszczyk, T., & Rutkowska, A., 2019. Towards a better understanding of the variables that influence renewable energy sources in eastern Poland. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118- 123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118075>
- Khadim, F. K., Dokou, Z., Bagtzoglou, A. C., Yang, M., Lijalem, G. A., & Anagnostou, E., 2021. A numerical framework to advance agricultural water management under hydrological stress conditions in a data scarce environment. *Agricultural Water Management*, 254, 1- 21. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106947>
- Kumar. D. P, Bhavani R. V and Swaminathan, M. S., (2014), A Farming System Model to Leverage Agriculture for Nutritional Outcomes, *Agricultural Research*, 3 (3), 193-203. https://doi.org/10.1142/9789813200074_0026
- Le Roux, B., van der Laan, M., Vahrmeijer, T., Bristow, K. L., & Annandale, J. G., 2017. Establishing and testing a catchment water footprint framework to inform sustainable irrigation water use for an aquifer under stress. *Science of the Total Environment*, 599, 1119-1129 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.170>
- Mishra, Y., Babel, M. S., Nakamura, T., & Mishra, B., 2021. Impacts of Climate Change on Irrigation Water Management in the Babai River Basin, Nepal. *Hydrology*, 8(2), 85- 103. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020085>
- Mishra, Y., Nakamura, T., Babel, M. S., Ninsawat, S., & Ochi, S., 2018. Impact of climate change on water resources of the Bheri River Basin, Nepal. *Water*, 10(2), 220. <https://doi.org/10.3390/w10020220>
- Mokarram, M., Zarei, A. R., & Etedali, H. R., 2021. Optimal location of yield with the cheapest water footprint of the crop using multiple regression and artificial neural network models in GIS. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 701-712. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03413-y>
- Molden, D., 2013. *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Routledge. https://handle/10568/36462/Summary_Synthesis_Book.
- Namara, R. E., Hanjra, M. A., Castillo, G. E., Ravnborg, H. M., Smith, L., & Van Koppen, B., 2010. Agricultural water management and poverty linkages. *Agricultural water management*, 97(4), 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.007>
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Sáez, K., de la Barrera, F., & Arumí, J. L., 2019. Understanding agricultural water footprint variability to improve water management in Chile. *Science of the total environment*, 670, 188-199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.127>
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M. H., 2018. Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651-659. <https://nature.com/articles/s41586-018-0123-1>
- Rondhi, M., Khasan, A. F., Mori, Y., & Kondo, T., 2020. Absence of legislation and the quest for an effective mode of governance in agricultural water management: An insight from an

- irrigation district in central java, Indonesia. *Irrigation and Drainage*, 69(4), 572-583. <https://doi.org/10.1002/ird.2450>
- Standar, A., Kozera, A., & Satoła, Ł., 2021. The Importance of Local Investments Co-Financed by the European Union in the Field of Renewable Energy Sources in Rural Areas of Poland. *Energies*, 14(2), 450- 470. <https://doi.org/10.3390/en14020450>
- Sun, H., Wang, S., & Hao, X., 2017. An Improved Analytic Hierarchy Process Method for the evaluation of agricultural water management in irrigation districts of north China. *Agricultural Water Management*, 179, 324-337. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.002>
- Ullah, R., Abbas, A. W., Ullah, M., Khan, R. U., Khan, I. U., Aslam, N., & Aljameel, S. S., 2021. EEWMP: An IoT-Based Energy-Efficient Water Management Platform for Smart Irrigation. *Scientific Programming*, 2021(4), 1- 9. <https://doi.org/10.1155/2021/5536884>
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G., 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>
- World Bank., 2016. Reengaging in Agricultural Water Management: Challenges and Options. The Office of the Publisher, Washington D C. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6498-7>
- Xiang, Z., Bailey, R. T., Nozari, S., Husain, Z., Kisekka, I., Sharda, V., & Gowda, P., 2020. DSSAT-MODFLOW: A new modeling framework for exploring groundwater conservation strategies in irrigated areas. *Agricultural Water Management*, 232, 1- 33. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106033>
- Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Z., Yan, G., Nan, W., & Weiguang, W., 2017. Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. *Science of the Total Environment*, 609, 587-597. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.191>
- Xu, D., Gong, S., Li, Y., & Liu, Y., 2010. Problem and strategies on development of agricultural water management. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(11), 1-7. <https://content/tcsae/tcsae/2010/00000026/00000011/art00001>
- Yadeta, D., Kebede, A., & Tessema, N., 2020. Climate change posed agricultural drought and potential of rainy season for effective agricultural water management, Kesem sub-basin, Awash Basin, Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(1), 653-666. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03113-7>
- Zhang, J., Bai, M., Zhou, S., & Zhao, M., 2018. Agricultural water use sustainability assessment in the Tarim River Basin under climatic risks. *Water*, 10(2), 170- 181. <https://doi.org/10.3390/w10020170>
- Zhu, T., Ringler, C., & Rosegrant, M. W., 2019. Viewing agricultural water management through a systems analysis lens. *Water Resources Research*, 55(3), 1778-1791. <https://doi.org/10.1029/2017WR021007>



Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces)

 Saleh Arekhi^{a*}, Marzieh Barzegar Savasari^b, Somia Emadoddian^a

^a Assistant Professor, Geography Department, Human Sciences College, Golestan University, Gorgan, Iran

^b MSc Student, Human Sciences College, Golestan University, Gorgan, Iran

Received: 31 August 2021

Revised: 10 December 2021

Accepted: 18 December 2021

Abstract

Drought is a situation of lack of rainfall and rising temperatures that occurs in any geographical area and in any climate, even in humid areas. The frequency and severity of drought are higher in arid and semi-arid regions. Drought occurs without notice and has a wide range of impacts unlike other natural disasters. The damage caused by drought is intangible but very large and costly. Therefore, the basis of a regular program for better management according to past events requires drought monitoring. Meteorological drought indices are calculated directly from meteorological data such as rainfall. In the absence of such data, they will not be useful in monitoring drought. Therefore, remote sensing technique can be a useful tool in drought monitoring. In this study, the relationship between standardized precipitation index (SPI index) and remote sensing indices of VCI, TCI and VHI in Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, Markazi, and Qom provinces was investigated. Using satellite images of Modis Terra sensor and precipitation data of rain gauge and synoptic stations located in the studied area, the changes occurred over a period of 10 years was calculated. For this purpose, four months (April, May, June, and July) were selected as a sample by reviewing the data of existing stations and using the standardized precipitation index (SPI) model. In this study, due to time accuracy, high spectrum coverage, ease of access, no need for atmospheric correction and ground reference, images with code (MOD11A2 and MOD13A2) of Modis satellite sensor products related to the years 2011 to 2020 due to confidence of wet and drought phenomena was used and then SPI index was compared with VCI, TCI, and VHI indices in combination. The results of drought monitoring showed that during the ten-year period, there was severe drought in some years, and in the same year, less rainfall occurred. In 2020, for example, the drought was very severe, and in 2011 it was very wet. The results of the correlation between SPI index and remote sensing indices showed that SPI index has the highest correlation with VCI index at the level of 0.01. It was found that MODIS images and constructed indices have the necessary capability for drought monitoring. The results of this study can be a good option for decision makers to monitor, investigate and resolve drought conditions and double the need to define an index.

Keywords: Drought, SPI index, VCI index, TCI, VHI, Central Iran

*. Corresponding author: Saleh Arekhi

E-mail: s.arekhi@gu.ac.ir

Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Arekhi, S., Barzegar Savasari, M., & Emadodin, S. (2022). Investigating indicators resulting from remote sensing technology in drought assessment using MODIS images (Case study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi provinces). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 189-224.

DOI:10.22067/geoeh.2021.72253.1102



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72253.1102>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهار و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۲۴-۱۸۹

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران)

صالح آرخی^۱ - استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. مرضیه برزگر سواسری - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

سمیه عمادالدین - استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۷

چکیده

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر منطقه جغرافیایی و در هر اقلیمی، حتی در مناطق مرطوب رخ می‌دهد که فراوانی و شدت وقوع آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر است. خشکسالی بدون اعلام قبلی رخ می‌دهد و دامنه تأثیر آن بر خلاف وقایع طبیعی دیگر بسیار وسیع می‌باشد. خسارات ناشی از خشکسالی غیر ملموس ولی بسیار وسیع و پرهزینه است. لذا اساس یک برنامه منظم برای مدیریت بهتر طبق رخدادهای گذشته پایش خشکسالی را ایجاب می‌کند. شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مستقیماً از روی داده‌های هواشناسی نظیر بارندگی محاسبه می‌شوند و در صورت فقدان داده‌های مذکور، در پایش خشکسالی مفید واقع نخواهند شد. لذا تکنیک سنجش‌ازدور می‌تواند ابزاری مفید در پایش خشکسالی به شمار رود. در این تحقیق به بررسی ارتباط بین شاخص خشکسالی هواشناسی (شاخص SPI) و شاخص‌های سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در استان‌های اصفهان،

Email : s.arekhi@gu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۶۹۰۶۴۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

آرخی، صالح؛ برزگر سواسری، مرضیه؛ عمادالدین، سمیه. (۱۴۰۱). بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران). جغرافیا و مخاطرات محیطی.

۱۱ (۳). صص ۲۲۴-۱۸۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72253.1102>

چهارمحال و بختیاری، مرکزی و قم پرداخته شده است. در این راستا، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترا و داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک واقع در منطقه مورد مطالعه، آشکارسازی تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۰ ساله محاسبه گردید. بدین منظور ابتدا با بررسی داده‌های ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) چهار ماه (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر) به‌عنوان نمونه انتخاب شد. در این مطالعه با توجه به دقت زمانی، پوشش طیفی بالا، سهولت دسترسی، عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و زمین مرجع نمودن، تصاویر با کد (MOD11A2 و MOD13A2) از محصولات ماهواره مودیس سنجنده ترا مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به دلیل اطمینان از وجود پدیده ترسالی و خشکسالی استفاده شد و سپس شاخص SPI با شاخص‌های VCI، TCI و VHI به‌صورت تلفیقی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج پایش خشکسالی نشان داد که طی این دوره ده‌ساله در برخی از سال‌ها خشکسالی شدید وجود داشته که در همان سال نیز بارش به میزان کمتری رخ داده است. برای مثال در سال ۲۰۲۰ این خشکسالی بسیار شدید بوده است و در سال ۲۰۱۱ ترسالی بسیار شدیدی را نشان داد. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های سنجش‌ازدوری نشان داد که شاخص SPI بالاترین همبستگی را با شاخص VCI در سطح ۰/۰۱ دارد که مشخص گردید تصاویر MODIS و شاخص‌های ساخته شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند گزینه مناسبی برای تصمیم‌گیران به‌منظور بررسی نظارت، بررسی و حل و فصل شرایط خشکسالی مؤثر باشد و ضرورت تعریف نمایه‌ای را دو چندان کند.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، شاخص SPI، شاخص VCI، TCI، VHI، مناطق مرکزی ایران.

۱- مقدمه

خشکسالی ازجمله بلایای طبیعی با شروعی آرام و ماهیتی خزننده است که تقریباً در تمام اقلیم‌ها رخ می‌دهد و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی، اقلیم، منابع آبی، کشاورزی، محیط‌زیست و حتی بخش‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شاخص‌های معمول ارزیابی و پایش خشکسالی اغلب وابسته به داده‌های بارش هستند. یکی از مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است. داده‌های هواشناسی به علت دسترسی محدود به محل اندازه‌گیری و در مواردی به دلیل ناقص بودن اطلاعات آن برای ارزیابی به‌ویژه در مناطق بزرگ چندان مناسب نیست؛ بنابراین، استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور، تصاویر ماهواره‌ای، تعریف شاخص‌های مرتبط با سنجش‌ازدور به دلیل ارزان و قابل تکرار بودن، به‌روز بودن و در بر گرفتن سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی می‌تواند ضمن پوشش کاستی‌های مرتبط با داده‌های هواشناسی ایستگاهی، ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی را در پایش دقیق‌تر برقرار سازد (رستمی و همکاران، ۲۰۱۶). کمبود بارش در یک

منطقه برای دوره‌های زمانی طولانی مدت به عنوان خشکسالی شناخته می‌شود. این کمبود آب در چرخه هیدرولوژیکی منتشر می‌شود و انواع مختلف خشکسالی را ایجاد می‌کند (فوریلو و گودونگو^۱، ۲۰۱۰). بروز خشکسالی و کاهش بارش بر منابع آب و کشاورزی در هر منطقه تأثیرگذار است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹). تغییرپذیری منابع آب زیرزمینی از تغییرات اقلیمی ناشی از فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارش، تبخیر و تعرق و تعامل با آب سطحی انجام می‌گیرد (چنگ و همکاران^۲، ۲۰۰۴). منظور از پایش خشکسالی ارائه اطلاعات به هنگام از دوام، شدت و توسعه جغرافیایی خشکسالی در یک ناحیه به منظور اتخاذ اقدامات مناسب برای مقابله با آثار زیان‌بار خشکسالی است. در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (کارال و همکاران^۳، ۱۹۸۹). اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است. شروع استفاده از شاخص‌های جامع را می‌توان با شاخص‌هایی که پالمر در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد، دانست. شاخص‌های هواشناسی با در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی مانند میزان بارش، رطوبت و دما، خشکسالی تعریف می‌کنند (سیلوا^۴، ۲۰۰۳). نظر به اینکه شاخص‌های سستی خشکسالی تنها برای یک محل معتبر هستند و قدرت تفکیک مکانی لازم را برای ارزیابی خشکسالی ندارند، همچنین این شاخص‌ها به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی وابسته‌اند و ایستگاه‌ها اغلب با فاصله مکانی زیادی از هم توزیع شده‌اند، این مسئله بر قابلیت اعتماد این شاخص‌ها تأثیر منفی خواهد داشت. از این رو، شاخص‌های ماهواره‌ای نظر به دارا بودن قدرت مکانی و زمانی بالا و امکان بررسی شرایط مختلف استفاده شده‌اند. شروع استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور برای پایش خشکسالی، به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین باز می‌گردد. یک مرتبه کالیبره کردن اطلاعات ماهواره‌ای با واقعیت زمینی، امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای پایش شروع خشکسالی، واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی و بهبود پس از استرس را فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی در رابطه با پایش خشکسالی با استفاده از سنجش‌ازدور ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه است. برخی از مدل‌ها عبارت‌اند از: شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)^۵، شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)^۶، شاخص وضعیت دمایی (TCI)^۷، شاخص LST (بایارجارگل و همکاران^۸، ۲۰۰۶)، شاخص‌های NDVI، NDWI، LST/NDVI و غیره (گو و همکاران^۹، ۲۰۰۷).

1 Fiorillo and Guadagno

2 Chen et al

3 Karel et al

4 Silva

5 Vegetation Condition Index

6 Vegetation Health Index

7 Temperature Condition Index

8 Bayarjargal et al

9 Gu et al

از آنجایی که امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده MODIS^۱ استفاده شد، زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکسالی مناسب‌تر است (سکاتو و همکاران^۲، ۲۰۰۱). از این‌رو، از سال ۲۰۰۰ پس از کسب اولین داده‌های ماهواره‌ای از این سنجنده، استفاده از اطلاعات آن به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی مد نظر قرار گرفت. دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکسالی در مناطق کشاورزی و نیمه‌خشک تاکنون ارائه شده است.

در همین خصوص، تحقیقات متعددی در سطح جهان و ایران صورت پذیرفته است که در بیشتر آن‌ها با به‌کارگیری داده‌ها و روش‌های سنجش‌ازدور، اقدام به پهنه‌بندی شدت و وسعت خشکسالی شده است. جی و پترز^۳ (۲۰۰۳)، ارتباط بین بارش استاندارد شده و شاخص NDVI^۴ را مورد بررسی قرار دادند. بیشترین همبستگی آن‌ها در دوره‌های میانی رشد (۳ ماه) بوده است. همچنین به وجود تأخیر زمانی عکس‌العمل پوشش گیاهی نسبت به بارش اشاره شده است. روسویتیارتی و همکاران^۵ (۲۰۱۰) به برآورد خشکسالی در جزیره جاوای اندونزی پرداختند. آن‌ها برای این کار از تصاویر MODIS برای شاخص EVI^۶ و دمای سطح زمین LST^۷ استفاده کردند. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI به دست آمده است و در آخر با استفاده از نقشه VHI سلامت پوشش گیاهی در جزیره جاوا به دست آمده است.

زامبرانو و همکاران^۸ (۲۰۱۶) در منطقه بیویو شیلی به منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، شاخص‌های VCI و SPI در مقیاس زمانی یک تا شش ماه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در ۱۸ ایستگاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، SPI سه‌ماهه بیشترین همبستگی ($r=0.77$) را با شاخص VCI دارد. پای و همکاران^۹ (۲۰۱۸) مطالعه‌ای در کشور چین با هدف پایش پویایی گیاه با استفاده از شاخص‌های VCI، TCI و VHI برای دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ انجام دادند و در نهایت ذکر کردند که رابطه بین VCI و TCI در نواحی مختلف متفاوت است.

اسیک و یلدریم^{۱۰} (۲۰۱۸) خشکسالی کشاورزی در دشت کاواکدره ترکیه را به وسیله شاخص‌های NDVI و SAVI و دمای سطح ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که هر دو شاخص مذکور با دمای سطح طی فصل آبیاری،

1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2 Ceccato et al

3 Ji and Peters

4 Normalized Difference vegetation Index

5 Roswintarti et al

6 Enhanced Vegetation Index

7 Land Surface Temperature

8 Zambrano et al

9 Pei et al

10 Asik and Yildirim

جایی که درجه حرارت افزایش یافته و بارندگی کاهش یافته، به‌طور مؤثری رطوبت قابل دسترس را کاهش داده است، همبستگی منفی دارند.

الحق و ژانگ^۱ (۲۰۱۸) مطالعه‌ای را با هدف بررسی و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی بر پایه دو شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص شدت خشکسالی DSI و تأثیر خشکسالی بر بهره‌وری ذرت خوشه‌ای در سودان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ انجام دادند. برای شناسایی مناطق خشک و مرطوب، از داده‌های بارش ماهواره TRMM از سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ استفاده و در مقیاس فصلی (جولای-اکتبر) نقشه‌برداری شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد وضعیت خشکی در سراسر سودان در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف متغیر است. نتایج DSI نشان داد بیشتر مناطق سودان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ متأثر از خشکسالی بوده است.

در بخش مطالعات داخلی نیز پژوهش‌های انجام پذیرفته است که در ذیل به آن‌ها پرداخته می‌شود: **محمودزاده و همکاران (۱۳۸۷)** از دو شاخص SPI و NDVI طی سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۸ برای بررسی خشکسالی در منطقه فریدون‌شهر استفاده کرده و درنهایت این دو شاخص را با هم مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بین تصاویر NDVI ماه‌های آوریل و می و SPI دسامبر و ژانویه همبستگی معناداری وجود دارد. پرویز و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی عملکرد دو شاخص NDVI و VCI در پایش خشکسالی در حوضه آبریز سفیدرود با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS پرداختند. نتایج بیان می‌کند که شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI در تعیین شرایط خشکسالی مؤثرتر است. **غفوریان (۱۳۹۳)** طی سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ در استان خراسان رضوی، با استفاده از شاخص SPI داده‌های زمینی و داده‌های ماهانه ماهواره TRMM، خشکسالی در مقیاس‌های یک، سه، شش و نه‌ماهه را موردبررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که به‌جز در مقیاس یک‌ماهه همبستگی نزدیکی بین داده‌های خشکسالی زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. **اورنگی و همکاران^۲ (۲۰۱۱)** به برآورد خشکسالی در استان فارس ایران با استفاده از تصاویر AVHRR و مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای SPOT پرداختند. در این پژوهش، از شاخص‌های VCI، TCI و VHI در مقایسه با شاخص‌های SPI، SWI و DSI استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که این روش‌ها برای آگاهی از خشکسالی اولیه مناسب هستند و می‌توانند برای مدیریت ریسک خشکسالی در آب‌وهوای نیمه‌خشک از جمله استان فارس در ایران استفاده شوند. **شهاب‌فر و همکاران (۲۰۱۲)** مطالعه خود را به‌منظور بررسی رابطه بارش (با استفاده از شاخص‌های زمینی CZI، Z و MCZI) و شاخص‌های سنجش‌ازدوری PDI، EVI، VCI و MPDI در فاصله زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۵ انجام دادند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی نشان داد که تمام این شاخص‌های سنجش از راه دور به‌طورکلی، رابطه آماری معنی‌دار با داده‌های بارش دارد. بااین‌حال، درجه ارتباط میان مناطق مختلف آب و هوایی متفاوت است. VCI و EVI ضعیف‌ترین رابطه را به‌ویژه در مناطق خشک نشان دادند. در مقابل، ارتباط

1 Elhag and Zhang

2 Owrangi et al

معنی داری بین MPDI و PDI و خشکسالی سطح منطقه وجود دارد. PDI برای برنامه‌های کاربردی خاک لخت و یا مراحل اولیه رشد پوشش گیاهی مناسب‌تر است، درحالی‌که MPDI هم برای سطوح با پوشش گیاهی، هم خاک لخت مؤثر است. پیش‌نمازاحمدی و همکاران (۱۳۹۶) خشکسالی شمال غرب ایران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و TRMM بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد سال ۲۰۰۸، بیشترین خشکسالی و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ کمترین خشکسالی را داشته است.

حمزه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور مورد مطالعه: استان مرکزی ایران، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس به بررسی الگوهای خشکسالی پرداخته است. نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی با شرایط اقلیمی محدوده تطابق بیشتری دارد، به گونه‌ای که این شاخص بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی انتخاب گردید. **سلطانی و همکاران (۱۳۹۸)** در پژوهشی با عنوان پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست (منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه) به پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در منطقه کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان دهنده این موضوع است که تصاویر لندست و شاخص‌های سنجش‌ازدوری ساخته شده دارای قابلیت لازم و کافی برای پایش خشکسالی می‌باشد.

در منابع مختلف (لین^۱، ۲۰۰۳؛ **حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۹۸؛ امیدوار، ۱۳۹۳**) به مجموعه متنوعی از روش‌ها برای تحلیل خشکسالی اشاره می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش‌های مطالعه بیلان آبی مناطق، روش‌های تحلیل جریان، روش‌های تحلیل داده‌های بارندگی، روش‌های تحلیل همدیدی (سینوپتیک)، روش‌های استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیک، روش‌های سنجش‌ازدور، روش‌های تعیین شاخص‌های خشکسالی و ...؛ روش اخیر که بیشتر بر روش‌ها و الگوهای ریاضی و تحلیل داده‌های کمی اقلیمی مبتنی است، کاربرد فراوانی برای تحلیل خشکسالی دارد (**نوروزی و محمدی، ۱۳۹۵**).

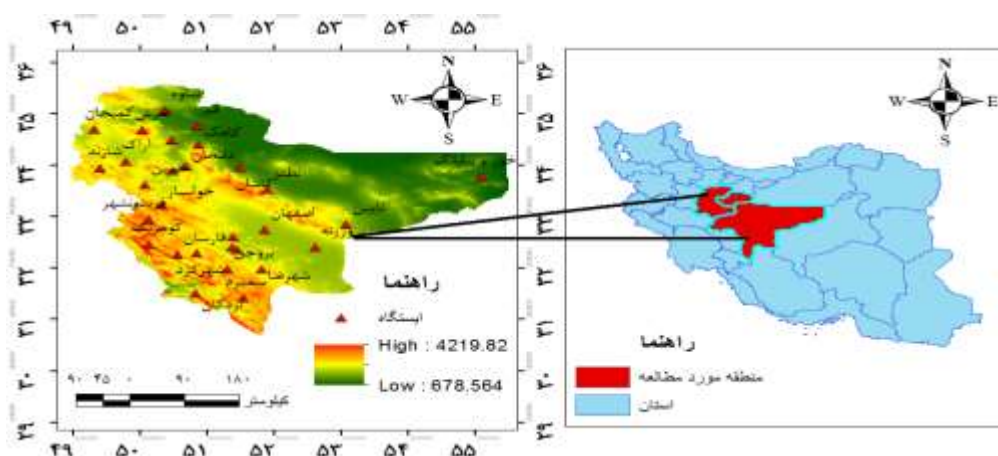
شاخص‌های گیاهی روش‌های پرکاربرد برای پایش خشکسالی از طریق داده‌های ماهواره‌ای هستند. ولی مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی و شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص‌ها از نظر صحت داده‌ها با شرایط گیاه و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. علاوه بر این، اغلب این مطالعات در مناطق با بارش حدود نرمال صورت گرفته است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از هر شاخص گیاهی در هر منطقه‌ای استفاده نموده و نتایج مشابهی را انتظار داشت. از این رو باید رابطه هر یک از شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در منطقه مطالعاتی مدنظر مورد بررسی قرار گیرد؛ بنابراین، با توجه به تحقیقات فوق، در پژوهش حاضر، هدف ارزیابی، پایش مکانی و زمانی خشکسالی با

استفاده از شاخص هواشناسی SPI و شاخص‌های سنجش از دوری VCI، VHI و TCI در استان‌های اصفهان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری و قم برای سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ است و در ادامه همبستگی بین شاخص زمینی SPI و شاخص‌های منتخب ماهواره‌ای بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

کشور ایران همانند بسیاری از کشورهای دیگر خاورمیانه از نظر تأمین آب در وضعیت مناسبی قرار ندارد. این کشور به دلیل قرار گرفتن روی کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، جزء مناطق کم‌باران جهان به شمار می‌آید. استان‌های قم، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی نیز از جمله استان‌هایی هستند که درباره وضعیت خشکسالی آن‌ها در چند سال اخیر، مدام هشدار داده شده است. مطالعه خشکسالی در این چهار استان، به دلیل حساسیت این استان‌ها و همچنین جمعیت بسیار زیادی که در خود جای داده است، اهمیت ویژه‌ای دارد. به همین دلیل، استان‌های فوق در این پژوهش، انتخاب شد. استان‌های فوق در مرکز ایران در محدوده طول جغرافیایی ۴۹ درجه تا ۵۵ درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه تا ۳۵ درجه بررسی شده‌اند. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۶۳۹۷۷ کیلومتر مربع می‌باشد. میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه بین ۱۴۰ تا ۶۰۰ میلیمتر در تغییر است و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. از جنوب به شمال این منطقه، به دلیل شرایط توپوگرافی و طبیعی متفاوت، اقلیم متنوعی دیده می‌شود. قسمت‌های جنوبی بیشتر زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و قسمت‌های شمالی زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم دارد (خدایی و همکاران، ۱۳۹۵). در شکل ۱، موقعیت منطقه در کشور همراه با ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه

۲-۲- سنجنده مودیس

مودیس (اسپکترو رادیومتر تصویر بردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده‌ای است که بر روی ماهواره ترا (EOS-AM) قرار داده شده است. سنجنده مودیس ماهواره ترا، هر دو روز یکبار از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد و دامنه طیفی آن از طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در ۲ باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی ۲۵۰ متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۳۰ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند.

۲-۳- داده‌های زمینی

در این پژوهش، از آمار بارندگی ۲۹ ایستگاه هواشناسی واقع در استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال و بختیاری استفاده شد. ایستگاه‌ها بر مبنای طول دوره آماری، پوشش مناسب مکانی (شکل ۲) در منطقه مورد مطالعه و قابل اعتماد بودن داده‌های آماری آن‌ها انتخاب شده‌اند. دوره زمانی مورد مطالعه در این تحقیق از سال ۲۰۱۱ میلادی تا سال ۲۰۲۰ میلادی می‌باشد. از آنجایی که داده‌های مورد استفاده برای مقایسه از نظر مقیاس زمانی باید هم‌خوانی داشته باشند و با توجه به این که داده‌های ماهواره TERRA به صورت میلادی و داده‌های ماهانه سازمان آب منطقه‌ای به صورت شمسی می‌باشد، از داده‌های روزانه سازمان آب منطقه‌ای برای این تحقیق استفاده گردید. داده‌های نهایی بر اساس مطابقت دقیق با روزهای ماه میلادی، با جمع داده‌های روزانه و تبدیل آن‌ها به داده‌های ماهانه میلادی به دست آمد (تبدیل هجری شمسی به میلادی).

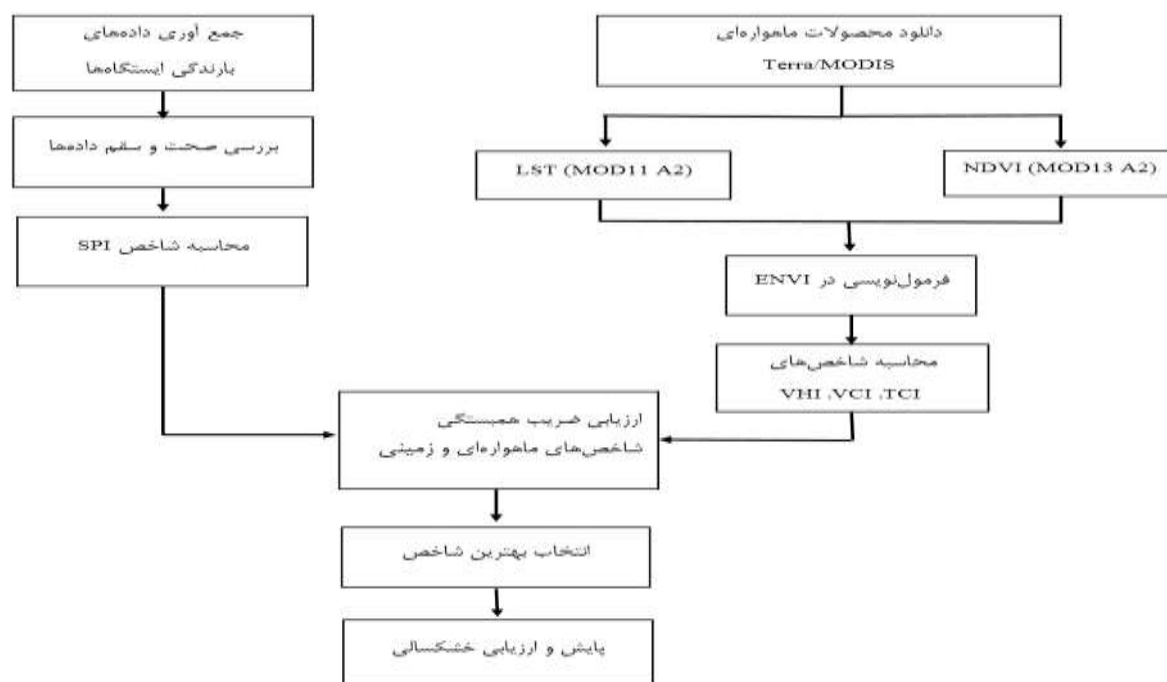
۲-۴- داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های دورسنجی مورد استفاده شامل داده‌های سنجنده MODIS از سری تصاویر ماهواره TERRA می‌باشد. بدین منظور از محصولات شانزده روزه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) در قالب فایل MOD13A2 و محصولات هشت روزه دمای سطح زمین (LST) در قالب فایل MOD11A2 با فرمت hdf و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده گردید، که به دلیل تطابق زمانی، محصولات هشت روزه نیز به شانزده روزه تبدیل شد. از این محصولات تعداد ۸۰ تصویر MOD13A2 و ۱۶۰ تصویر MOD11A2 از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ برای تمامی ماههای (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیرماه) تهیه گردید. این تصاویر پس از دریافت توسط اطلاعات موجود در شناسه تصویر و ابزار Modtool اضافه شده در نرم افزار ENVI فراخوانی و سیستم مختصات آن‌ها به سیستم مختصات جغرافیایی تبدیل گردید و سپس با فرمت tif ذخیره گردید. لازم به سادآوری است، از آنجا که تصاویر ماهواره‌ای

مودیس دارای سیستم سینوسوئیدال یا سینوسی^۱ هستند، سیستم مختصات آن‌ها به جغرافیایی تغییر داده شد تا همخوانی لازم با نقشه توپوگرافی وجود داشته باشد. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، محدوده ۴ استان از کل تصویر جدا و سپس اقدام به محاسبه شاخص‌ها شد.

۵-۲- روش تحقیق

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است. در این مطالعه با توجه به دقت زمانی، پوشش طیفی بالا، سهولت دسترسی، عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و زمین مرجع نمودن تصاویر از محصولات ماهواره مودیس سنجده ترا مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به دلیل اطمینان از وجود پدیده ترسالی و خشکسالی استفاده شد. اطلاعات سنجش‌ازدور مورد استفاده در این پژوهش، شامل محصولات آماده MOD13A2 و MOD11A2 است که به ترتیب مربوط به سری‌های زمانی شاخص NDVI و LST است که مستقیماً از تارنمای Earth Data Search دریافت شده و نیاز به تصحیح هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری ندارند. در مرحله بعد با بررسی داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) چهار ماه (فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر-مصادف با دوره رشد پوشش گیاهی و خشکسالی) به عنوان نمونه انتخاب شد. سپس به مقایسه شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، وضیت درجه حرارت (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) در این چهار ماه پرداخته شد تا تفاوت‌های این شاخص‌ها در طی چهار ماه مشخص شود. جهت پردازش داده‌های اکسلی از نرم‌افزار ARCGIS و روش‌های زمین‌آماري بهره گرفته شد. همچنین به منظور برآورد همبستگی بین داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. شکل ۲ مراحل روش تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مراحل جریان روش تحقیق

۲-۵-۱- معرفی مدل‌ها و شاخص‌های سنجش ازدوری خشکسالی

۲-۵-۱-۱- شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)

شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) کاربرد گسترده‌ای جهت تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش دارد. این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می‌دهد. ارزش عددی شاخص NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر می‌باشد. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و مکان‌های خیس و آب، ارقام نزدیک به ۱- را دارا هستند (هودل^۱، ۲۰۱۲). این شاخص از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$$

که در آن P_{RED} باند قرمز (باند ۱ مودیس) و P_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک (باند ۲ مودیس) است. چون در این پژوهش از داده MOD13A2 سنجده ترآ استفاده شده است، لذا این شاخص به صورت آماده در اختیار کاربران قرار

داده شده است، تنها باید شاخص NDVI را در Scale Factor آن ضرب نمود تا مقادیر NDVI بین منفی ۱ و مثبت ۱ نمایان گردد. مشخصات محصول پوشش گیاهی و دمای سطوح زمین در **جدول شماره ۱** قرار داده شده است.

جدول ۱- مشخصات محصول پوشش گیاهی و دمای سطوح زمین

SDS Name	Description	Units	Data Type	Fill Value	NoData Value	Valid Range	Scale Factor
1 km 16 days NDVI	1 km 16 days NDVI	NDVI	16-bit signed integer	-3000	N/A	-2000 to 10000	0.0001
LST_Day_1km	Daytime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02

۲-۱-۵-۲- شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

این نمایه توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد و بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید. شاخص VCI بر حسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار این نمایه بین ۵۰ تا ۱۰۰ باشد، نشان دهنده شرایط مطلوب خواهد بود و هرچه به صفر نزدیک‌تر شود، بیانگر وجود خشکسالی در منطقه می‌باشد.

$$VCI = \left[\frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right] \times 100$$

در این رابطه: $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقدار کمینه و بیشینه NDVI برای یک دوره زمانی در مدت زمان طولانی است. شاخص VCI از شاخص‌های مهم در تغییرات پوشش گیاهی محسوب می‌شود. در واقع می‌توان این نمایه را به نوعی شاخص مقیاس شده NDVI معرفی کرد. از این رو، پاسخ‌های این دو نمایه به تغییرات شرایط گیاه مشابه خواهد بود. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی در پی اشاره به افزایش خشکسالی دارد (تنکابایل و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۱-۵-۳- شاخص وضعیت دمایی (TCI)

شاخص وضعیت درجه حرارت، بر اساس باند حرارتی تبدیل شده به دمای درخشندگی ارائه شده است. این شاخص برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش از حد استفاده می‌شود. الگوریتم TCI مشابه به الگوریتم VCI است و بر اساس فرمول ذیل بدست می‌آید.

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT_i}{BT_{max} - BT_{min}} \times 100$$

در این رابطه، مقادیر BT دمای درخشایی (باند ۳۱) و i نشان دهنده سال جاری است. مقادیر بیشینه و کمینه BT از داده‌های ثبت شده درازمدت برای هر سال به دست می‌آید. هنگامی که مقدار TCI به ۱۰۰ درصد می‌رسد، BT برای این ماه برابر کمترین مقدار BT درازمدت برای پیکسل است. مقادیر کم TCI نزدیک به صفر درصد نشان دهنده هوای بسیار گرم در سال موردنظر است. هنگامی که TCI به صفر درصد می‌رسد، BT آن سال برابر بیشترین مقدار BT درازمدت برای پیکسل است. در مجموع برای مشاهدات آب و هواشناسی، ارتباط بین حرارت سطحی و رطوبت روی زمین، تأثیرات ناحیه‌ای خشکسالی را قبل از دست دادن توده‌های گیاهی کشف می‌کنند. از این رو، TCI می‌تواند نقش مهمی در پایش خشکسالی ایفا کند.

۲-۱-۵-۴ شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

شاخص TCI و VCI به ترتیب شرایط دمایی و رطوبتی پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. شاخص TCI مکملی مناسب برای VCI به منظور پایش خشکسالی است. هنگامی که این دو شاخص با یکدیگر استفاده شوند، ابزاری برای ارزیابی میزان محصول فراهم می‌شود. این شاخص نیز توسط کوگان در ۲۰۰۰ بیان شد. این شاخص بر اساس رابطه زیر از ترکیب شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دمایی (TCI) محاسبه می‌شود.

$$VHI = 0.5 \times VCI + 0.5 \times TCI$$

در شاخص VHI اگر دیگر شرایط، نزدیک نرمال باشند، پوشش گیاهی در طول شکل‌گیری تاج پوشش (ظهور برگ) به رطوبت و در دوره گل‌دهی به دما حساسیت بیشتری دارد. از آن جایی که سهم رطوبت و دما در طی چرخه گیاهی به طور عادی نامشخص است، سهم VCI و TCI در شاخص VHI برابر در نظر گرفته می‌شود (کوگان^۱، ۲۰۰۰).

۲-۱-۵-۵ شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص استاندارد بارش (SPI) یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی به‌شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (بوناکوروس^۲، ۲۰۰۳). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (تساکیریس^۳، ۲۰۰۴) و به

1 Kogan

2 Bonaccorso

3 Tsakiris et al

تحلیل‌گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی کند. از آنجا که این شاخص بی‌بعد است، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید کرد (اگنیو^۱، ۲۰۰۰). مکی و همکاران^۲ (۱۹۹۳) برای ارزیابی خشکسالی، شاخص SPI را ارائه دادند. این شاخص به علت سادگی، استفاده از داده‌های قابل دسترس و قابلیت محاسبه برای مقیاس زمانی دلخواه، مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و تحلیل مکانی آن است و امکان مطالعه وضعیت منابع آب در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را که در کشاورزی، مطالعات جریان‌های سطحی و آبخوان‌های زیرزمینی دارای اهمیت است، فراهم می‌کند (دبلیو و همکاران^۳، ۲۰۰۱). هدف کلیدی این پژوهش ارزیابی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین جهت تحلیل دوره خشکسالی و ترسالی در استان‌های قم، چهارمحال بختیاری، اصفهان و مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس سنجنده ترآ، داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه، شاخص‌های سنجش‌ازدوری همچون TCI، VCI، VHI و SPI به منظور آشکارسازی تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۰ ساله (مادیس) و ۱۰ ساله (بارش، جهت صحت سنجی) می‌باشد.

در نهایت با توجه به پژوهش‌های اشاره شده در این بخش که در زمینه تحقیق حاضر انجام گرفته می‌توان این گونه بیان نمود که تفاوت پژوهش حاضر در این مقوله می‌باشد که این پژوهش علاوه بر بررسی معیارهای مورد سنجش قرار گرفته شده در پژوهش‌های پیشین، جهت پردازش از داده‌های مادیس MOD11A2 و MOD13A2 بهره گرفته شد که یکی از پرکاربردترین Product هایی که در ارتباط با مادیس طراحی شده، پروداکت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین آن می‌باشد که به صورت ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که در پژوهش‌های پیشین بیشتر تأکید بر سنجنده‌های لندست و قابلیت‌های آن بوده است، همچنین در این پژوهش برای بررسی تغییرات از روشهای پایش سنجش‌ازدوری همچون TCI، VCI و VHI که با توجه به استانداردهایی که توسط ناسا ارائه شده بهره گرفته شد، همچنین در این پژوهش جهت مقایسه و اعتبار سنجی روش‌های مذکور از شاخص SPI و ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید که به خوبی می‌تواند برای کاربردهای مختلف سطح زمین، مورد استفاده قرار گیرد.

محاسبه SPI برای هر مکان، بر اساس ثبت بارش‌های طولانی مدت در دوره زمانی مورد نظر پایه‌گذاری شده است. این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$SPI = (P_i - \bar{P})/S$$

1 Agnew

2 Mckee

3 Wu et al

که در آن P_i : مقدار بارش در دوره مورد نظر؛ $\bar{P}$: میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S : انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. در **جدول شماره ۲**، رتبه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های VCI ، VHI و SPI نشان داده شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های هواشناسی و سنجش‌ازدوری

SPI	VHI	TCI	VCI	شدت خشکسالی
< -2	< 10	< 10	< 10	خشکسالی حاد
-2 تا $1/5$	10 - $19/5$	10 - $19/5$	10 - $19/5$	خشکسالی شدید
$-1/5$ تا -1	20 - $29/5$	20 - $29/5$	20 - $29/5$	خشکسالی متوسط
-1 تا 1	30 - $39/9$	30 - $39/9$	30 - $39/9$	نرمال
$1/5$ تا 2	40 - $49/5$	40 - $49/5$	40 - $49/5$	ترسالی متوسط
$1/5$ تا 2	50 - $59/5$	50 - $59/5$	50 - $59/5$	ترسالی شدید
> 2	> 60	> 60	> 60	ترسالی حاد

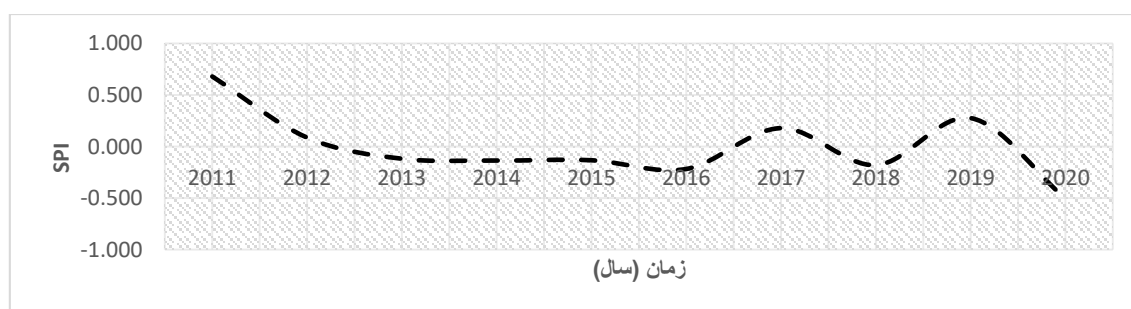
۳- نتایج و بحث

۳-۱- پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های هواشناسی

برای بررسی خشکسالی‌های رخ داده در استان‌های مورد مطالعه از آمار و اطلاعات هواشناسی این استان‌ها استفاده شد. به دلیل تعداد زیاد نمودارهای مربوط به هر ایستگاه، تنها نتایج مربوط به کل منطقه آورده شده است. روند تغییرات نمایه SPI برای کل منطقه مورد مطالعه در **شکل ۳**، نشان داده شده است. در ادامه، وضعیت خشکسالی در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمایه SPI سالانه برای دوره آماری ده ساله (۲۰۱۱-۲۰۲۰) بررسی شد. با بررسی تغییرات نمایه‌های خشکسالی در تمامی ایستگاه‌ها طی دوره آماری ده ساله، مشخص شد که در اکثر ایستگاه‌های استان‌های مورد مطالعه، سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ خشکسالی‌های شدیدی رخ داده است. در پژوهشی که عزیزی و سفرراد در سال ۱۳۹۱ انجام دادند، با استفاده از نمایه اقیانوسی نینو، سال‌های النینو و لانینا را در دوره آماری ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ براساس شدت طبقه‌بندی کردند که بر اساس این طبقه‌بندی سال ۱۹۹۷ به‌عنوان سال النینو و سال ۲۰۲۰ به‌عنوان سال لانینا معرفی شدند. همچنین در پژوهش خورشید دوست و همکاران (۱۳۸۶) نیز سال ۲۰۱۶ که خشکسالی‌های فراگیر در جهان وجود داشته با فاز سرد پدیده انسو مطابقت داشته است؛ بنابراین علت رخداد

خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ در منطقه را می‌توان به علت وقوع پدیده لانینا در سطح کره زمین در این سال‌ها دانست.

سپس مقادیر این داده‌ها در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۲۰ تفکیک و آزمون مقایسه میانگین برای این دوره انجام شد. نتایج در **جدول ۳** ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، تفاوتی بین میانگین و واریانس دوره مورد مطالعه وجود نداشته و نمایه‌های خشکسالی از روند خاصی پیروی نمی‌کنند؛ بنابراین تغییرات در این نمایه‌ها و وقوع سال‌های ترسالی و خشکسالی را می‌توان مربوط به نوسانات اقلیمی دانست.



شکل ۳- نمودار روند تغییرات نمایه SPI سالانه

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین و تحلیل واریانس نمایه SPI سری زمانی (۲۰۱۱-۲۰۲۰)

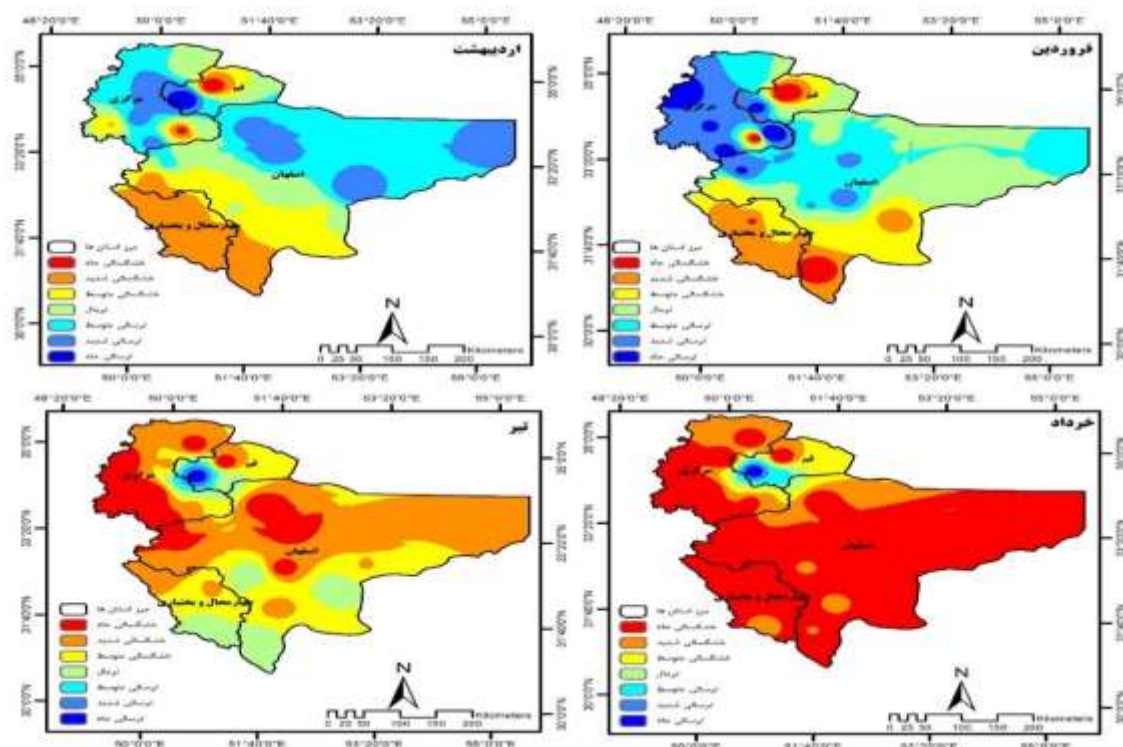
مقایسه میانگین		تحلیل واریانس		کل منطقه مورد مطالعه
آماره t	P-Value	آماره t	P-Value	
۰/۳۸۵	۰/۷۱۲	۰/۵۹	۰/۱۸۵	

یکی از پدیده‌های مخربی که هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا قابل مشاهده است، خشکسالی است. پایش این پدیده که خود ناشی از روش‌های مخرب بشری و همچنین ناهنجاری‌های اقلیمی است، یاری‌رسان خوبی برای ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی بر روی سطح زمین است. شناسایی این پدیده و همچنین تعیین شدت و ضعف آن در مناطق مختلف از جمله اقداماتی است که به جرأت می‌توان گفت تنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های مختلف سنجش از دور میسر می‌شود. با توجه به مباحث ذکر شده در ادامه نتایج حاصل از شاخص‌های VCI، TCI، VHI و SPI در قالب نقشه‌ها و جداول ارائه می‌گردد.

۳-۲- پهنه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI به صورت ماهانه

خشکسالی مخرب‌ترین پدیده اقلیمی است که در تمام نواحی اقلیمی اعم از مناطق خشک و نیمه‌خشک و مناطق نیمه مرطوب پدید می‌آید. استان‌های اصفهان، قم، چهارمحال و بختیاری و مرکزی به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشکی که دارند، هر ساله تحت تأثیر این پدیده طبیعی و پیچیده قرار می‌گیرد. بر این اساس شدت بارندگی منطقه مورد مطالعه در سال‌های مطالعاتی (۲۰۱۱-۲۰۲۰) و ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر مورد ارزیابی واقع شد. بررسی‌های به عمل آمده در خشکسالی‌های رخ داده در ۲۹ ایستگاه هواشناسی در طول دوره آماری مورد مطالعه بیانگر موارد زیر است:

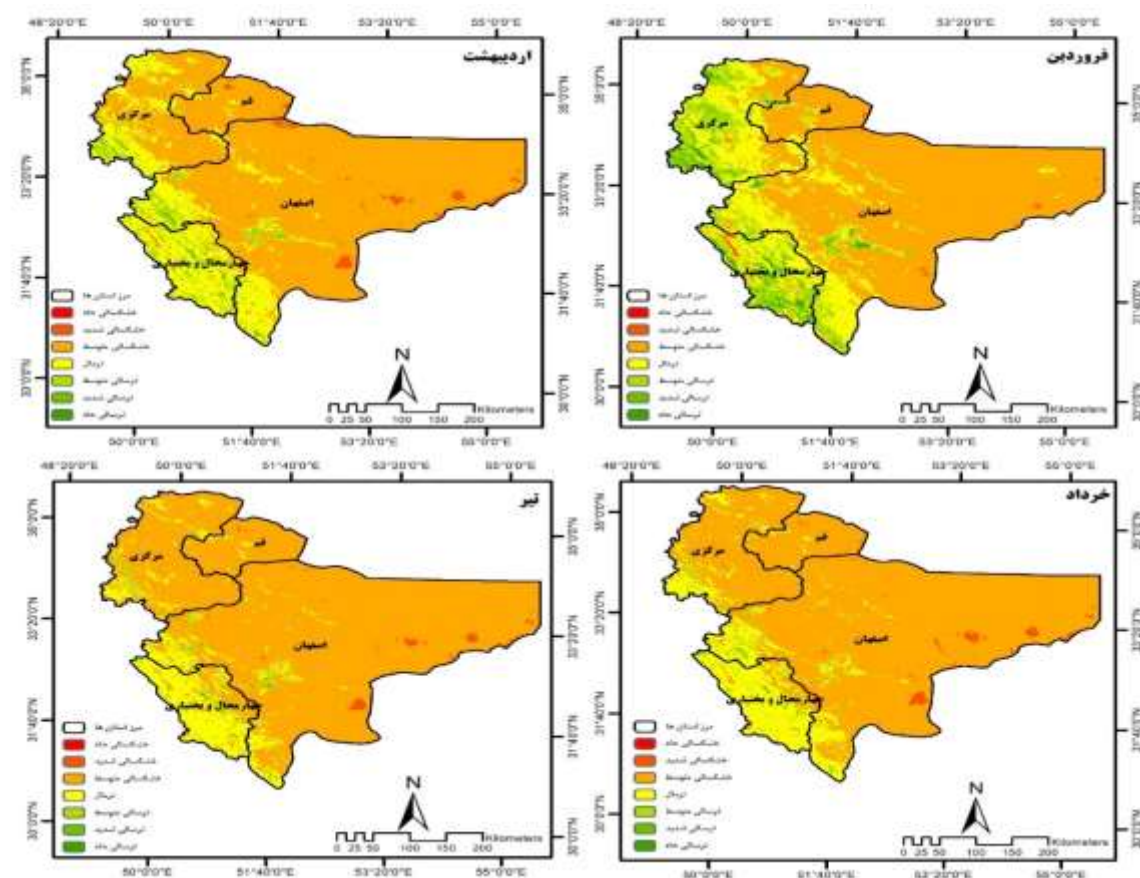
نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در خرداد ماه می‌باشد. به طوری که میانگین شاخص SPI در این ماه، $-2/507$ است. بر این اساس بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب شرقی استان قم و بخش‌های شمال شرقی استان مرکزی از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۴). همچنین بر پایه این شاخص، ماه فروردین به عنوان مرطوب‌ترین ماه منطقه محسوب می‌شود. در نواحی جنوبی استان‌های اصفهان و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین مناطق شمالی استان قم به شدت خشکسالی‌ها در این ماه افزوده شده است. در این ماه میانگین شاخص SPI، $2/68$ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۴، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، شرقی و شمال غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان اصفهان از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند.



شکل ۴- نقشه پهنه بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI

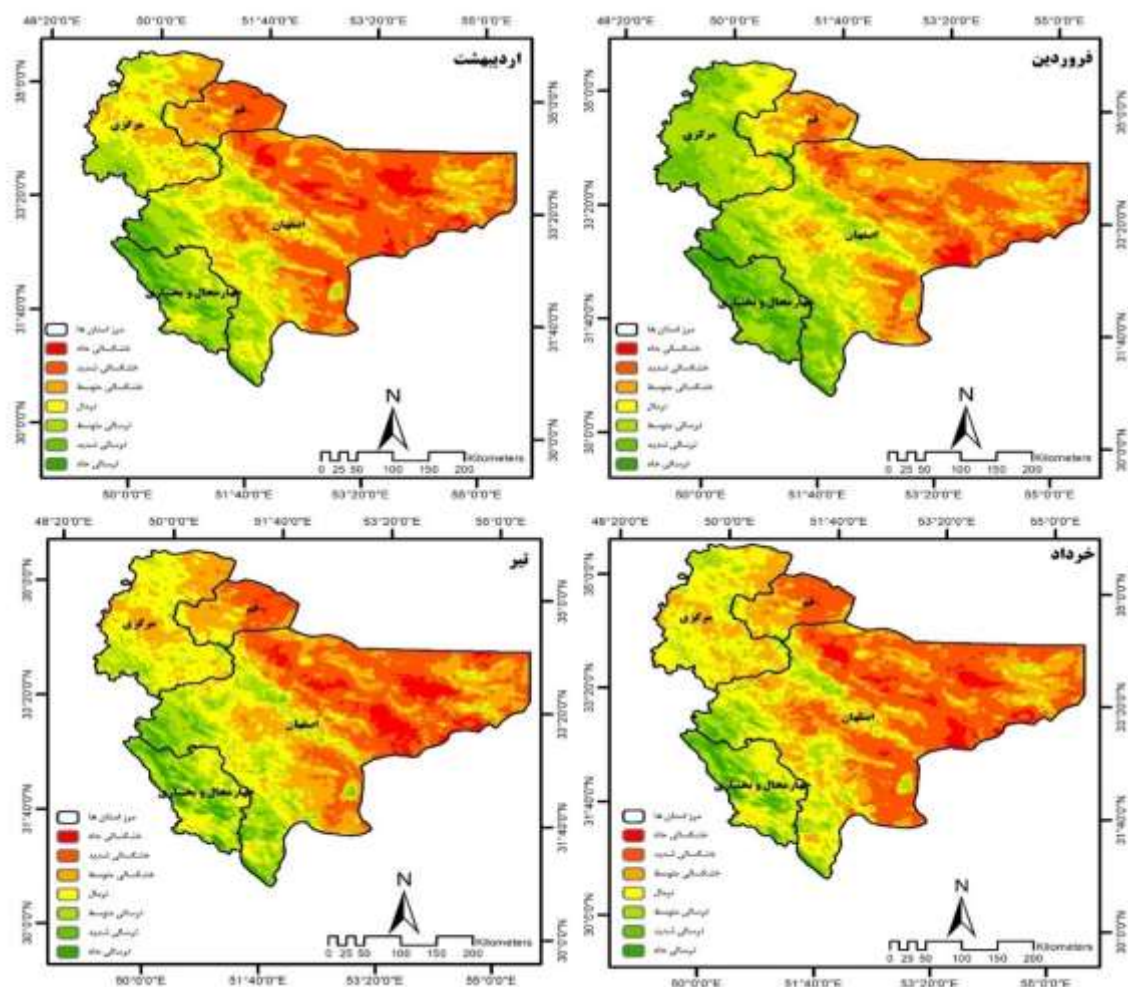
۳-۳- نتایج حاصل از شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری VCI، TCI و VHI (ماهانه)

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VCI (شکل ۵)، بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در تیر ماه می‌باشد. به‌طوری که میانگین شاخص مذکور در این ماه، ۲۶/۹۴ است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب غربی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۵). همچنین بر پایه این شاخص، ماه فروردین به‌عنوان مرطوب‌ترین ماه منطقه محسوب می‌شود. در این ماه میانگین شاخص VCI، ۲۸/۳۱ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۵، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، غرب و جنوب غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VCI

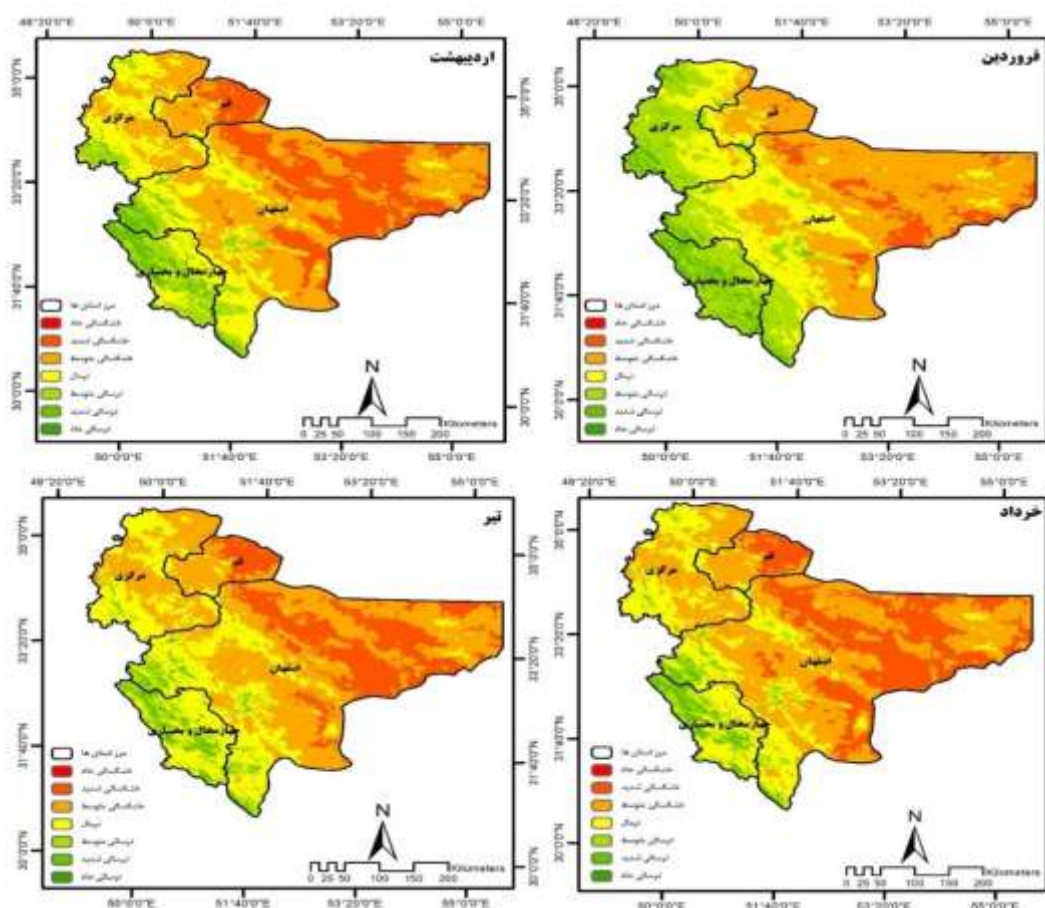
نتایج ارائه شده توسط شاخص TCI (شکل ۶)، ماه تیر بیانگر رخداد خشکسالی شدید در استان‌های مورد مطالعه می‌باشد. به‌طوری که میانگین شاخص مذکور در این ماه، ۳۵/۳۱ است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان و قم با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی غربی و جنوب غرب استان اصفهان، قسمت‌های جنوبی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۶). همچنین بر پایه این شاخص، ماه خرداد به‌عنوان مرطوب‌ترین ماه منطقه محسوب می‌شود. در این ماه میانگین شاخص TCI، ۴۲/۶۳ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۶، بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری، نواحی غربی استان اصفهان و شمالی استان مرکزی از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص TCI

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VHI (شکل ۷)، بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در تیر ماه می‌باشد. به‌طوری که میانگین این شاخص در این ماه، ۳۱/۱۲ است. بر این اساس بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان و قم با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در قسمت‌های غربی استان اصفهان، جنوب غربی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۷). همچنین بر پایه شاخص مذکور، ماه خرداد به‌عنوان مرطوب‌ترین ماه استان‌های مورد مطالعه محسوب می‌شود. در این میانگین شاخص VHI، ۳۴/۷۶ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۷، بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری، نواحی غربی و جنوب غرب استان اصفهان و جنوب استان مرکزی از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در

نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم و همچنین بخش‌های مرکزی استان مرکزی به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.

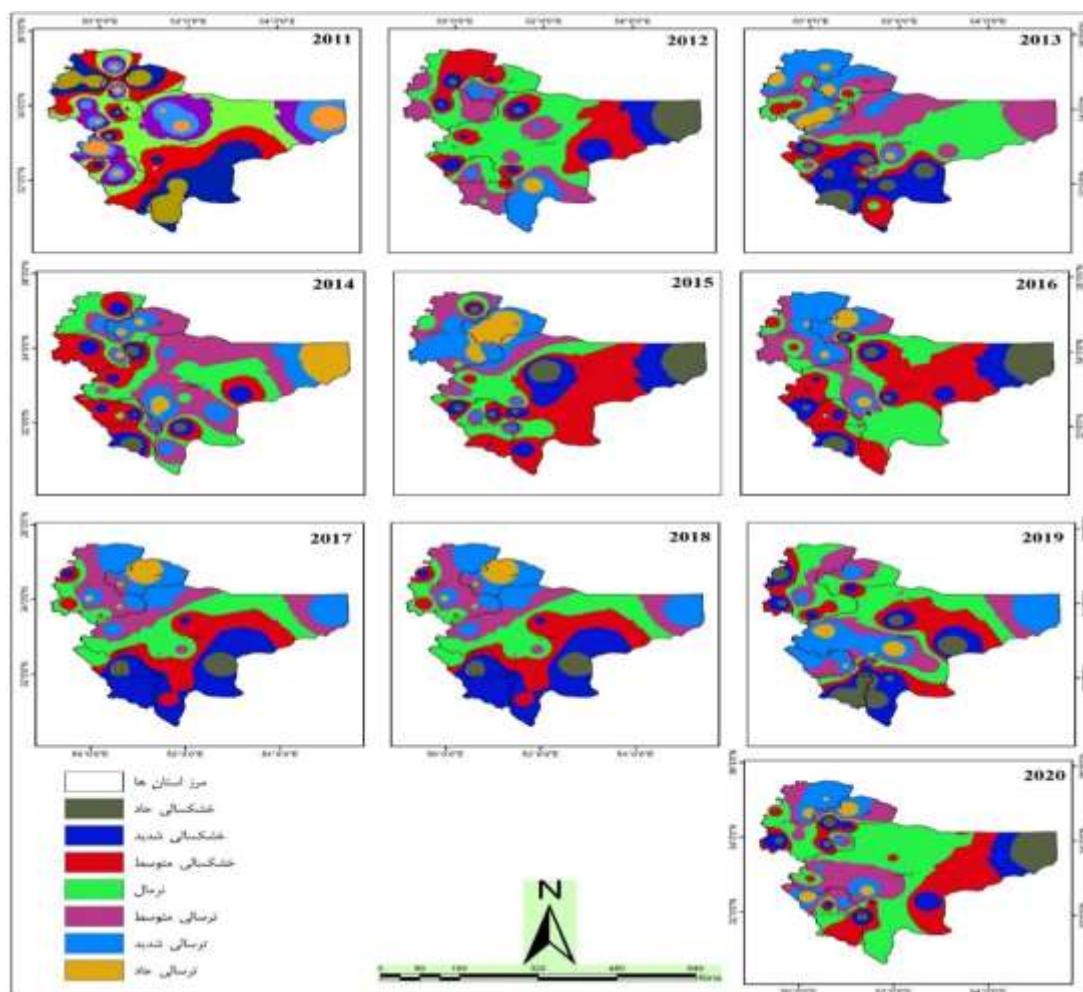


شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VHI

۴-۳- پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از داده‌های زمینی به صورت سالانه (SPI سالانه)

نتایج ارائه شده توسط شاخص SPI بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در سال ۲۰۲۰ می‌باشد. به‌طوری‌که میانگین شاخص SPI در این سال، ۳/۲۳- است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب شرقی استان قم و بخش‌های شمال شرقی استان مرکزی از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۸). همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۱ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال

میانگین شاخص SPI، ۳،۱۱ می‌باشد. بر اساس **شکل شماره ۸**، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، شرقی و شمال‌غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان اصفهان از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی جنوبی استان‌های اصفهان و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری و همچنین مناطق شمالی استان قم به شدت خشکسالی‌ها در این سال افزوده شده است.

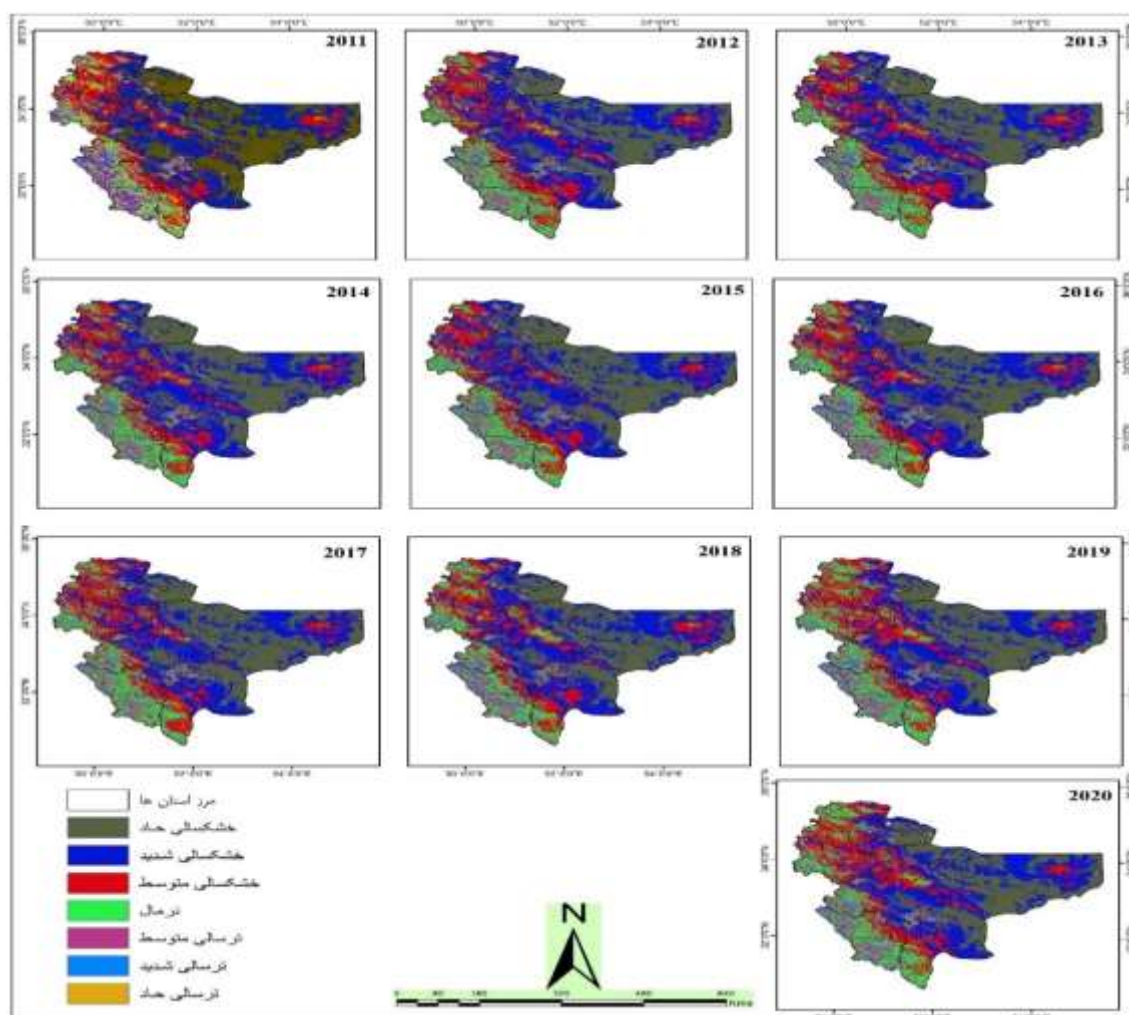


شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

۳-۵- نتایج حاصل از شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری VCI، TCI و VHI (سالانه)

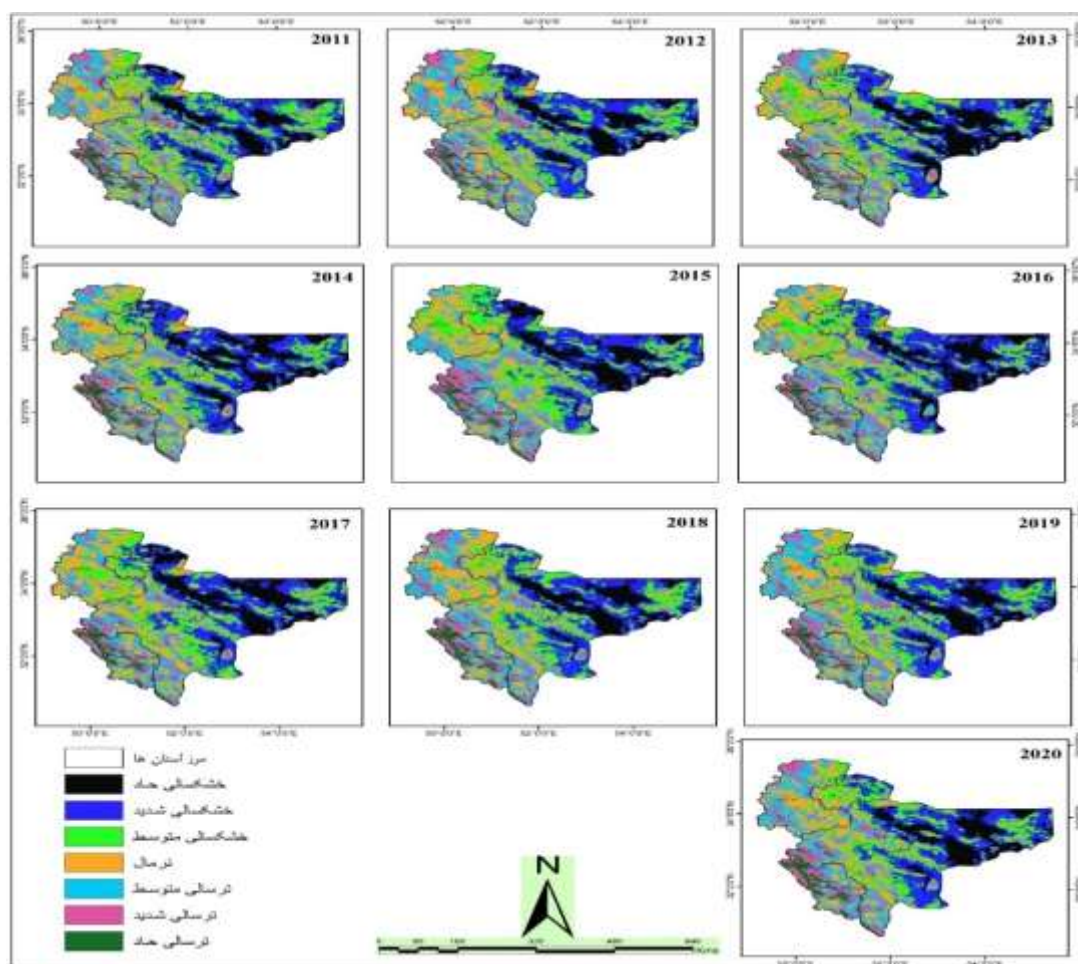
با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VCI (**شکل ۹**)، بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در سال ۲۰۲۰ می‌باشد. به‌طوری که میانگین شاخص مذکور در این سال، ۱۷/۶۸ است.

بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب غربی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۹). همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۱ به عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال میانگین شاخص VCI، ۳۸/۳۴ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۹، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، غرب و جنوب غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.



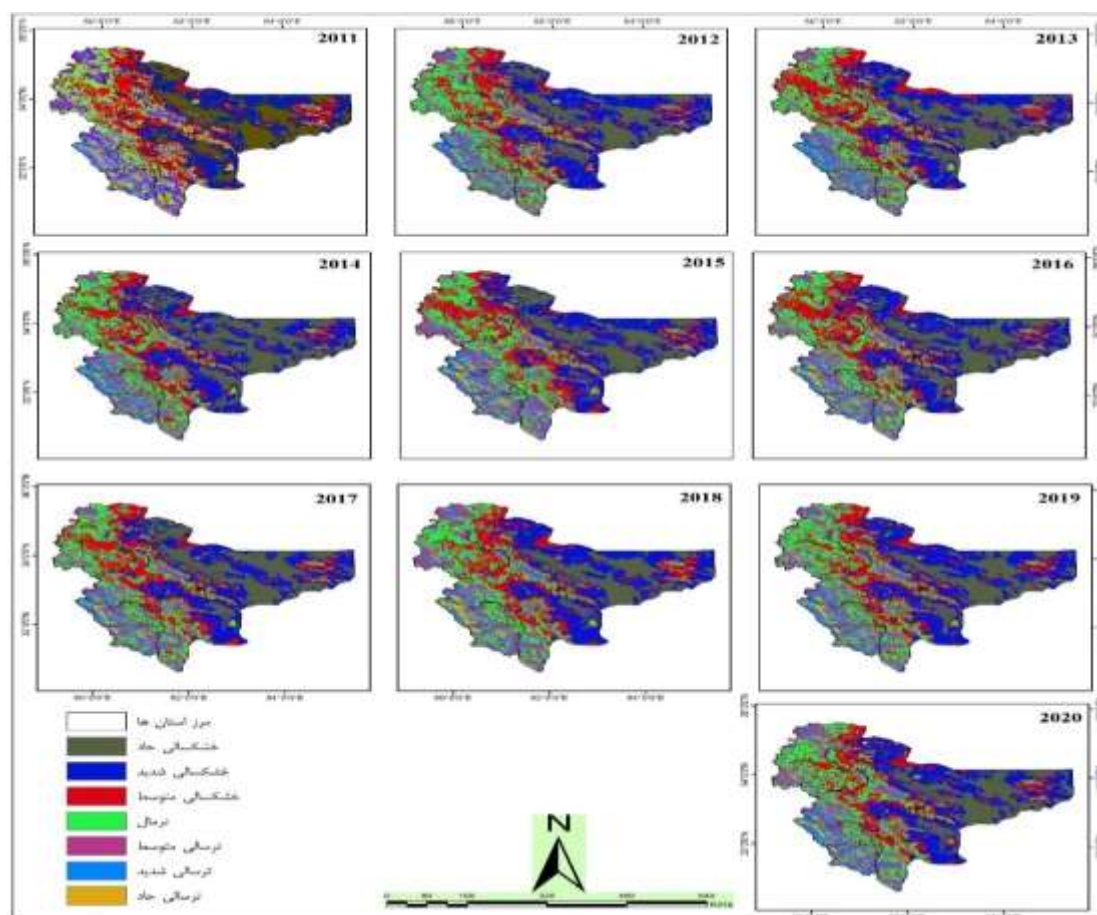
شکل ۹- نقشه پهنه بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VCI از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص TCI (شکل ۱۰)، بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در سال ۲۰۱۳ می‌باشد. به‌طوری که میانگین شاخص مذکور در این سال، ۳۵/۸۲ است. بر این اساس، بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب‌غربی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۱۰). همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۶ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال میانگین شاخص TCI، ۵۷/۲۲ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۱۰، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، غرب و جنوب‌غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.



شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص TCI از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

با توجه به نتایج به دست آمده از تصاویر طبقه‌بندی شده توسط شاخص VHI (شکل ۱۱)، بیانگر رخداد خشکسالی شدید در منطقه در سال ۲۰۲۰ می‌باشد. به‌طوری که میانگین شاخص مذکور در این سال، ۲۶/۹۱ است. بر این اساس بخش‌های وسیعی از استان‌های اصفهان، قم و مرکزی با شدت‌های بالاتری از خشکسالی در این دوره برخوردار بوده‌اند، سپس در نواحی جنوب غربی استان مرکزی و بخش‌های وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت خشکسالی آن‌ها نسبت به سایر مناطق کاسته می‌شود (شکل ۱۱). همچنین بر پایه این شاخص، سال ۲۰۱۶ به‌عنوان مرطوب‌ترین سال منطقه محسوب می‌شود. در این سال میانگین شاخص VHI، ۳۸/۰۴ می‌باشد. بر اساس شکل شماره ۱۱، بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی، غرب و جنوب غربی استان مرکزی و بخش وسیعی از استان چهارمحال و بختیاری از شدت‌های ترسالی بالاتری برخوردار هستند. سپس در نواحی وسیعی از استان‌های اصفهان و قم به شدت خشکسالی‌ها در این دوره افزوده شده است.



شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی خشکسالی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص VHI از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

۶-۳- نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های خشکسالی سنجش‌ازدوری

در ادامه برای اطمینان از نتایج حاصل از شاخص‌های ماهواره‌ای، ضرایب همبستگی پیرسون بین نمایه‌های VCI، TCI و VHI و نمایه هواشناسی SPI در حالت میانگین دوره‌ای و همچنین همبستگی میان شاخص‌های ماهواره‌ای، برای ایستگاه‌های مورد نظر محاسبه شد. در **جدول شماره ۴**، ضرایب همبستگی پیرسون میان شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی آورده شده است.

با توجه به مقادیر **جدول شماره ۴**، ضریب همبستگی در ماه فروردین بین شاخص SPI و TCI برابر با $0/13$ که دارای همبستگی مثبت معنادار کم، بین شاخص‌های SPI، VCI و VHI، به ترتیب برابر با $0/77$ و $0/61$ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد بوده است؛ بنابراین شاخص VHI و VCI همبستگی بیشتری را با بارش فروردین ماه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است. ضریب همبستگی در ماه اردیبهشت بین شاخص SPI و TCI برابر با $0/22$ که دارای همبستگی مثبت معنادار کم، بین شاخص‌های SPI و VCI برابر با $0/53$ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد بوده است. همچنین SPI و VHI برابر با $0/43$ که نشان دهنده همبستگی مثبت معنادار زیاد می‌باشد؛ بنابراین شاخص VCI همبستگی بیشتری را با بارش اردیبهشت ماه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص VHI و TCI داشته است. ضریب همبستگی در ماه خرداد بین شاخص SPI و TCI برابر با $0/37$ که دارای همبستگی مثبت معنادار کم، شاخص‌های SPI و VHI برابر با $0/56$ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد بوده است و بین شاخص‌های SPI و VCI برابر با $0/70$ که نشان دهنده همبستگی مثبت معنادار زیاد می‌باشد؛ بنابراین شاخص VCI همبستگی بیشتری را با بارش خرداد ماه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص VHI و TCI داشته است. همچنین با توجه به مقادیر این جدول، ضریب همبستگی در ماه تیر بین شاخص SPI و TCI برابر با $0/32$ که دارای همبستگی مثبت معنادار کم، SPI و VHI برابر با $0/57$ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد بوده است و بین شاخص‌های SPI و VCI برابر با $0/65$ که نشان دهنده همبستگی مثبت معنادار زیاد می‌باشد؛ بنابراین شاخص VCI برای استان‌های مورد مطالعه همبستگی بیشتری را با بارش تیر ماه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI و VHI داشته است؛ بنابراین در مجموع، شاخص VCI همبستگی بیشتری با شاخص SPI هر چهار ماه داشته است.

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص SPI ماهانه و شاخص های ماهواره ای

ماه	شاخص	VCI	TCI	VHI
فروردین	SPI	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۶۱
اردیبهشت	SPI	۰/۵۳	۰/۲۲	۰/۴۳
خرداد	SPI	۰/۷۰	۰/۳۷	۰/۵۶
تیر	SPI	۰/۶۵	۰/۳۲	۰/۵۷

با توجه به مقادیر جدول شماره ۵، ضریب همبستگی سالانه بین شاخص SPI و TCI برابر با ۰/۲۴ که دارای همبستگی مثبت معنادار کم، بین شاخص های SPI، VCI و SPI، VHI به ترتیب برابر با ۰/۶۷ و ۰/۵۵ که دارای همبستگی مثبت معنادار نسبتاً زیاد بوده است؛ بنابراین شاخص VHI و VCI همبستگی بیشتری را با بارش سالانه منطقه مورد مطالعه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است.

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص SPI سالانه و شاخص های ماهواره ای

ماه	شاخص	VCI	TCI	VHI
سالانه	SPI	۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۵۵

۳-۷- تحلیل مکانی شاخص های خشکسالی به صورت سالانه

با توجه نتایج به دست آمده از جدول شماره ۶، بر اساس شاخص هواشناسی SPI، بیشترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۵ بوده است. به طوری که مساحت این طبقه به میزان ۸/۱۱ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید در مجموع ۳۹/۸۲ درصد از مساحت کل استان ها را در سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ اشغال کرده است. سال ۲۰۱۵ نیز کلاس ۳ به عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۳۰/۹۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در سال ۲۰۲۰ طبقه نرمال به مقدار ۳۴/۷۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. با توجه به جدول شماره ۶ که میزان درصد مساحت شاخص هواشناسی SPI را در سال های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نشان می دهد، می توان مشاهده کرد که بیشترین درصد به میزان ۷/۷۹ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره آماری برای سال ۲۰۱۴ به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به سال ۲۰۱۹ می باشد که این سال به مقدار ۱۸/۰۸ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۴ نیز کلاس ۵ که به عنوان کلاس ترسالی متوسط می باشد، به میزان ۲۹/۱۴ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه نتایج به دست آمده از **جدول شماره (۶)**، بر اساس شاخص ماهواره‌ای VCI بیش‌ترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۵ بوده است. به‌طوری که مساحت این طبقه به میزان ۳۱/۶۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۳۲/۸۹ درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال ۲۰۱۱ اشغال کرده است. سال ۲۰۲۰ نیز طبقه ۳ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۲۱/۵۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در سال ۲۰۱۹ طبقه نرمال به مقدار ۱۳/۶۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. با توجه به **جدول شماره (۶)** که میزان درصد مساحت شاخص ماهواره‌ای VCI را در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که بیشترین درصد به میزان ۰/۸ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره آماری برای سال ۲۰۲۰ به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به سال ۲۰۱۹ می‌باشد که این سال به مقدار ۲/۸۲ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۹ نیز کلاس ۵ که به‌عنوان کلاس ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۷/۳۵ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه نتایج به دست آمده از **جدول شماره ۶**، بر اساس شاخص ماهواره‌ای TCI بیش‌ترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۷ بوده است. به‌طوری که مساحت این طبقه به میزان ۱۴/۱۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۲۲/۸۱ درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال ۲۰۱۴ اشغال کرده است. سال ۲۰۱۵ نیز طبقه ۳ به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۱۸/۷۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در سال ۲۰۱۸ طبقه نرمال به مقدار ۲۱/۶۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. با توجه به **جدول شماره ۶** که میزان درصد مساحت شاخص ماهواره‌ای TCI را در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که بیشترین درصد به میزان ۳/۳۸ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره آماری برای سال ۲۰۲۰ به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به سال ۲۰۲۰ می‌باشد که این سال به مقدار ۱۰/۷۵ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۹ نیز کلاس ۵ که به‌عنوان کلاس ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۱۹/۲۰ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه نتایج به دست آمده از **جدول شماره ۶**، بر اساس شاخص ماهواره‌ای VHI، بیش‌ترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۴ بوده است. به‌طوری که مساحت این طبقه به میزان ۲۱/۲۵ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه ۲ به‌عنوان مناطق دارای

خشکسالی شدید به مقدار ۲۴/۹۱ درصد از مساحت کل استان‌ها را در سال ۲۰۱۱ اشغال کرده است. سال ۲۰۱۳ نیز طبقه ۳ به عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۲۲/۲۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در سال ۲۰۱۲ طبقه نرمال به مقدار ۱۹/۳۵ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. با توجه به **جدول شماره ۶** که میزان درصد مساحت شاخص ماهواره‌ای VHI را در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که بیشترین درصد به میزان ۳/۴۳ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره آماری برای سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور، بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به سال ۲۰۱۵ می‌باشد که این سال به مقدار ۷/۴۴ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در سال ۲۰۲۰ نیز کلاس ۵ که به عنوان کلاس ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۱۳/۷۸ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

جدول ۶- درصد مساحت طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (سالانه)

شاخص	شدت	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰
SPI	خشکسالی حاد	۷/۷۸	۶/۳۹	۵/۰۴	۱/۷۰	۸/۱۱	۸/۰۳	۳/۴۳	۳/۴۳	۷/۸۰	۶/۷۰
	خشکسالی شدید	۱۷/۸۴	۱۰/۲۱	۱۴/۵۱	۶/۳۳	۱۲/۴۶	۱۰/۸۶	۱۹/۹۱	۱۹/۹۱	۱۱/۳۲	۸/۲۱
	خشکسالی متوسط	۲۰/۸۷	۲۳/۴۶	۱۰/۴۴	۱۸/۶۳	۳۰/۹۷	۳۰/۷۷	۱۷/۹۲	۱۷/۹۲	۱۸/۰۶	۲۲/۱۴
	نرمال	۲۳/۷۹	۳۳/۶۲	۲۶/۰۳	۲۴/۴۲	۱۶/۵۹	۲۳/۷۴	۲۱/۸۷	۲۱/۸۷	۲۵/۸۴	۳۴/۷۷
	ترسالی متوسط	۱۴/۸۳	۱۸/۱۸	۲۶/۰۵	۲۹/۱۴	۱۲/۸۰	۱۲/۱۸	۱۷/۳۵	۱۷/۳۵	۱۶/۷۷	۱۶/۵۶
	ترسالی شدید	۱۰/۰۵	۷/۱۹	۱۴/۱۲	۱۱/۹۹	۱۳/۰۷	۱۲/۲۳	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰	۱۸/۰۸	۹/۲۹
	ترسالی حاد	۴/۸۴	۰/۹۴	۳/۸۱	۷/۷۹	۶/۰۰	۲/۱۹	۲/۹۱	۲/۹۱	۲/۱۲	۲/۳۳
VCI	خشکسالی حاد	۲۶/۱۰	۲۴/۹۷	۲۸/۲۳	۲۸/۰۳	۳۱/۶۳	۲۹/۲۴	۲۹/۴۰	۲۶/۲۰	۲۶/۵۴	۲۴/۷۶
	خشکسالی شدید	۳۲/۸۹	۳۲/۸۴	۳۰/۲۸	۳۱/۲۲	۳۱/۳۷	۳۰/۱۵	۲۹/۹۲	۳۱/۸۹	۲۷/۴۹	۲۹/۲۰
	خشکسالی متوسط	۱۸/۹۵	۲۱/۳۱	۲۰/۱۸	۲۰/۱۳	۱۷/۴۶	۱۸/۶۲	۱۹/۸۳	۱۹/۵۲	۲۰/۸۳	۲۱/۵۷
	نرمال	۱۲/۱۲	۱۱/۶۹	۱۱/۷۱	۱۱/۴۰	۱۰/۶۴	۱۱/۷۴	۱۱/۸۱	۱۱/۸۷	۱۳/۶۳	۱۳/۴۷
	ترسالی متوسط	۶/۸۳	۶/۱۵	۶/۴۱	۶/۱۰	۵/۹۶	۶/۸۵	۶/۱۳	۷/۱۰	۷/۳۵	۷/۱۲
	ترسالی شدید	۲۰/۲۰	۲/۱۱	۲/۲۶	۲/۱۸	۲/۰۹	۲/۴۷	۲/۰۳	۲/۵۰	۲/۸۲	۲/۶۹
	ترسالی حاد	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۸۰
TCI	خشکسالی حاد	۱۰/۴۰	۱۱/۰۴	۱۳/۳۴	۱۳/۲۶	۱۲/۴۸	۱۲/۹۱	۱۴/۱۳	۱۰/۸۲	۱۱/۲۱	۱۱/۴۲
	خشکسالی شدید	۱۹/۴۵	۲۱/۱۲	۱۹/۶۶	۲۲/۸۱	۲۰/۲۰	۲۱/۹۸	۱۹/۵۹	۲۰/۱۰	۲۰/۴۸	۱۹/۷۱
	خشکسالی متوسط	۱۸/۱۷	۱۵/۱۳	۱۶/۹۲	۱۴/۳۱	۱۸/۷۲	۱۶/۷۶	۱۸/۱۴	۱۵/۸۵	۱۶/۰۰	۱۵/۷۱
	نرمال	۲۰/۷۱	۲۱/۰۱	۲۱/۰۱	۲۰/۸۶	۱۸/۸۵	۲۰/۳۴	۲۱/۱۶	۲۱/۶۶	۲۰/۶۳	۲۰/۲۲
	ترسالی متوسط	۱۷/۲۴	۱۸/۳۷	۱۶/۲۰	۱۶/۷۴	۱۶/۸۸	۱۶/۰۹	۱۵/۲۶	۱۸/۴۰	۱۹/۲۰	۱۸/۴۱
	ترسالی شدید	۱۰/۳۱	۱۰/۲۳	۹/۵۴	۸/۶۷	۹/۶۰	۸/۸۲	۸/۵۳	۱۰/۱۶	۹/۵۵	۱۰/۷۵

شاخص	شدت	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰
VHI	ترسالی حاد	۳/۳۰	۲/۶۹	۲/۹۲	۲/۹۵	۲/۸۶	۲/۷۱	۲/۷۹	۳/۱۶	۲/۵۳	۳/۳۸
	خشکسالی حاد	۱۶/۰۰	۱۶/۸۴	۱۶/۰۱	۲۱/۲۵	۱۶/۳۳	۱۷/۵۲	۱۹/۲۴	۱۳/۹۶	۱۵/۷۰	۱۶/۵۴
	خشکسالی شدید	۲۴/۹۱	۲۴/۶۳	۲۴/۳۲	۲۲/۹۶	۲۲/۵۳	۲۴/۲۶	۲۲/۴۴	۲۴/۹۳	۲۴/۷۸	۲۲/۸۸
	خشکسالی متوسط	۱۹/۷۳	۱۹/۲۸	۲۲/۲۶	۱۸/۵۹	۱۹/۲۸	۲۰/۰۶	۱۹/۶۶	۱۹/۰۵	۱۸/۳۳	۱۷/۶۴
	نرمال	۱۸/۳۴	۱۹/۳۵	۱۸/۷۴	۱۸/۳۶	۱۷/۶۷	۱۷/۲۹	۱۸/۰۹	۱۸/۶۲	۱۸/۸۲	۱۸/۷۵
	ترسالی متوسط	۱۲/۰۷	۱۱/۷۵	۱۰/۸۶	۱۰/۸۹	۱۲/۸۶	۱۱/۴۸	۱۱/۷۱	۱۳/۰۰	۱۲/۶۸	۱۳/۷۸
	ترسالی شدید	۶/۱۵	۵/۸۰	۵/۸۰	۵/۶۶	۷/۴۴	۶/۰۱	۵/۸۴	۶/۵۲	۶/۵۹	۷/۱۲
	ترسالی حاد	۲/۳۱	۱/۸۷	۱/۵۳	۱/۹۰	۳/۳۹	۲/۹۰	۲/۵۲	۳/۴۳	۲/۵۹	۲/۷۷

۳-۸- تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی به صورت ماهانه

با توجه نتایج به دست آمده از **جدول شماره ۷**، بر اساس شاخص هواشناسی SPI، بیش‌ترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره چهار ماهه در ماه اردیبهشت بوده است. به‌طوری که مساحت این طبقه به میزان ۱۳/۰۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه دو به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۳۶/۷ کیلومتر مربع از مساحت کل استان‌ها را در ماه خرداد اشغال کرده است. ماه خرداد نیز در طبقه سه به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۳۶/۶۸ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در ماه تیر، طبقه نرمال به مقدار ۴۳/۸۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. با توجه به **جدول شماره ۷**، که میزان مساحت شاخص‌های مورد مطالعه را در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر را نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که طبق شاخص SPI بیشترین مساحت به میزان ۲/۶۵ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره چهار ماهه برای ماه فروردین به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور، بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد که این ماه به مقدار ۱۳/۰۸ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در ماه اردیبهشت نیز طبقه پنج که به‌عنوان طبقه ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۳۲/۷۸ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه به **جدول شماره ۷**، بر اساس شاخص سنجش‌ازدوری VCI بیش‌ترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره چهار ماهه در ماه فروردین بوده است. به‌طوری که مساحت این طبقه به میزان ۳۴/۳۱ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه دو به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۳۲/۳۵ درصد از مساحت کل استان‌ها را در ماه تیر اشغال کرده است. ماه تیر نیز در طبقه سه به‌عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۱۹/۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در ماه فروردین طبقه نرمال به مقدار ۱۰/۸۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. طبق

شاخص VCI بیشترین مساحت به میزان ۱/۵۹ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره چهار ماهه برای ماه فروردین به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد که این ماه به مقدار ۴/۷۷ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در ماه اردیبهشت نیز طبق پنج که به عنوان طبقه ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۸/۶۷ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه به **جدول شماره ۷**، طبق شاخص سنجش ازدوری TCI بیشترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره چهار ماهه در ماه اردیبهشت بوده است. به طوری که مساحت این طبقه به میزان ۱۷/۰۴ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه دو به عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۲۲/۱۶ درصد از مساحت کل استان‌ها را در ماه فروردین اشغال کرده است. ماه تیر نیز در طبقه سه به عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۱۸/۷۸ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در ماه خرداد طبقه نرمال به مقدار ۲۰/۰۱ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. بر اساس شاخص TCI، بیشترین مساحت به میزان ۲/۸۷ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره چهار ماهه برای ماه تیر به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به ماه فروردین می‌باشد که این ماه به مقدار ۱۱/۸۱ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در ماه فروردین نیز طبق پنج که به عنوان طبقه ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۲۰/۸۶ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

با توجه به **جدول شماره ۷**، بر اساس شاخص سنجش ازدوری VHI بیشترین میزان مناطق تحت پوشش خشکسالی حاد در کل دوره چهار ماهه در ماه اردیبهشت بوده است. به طوری که مساحت این طبقه به میزان ۲۰/۰۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. مساحت طبقه دو به عنوان مناطق دارای خشکسالی شدید به مقدار ۲۴/۲۸ درصد از مساحت کل استان‌ها را در ماه فروردین اشغال کرده است. ماه خرداد نیز در طبقه سه به عنوان مناطق دارای خشکسالی متوسط به میزان ۱۹/۵۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین در ماه تیر طبقه نرمال به مقدار ۱۸/۴۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است. طبق شاخص VHI بیشترین مساحت به میزان ۶/۰۴ درصد از مساحت کل منطقه برای کلاس ترسالی حاد در کل دوره چهار ماهه برای ماه فروردین به ثبت رسیده است. طبق شاخص مذکور بیشترین میزان ترسالی شدید نیز مربوط به ماه فروردین می‌باشد که این ماه به مقدار ۱۲/۰۴ درصد از کل مساحت منطقه را به این کلاس اختصاص داده است. در ماه فروردین نیز طبق پنج که به عنوان طبقه ترسالی متوسط می‌باشد، به میزان ۱۳/۲۷ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته است.

جدول ۷ - درصد مساحت طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (ماهانه)

شاخص	ماه	خشکسالی حاد	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	نرمال	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی حاد
SPI	فروردین	۶/۶۵	۱۸/۱۶	۱۵/۸۵	۳۰/۵۵	۱۴/۸۸	۱۱/۶۱	۲/۶۵
	اردیبهشت	۱۳/۰۲	۱۲/۰۳	۱۴/۱۷	۱۴/۵۰	۳۲/۷۸	۱۳/۰۸	۰/۷۷
	خرداد	۱۲/۹۳	۳۶/۷۰	۳۶/۶۸	۹/۹۶	۲/۲۴	۱/۳۷	۰/۴۸
	تیر	۵/۳۶	۱۱/۹۰	۱۹/۹۹	۴۳/۸۲	۱۷/۹۵	۱/۱۵	۰/۵۱
VCI	فروردین	۳۴/۳۱	۲۵/۷۹	۱۴/۴۱	۱۰/۸۶	۸/۱۸	۴/۷۴	۱/۵۹
	اردیبهشت	۳۲/۱۵	۲۸/۳۱	۱۴/۱۰	۱۰/۴۳	۸/۶۷	۴/۷۷	۱/۴۵
	خرداد	۳۰/۶۸	۲۹/۹۹	۱۶/۷۳	۱۰/۸۰	۷/۸۰	۳/۲۲	۰/۶۷
	تیر	۳۰/۰۲	۳۲/۲۵	۱۹/۲۰	۱۰/۷۸	۵/۴۰	۱/۷۷	۰/۴۶
TCI	فروردین	۱۱/۷۴	۲۲/۱۶	۱۵/۴۰	۱۵/۹۶	۲۰/۸۶	۱۱/۸۱	۱/۹۷
	اردیبهشت	۱۷/۰۴	۲۱/۱۷	۱۷/۶۴	۱۷/۱۷	۱۵/۸۳	۸/۶۷	۲/۳۷
	خرداد	۱۶/۰۱	۲۱/۵۵	۱۶/۹۳	۲۰/۰۱	۱۴/۸۷	۷/۹۲	۲/۵۹
	تیر	۱۲/۵۱	۲۰/۲۵	۱۸/۷۸	۱۸/۹۰	۱۶/۹۲	۹/۶۳	۲/۸۷
VHI	فروردین	۱۳/۷۹	۲۴/۲۸	۱۶/۴۴	۱۴/۰۱	۱۳/۲۷	۱۲/۰۴	۶/۰۴
	اردیبهشت	۲۰/۰۶	۲۲/۹۹	۱۸/۱۲	۱۴/۴۱	۱۰/۸۸	۸/۵۱	۴/۹۱
	خرداد	۱۸/۵۹	۲۳/۳۷	۱۹/۵۶	۱۶/۷۰	۱۱/۷۱	۶/۵۶	۳/۴۰
	تیر	۱۵/۹۰	۲۲/۶۷	۱۹/۵۴	۱۸/۴۷	۱۳/۰۸	۷/۱۸	۳/۰۲

۴- جمع‌بندی

هدف از انجام این پژوهش، پایش خشکسالی استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و قم بر اساس شاخص هواشناسی SPI و شاخص‌های ماهواره‌ای VCI، TCI و VHI با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS بوده است. با توجه به پژوهش انجام شده، بعد از محاسبه مقادیر شاخص‌ها و نیز تهیه نقشه‌های خشکسالی منطقه مورد مطالعه به محاسبه همبستگی بین آن‌ها پرداخته شد. در این تحقیق برای اینکه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI گستره خشکی را به طور دقیق نشان دهد از بازه زمانی سالانه آن استفاده شد که با مطالعات بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. چراکه آن‌ها در پایش خشکسالی استان گلستان با شاخص SPI به این نتیجه رسیدند که اگر از دوره‌های زمانی ماهانه شاخص SPI استفاده کنند وسعت خشکسالی‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI، در طول دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۲۰) از ۲۹ ایستگاه منطقه مورد مطالعه، مشخص شده همبستگی معناداری در سطح ۰/۰۱ بین این شاخص و نمایه ماهواره‌ای VCI وجود دارد. برای مثال، در نتایج به

دست آمده از شاخص خشکسالی هواشناسی SPI سالانه، در همه ایستگاه‌ها سال ۲۰۲۰ خشکسالی شدید و حاد رخ داده است. محاسبه شاخص VCI در این سال نیز نشان داد که میزان خشکسالی ضعیف به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است که متناظر با آن مقادیر ماکزیمم شاخص خشکسالی VCI از سال ۲۰۱۹ به سال ۲۰۲۰ کاهش یافته است. همچنین در همه ایستگاه‌ها سال ۲۰۱۱ به‌عنوان سال ترسالی، میزان پوشش گیاهی نیز افزایش یافته که به‌خوبی نشان دهنده همبستگی معنادار این دو شاخص می‌باشد که متناظر با آن در سال ۲۰۱۰ به سال ۲۰۱۱ مقادیر ماکزیمم شاخص VCI افزایش یافته است که نشان دهنده افزایش بارندگی در این سال است. در صورت در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای بدون پوشش ابر، امکان ارزیابی خشکسالی با شاخص‌های VCI، VHI و TCI نسبت به شاخص SPI، بسیار مناسب‌تر است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص VCI نسبت به شاخص‌های VHI و TCI نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. همچنین، شاخص‌های با عامل وضعیت پوشش گیاهی VHI و VCI نتایج قابل‌قبول‌تری را نسبت به شاخص با عامل دما TCI ارائه می‌دهند.

نتایج این تحقیق نشان داد اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیت پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن‌ها است. نتایج این مطالعه تأییدکننده وجود خشکسالی و ترسالی به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۱ می‌باشد. این نتایج با توجه به شاخص SPI منطقه مورد مطالعه که نشان دهنده خشکسالی و ترسالی در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۱ می‌باشد، تأیید شده است. با توجه به وجود همبستگی بالا بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از قدرت بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردار می‌باشند. نتایج این تحقیق مشابه با نتایج [سلطانی و همکاران \(۱۳۹۸\)](#)، [حمزه و همکاران \(۱۳۹۶\)](#)، [غفوریان \(۱۳۹۳\)](#) بود که نشان دادند شاخص‌های سنجش‌ازدوری دارای دقت مناسبی در پایش خشکسالی می‌باشد.

کتابنامه

امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، رضا؛ راستی، فاطمه؛ ۱۳۹۳. ارزیابی برخی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت خشکسالی؛ مطالعه موردی منطقه شمالغرب و مرکزی ایران. مهندسی آبیاری، ۱۷: ۳۰-۴۳.

<https://www.sid.ir/paper/247354/fa#downloadbottom>

پرویز، لاله؛ خلقی، محمدرضا؛ ولزاده کامران، خلیل؛ ۱۳۸۸. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ی Terra-MODIS، چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، آذر ۱۳۸۸، کرمان. ۱۰۷۳-۱۰۸۱.

پیش‌نماز احمدی، مجید؛ هوشمند، علی؛ زمانی، فهیمه؛ ۱۳۹۶. پایش خشکسالی شمال غرب کشور با استفاده از داده‌های MODIS و TRMM، بیست و چهارمین همایش ملی ژئوماتیک، اردیبهشت ۱۳۹۶.

<https://www.sid.ir/paper/894192/fa>

جهانبخش، سید؛ هادیانی، میرامید؛ رضایی‌بنفشه، مجید؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ ۲۰۱۰. مدل‌سازی پارامترهای تغییر اقلیم در استان مازندران. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG)، ۱۳ ص.

<https://civilica.com/doc/82885>

حمزه، سعید؛ فراهانی، زهرا؛ مهدوی، شهریار؛ چترآگون، امید؛ غلام‌نیا، مهدی؛ ۱۳۹۶. پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مورد مطالعه: استان مرکزی ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۳. ص ۷۰-۵۳.

<https://www.sid.ir/paper/264741/fa#downloadbottom>

حجازی‌زاده، زهرا؛ جوی‌زاده، سعید؛ ۱۳۹۸. تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۵۳، از صفحه ۲۵۱ تا صفحه ۲۷۷.

<https://www.sid.ir/paper/102201/fa#downloadbottom>

صلاحی، برومند؛ خورشیددوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۸۶. ارتباط نوسان‌های گردش جوی - اقیانوسی اطلس شمالی با خشکسالی‌های آذربایجان شرقی. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰. صص ۱۴۷-۱۵۶.

<https://www.sid.ir/paper/5497/fa#downloadbottom>

خدایی، مهسا؛ شاد، روزبه؛ مقصودی‌مهرانی، یاسر؛ قائمی، مرجان؛ ۱۳۹۵. تعیین یک شاخص بهینه چند سنسور سنجش‌ازدوری به منظور ارتقای فرایند پایش زمان واقعی خشکسالی در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن. اکوهیدرولوژی، دوره سوم، شماره سوم، تهران.

https://ije.ut.ac.ir/article_60041_ab91f234cd0f3799738362c9e487963c.pdf

خوش‌اخلاق، فرامرز؛ رنجبر، فیروز؛ طولابی، سوسن؛ مقبل، معصومه؛ معصومپور سماکوش، جعفر؛ ۱۳۸۹. بررسی خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ و اثرات آن بر منابع آب کشاورزی (نمونه موردی: شهرستان مرودشت)، مجله جغرافیا، شماره ۲۴، صص ۱۳۶-۱۱۹. <https://www.sid.ir/paper/5497/fa#downloadbottom>

سلطانی، میلاد؛ سلطانی، عادل؛ کله‌هونی، مهین؛ سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۸. پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست، منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۸، شماره ۱۰۹، ص

<https://www.sid.ir/paper/253284/fa#downloadbottom>. ۱۳۸-۱۴۶

عزیزی، قاسم؛ سفرراد، طاهر؛ ۱۳۹۱. تحلیل ویژگی‌های رودباد طی فازهای ENSO. مطالعه موردی؛ ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال سوم، شماره ۹، ص ۸۲-۷۰.

<https://www.sid.ir/paper/403036/fa#downloadbottom>

غفوریان، هادی؛ ثنائی‌نژاد، سیدحسین؛ داوری، کامران؛ ۱۳۹۳. بررسی تعیین مناطق مناسب جهت پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی (آب و خاک)، علوم و صنایع کشاورزی

<https://www.sid.ir/paper/141927/fa#downloadbottom>. ۶۳۹-۶۴۸. (۳)

نوروزی، اصغر؛ محمدی، زهرا؛ ۱۳۹۵. بررسی خشکسالی هیدرولوژیک و آثار آن بر کشاورزی منطقه لنجان. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا). سال ششم، شماره دوم (پیاپی ۲۱)، ۹۷-۱۱۶.

<https://doi.org/10.22108/sppl.2016.21633>

محمودزاده، عبدالحسین؛ تقیان، بهرام؛ مختاری، احمد؛ ۱۳۸۷. بررسی همبستگی شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI منطقه فریدون شهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه تبریز. دانشکده مهندسی عمران. ۸

صفحه <https://civilica.com/doc/50191/>.

Agnew, C.T., 2000. using the SPI to Identify Drought, Drought Network News, Vol. 12, No. 1, winter 1999-Spring 2000. [https:// digitalcommons.unl.edu/ cgi/ viewcontent.cgi? article=1000& context=droughtnetnews](https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=droughtnetnews)

Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., Tucker, C. J., 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. Remote Sensing of Environment, 105(1), 9-22. [https:// www.sciencedirect.com/ science/ article/ abs/pii/S0034425706002185](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706002185)

Bonaccorso, B., Bordini, I., Cancelliere, A., Rossi, G., Sutera, A., 2003. Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. Water resources management, 17(4), 273-296. [https:// link.springer.com/ article/ 10.1023/A:1024716530289](https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024716530289)

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., Gregoire, J.M., 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment, 77, Pp. 22-33. [https:// www.sciencedirect.com/ science/ article/ abs/ pii/S0034425701001912](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701001912)

Chen, Z., Grasby, S.E., Osadetz, K.G., 2004. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada, Journal of Hydrology, No. 290, 43-62. [https:// www.sciencedirect.com/ science/ article/ abs/ pii/ S0022169403004852](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169403004852)

Elhag, K., Zhang, W., 2018. Monitoring and Assessment of Drought Focused on Its Impact on Sorghum Yield over Sudan by Using Meteorological Drought Indices for the Period 2001-2011, Remote Sensing, Vol 10 (8), 1231 p. <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/8/1231>

Fiorillo, F., Guadagno, F.M., 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. Water Resources Management, 24(9): 1867-1884. [https://link.springer.com/ article/ 10.1007/ s11269-009-9528-9](https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-009-9528-9)

- Hodel, E., 2012. Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data supervisor Hans Hurni, Masterarbeit der Philosophisch, Universität Bern.
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=4981>
- Ji, L., Peters, A.J., 2003. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, *Remote Sensing of Environment*, 87, 85-98pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703001743>
- Gu, Y., Brown, J., Verdin, J., Wardlow, B., 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*. 34. 551-560. <https://www.sid.ir/FileServer/SF/7971392h01204>
- Karel, A.K., 1989. Response of *Ootheca bennigseni* (Coleoptera: Chrysomelidae) to extracts from neem. *Journal of economic entomology*, 82(6), 1799-1803. [https://www.semanticscholar.org/paper/Response-of-Ootheca-bennigseni-\(Coleoptera%3A-to-from-Karel/8bf42bb7bfb36f3310beadd1a3cf06ae60f785f6](https://www.semanticscholar.org/paper/Response-of-Ootheca-bennigseni-(Coleoptera%3A-to-from-Karel/8bf42bb7bfb36f3310beadd1a3cf06ae60f785f6)
- Kogan, F.N., 2000. Global drought detection and impact: Assessment from space, In Wilhite Editor *Drought a Global Assessment*, 1: 197-206. <https://web.iitd.ac.in/~sagnik/C2.pdf>
- Lein, J., 2003. *Integrated Environmental Planning*, Black well science Inc U.S.A. <https://www.amazon.com/Integrated-Environmental-Planning-Landscape-Synthesis-ebook/dp/B000VI62QM>
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society Boston, MA, Pp: 179-183. https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf
- Owringi, M.A., Adamowski, J.M., Rahnemaei, A., Mohammadzadeh, R., Sharifan, R.A., 2011. Drought monitoring methodology based on AVHRR images and SPOT vegetation maps. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(5): 325-346.
- Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Xia, G., 2018. Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and forest meteorology*, 248, 215-227. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192317303210>
- Rostami, A., Bzane, M., Raini, M., 2016. Spatial and temporal monitoring of agricultural drought using Modis imagery and remote sensing technology. *Journal of Soil and Water Science*, 27: 213- 226 (in Persian). https://agry.um.ac.ir/index.php/article_37239.html?lang=en
- Roswintarti, O., Oarwati, S., Anggraini, N., 2010. Potential Drought Monitoring over Agriculture Area in Java Island, Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype Year. <http://jurnal.lapan.go.id/article/download/PDF>
- Shahabfar, A., Ghulam, A., Eitzinger, J., 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 119-127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030324341200013X>
- Silva, V.P.R., 2003. On Climate Variability in Northeast Brazil, *Journal of Arid Environment*, 54 (2): 256-367. <http://text2fa.ir/wp-content/uploads/Text2fa.ir-On-climate-variabilityin-Northeast-of-Brazil.pdf>
- Thenkabail, P.S., Gamage, M.S.D.N., Smakhtin, V.U., 2003. The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia. Research report 85. 1-34. https://www.unisdr.org/files/1871_VL102138.pdf
- Tsakiris, G., Vangelis, H., 2004. Towards a drought watch system baesed on spatial SPI. *Water resources management*, 18(1), 1-12. <https://link.springer.com/article/10.1023/B:WARM.0000015410.47014.a4>

- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., Hu, Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score, International journal of climatology, Vol. 21, No. 6, pp. 745-758. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com>
- Yıldırım, T., Aşık Ş., 2018. Index-based assessment of agricultural drought using remote sensing in the semi-arid region of Western Turkey. Journal of Agricultural Sciences, 24(4) : 510-516. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/339519>
- Zambrano, F., Lillo-Saavedra, M., Verbist, K., Lagos, O., 2016. Sixteen years of agricultural drought assessment of the BioBío region in Chile using a 250 m resolution Vegetation Condition Index (VCI). Remote Sensing, 8(6): 530-549. <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/6/530>



Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province

Koohzad Raispour^{a*}, Hossein Asakereh^b

^a Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

^b Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 21 November 2020

Revised: 22 January 2021

Accepted: 6 February 2021

Abstract

Heavy rainfalls are considered as a risk factor in the occurrence of floods and continuously cause irreparable damages in most areas, including Lorestan province. This study explored the role of interaction between Cut-Off Low (COL) coupled patterns and Polar Front Jet Stream (PFJS) in heavy rainfall event of April 2019 in Lorestan province. In order to achieve this goal, daily atmospheric monitoring parameters (pressure maps, temperature, wind, vorticity, relative humidity, etc.) NCEP/NCAR database with a spatial resolution of 2.5 degrees was used to identify the effective synoptic patterns on the meteorological condition of the studied area, GFS global numerical model overlay maps with a spatial resolution of 13 km was used to compare wind flow with the studied parameters, TRMM satellite precipitation data with a spatial resolution of 0.25 degrees was used to monitor the spatial distribution of precipitation, and observation data of Khorramabad meteorological station based on synoptic meteorological codes were used to analyze the weather conditions during heavy rainfall events. The obtained results show the instability and rise of moist air due to the two forcings of the COL and the PFJS and the convergence of moist currents from three moisture centers of the northern Indian Ocean, the Red Sea, and the eastern Mediterranean. These features provided the synoptic-dynamic conditions necessary for the occurrence of heavy rainfall. However, many other environmental factors like the saturation of the surface layer of the soil due to the high amount of precipitation in the days before the flood have played a role in the aggravation of the said flood.

Keywords: Heavy Rainfall, COL, PFJS, Synoptic and Dynamic Analysis, Lorestan Province

*. Corresponding author: Koohzad Raispour E-mail: Raispour@znu.ac.ir Tel: +98916073187

How to cite this Article: Raispour, K., Asakereh, H. (2022). Investigating the role of interaction between Cut-Off Low coupled patterns and Polar Front Jet Stream in heavy rainfall of April 2019 in Lorestan province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 225-249.

DOI:10.22067/geoeh.2021.67237.0



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۴۹-۲۲۵

مقاله پژوهشی

بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین

فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان

کوهزاد رئیس پور^۱ - استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

حسین عساکره - استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

بارش های سنگین به عنوان عامل مخاطره آمیز در بروز سیل، به طور مداوم خسارت های جبران ناپذیری در بیشتر مناطق، از جمله استان لرستان وارد می کند. در این پژوهش به بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان پرداخته شد. برای نیل به این هدف، از چهار پایگاه داده شامل: فراسنج های پایش جوی روزانه (نقشه های فشار، دما، باد، تاوایی، رطوبت نسبی و ...) پایگاه NCEP/NCAR با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه جهت شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضعیت هواشناسی منطقه مورد مطالعه، نقشه های همپوشانی مدل عددی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر برای بررسی تطبیقی جریان باد با فراسنج های مورد مطالعه، داده های بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه، جهت پایش توزیع فضایی بارش و داده های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی خرم آباد بر اساس کدهای هواشناسی همدیدی (ww)، در راستای تحلیل وضعیت هوا در هنگام رخداد بارش سنگین، استفاده شد. نتایج حاصله حاکی از ناپایداری و صعود هوای مرطوب، توسط دو واداشت جوی بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی و همگرا

Email : Raispour@znu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۶۰۷۳۱۸۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

رئیس پور، کوهزاد، عساکره، حسین. (۱۴۰۱). بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳). صص ۲۴۹-۲۲۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0>

شدن جریانات مرطوب از سه کانون رطوبتی شمال اقیانوس هند، دریای سرخ و شرق مدیترانه می‌باشد. این ویژگی‌ها، شرایط همدیدی — دینامیکی لازم را برای وقوع بارش سنگین مهیا نمود. البته عوامل محیطی متعدد دیگری، از قبیل اشباع بودن لایه سطحی خاک به دلیل میزان بالای بارش در روزهای قبل از وقوع سیل و ... در تشدید سیل مذکور نقش داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: بریده کم‌فشار، رودباد جبهه‌قطبی، واداشت جوی، کانون رطوبتی، استان لرستان.

۱- مقدمه

سیلاب‌ها یکی از شدیدترین و مخرب‌ترین مخاطرات جوی می‌باشند که آثار زیانباری داشته و انسان و طبیعت را در سطح وسیعی متأثر می‌نمایند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۳). کشور ایران به دلیل شرایط و موقعیت خاص جغرافیایی، از ویژگی‌های متفاوت بارشی برخوردار می‌باشد؛ به نحوی که علی‌رغم دارا بودن بارشی معادل یک سوم میانگین بارش جهانی، دارای نوسانی شدید در رژیم بارش است (مسعودیان، ۱۳۸۷؛ نوری، ۱۳۹۱). رخداد بارش‌های شدید و رگباری از جمله ویژگی‌های آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک است که موجب بروز سیل می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). کشور ایران نیز به دلیل این ویژگی به‌کرار از پدیده سیل متأثر می‌گردد (براتی و همکاران، ۱۳۹۳). الگوهای همدید، دوری و نزدیکی به دریا، ارتفاع، شیب و جهت ناهمواری از مهم‌ترین بسترهای شکل‌گیری رخداد بارش به حساب می‌آیند. تعامل و اندرکنش این عوامل می‌تواند باعث افزایش بارش‌های سنگین و رخداد سیل شود (سیوتاس و فلکاس، ۲۰۰۳). با مطالعه اقلیم‌شناسی بارش، ضمن شناخت ویژگی‌ها و رفتار بارش، امکان برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب فراهم می‌گردد (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰). از این رو چگونگی رفتار بارش به‌ویژه در شرایط بحرانی (نظیر خشکسالی و سیلاب) مورد توجه پژوهش‌گران در سطح ایران و جهان بوده است. در این زمینه می‌توان به مطالعات پژوهشگرانی از جمله: روبرت، ۱۹۹۸؛ هند، ۲۰۰۴؛ کریشنا، ۲۰۰۸؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۹؛ فلون و همکاران، ۲۰۱۷؛ کلدیپ و همکاران، ۲۰۱۹ اشاره نمود که با نگرش‌ها و اهداف مختلف در ارتباط با واکاوی دینامیکی، ترمودینامیکی و همدیدی بارش‌های سنگین انجام شده است. از دیگر مطالعات انجام‌شده در خصوص بارش‌های سنگین در جهان می‌توان به تحقیقات وبستر و همکاران، ۲۰۰۵؛ هلستروم، ۲۰۰۵؛ پرسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ موهاپاترا و موهان تی، ۲۰۰۵؛ رودری و همکاران، ۲۰۰۵؛ لنا و همکاران، ۲۰۰۷؛ لاسات و همکاران، ۲۰۰۷؛ تریپولی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سن روی، ۲۰۰۸؛ لندرینگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسپومن و همکاران، ۲۰۰۹؛ مانان و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۳؛ آحامد و همکاران، ۲۰۱۴؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۷؛ فروید و همکاران، ۲۰۱۸ اشاره کرد که از زوایای مختلف و با استفاده از شگردهای مطالعاتی متعدد و متنوعی همچون شگردهای مبتنی بر روش‌های آماری، همدیدی، ماهواره‌ای و ... صورت گرفته است. در ایران نیز مطالعات متعددی در خصوص بررسی بارش‌های سیل‌آسا انجام شده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی شرایط

همدیدی بارش سنگین ۶ ژانویه جنوب شرق ایران، نشان دادند که رخداد بارش سنگین مورد مطالعه، با شرایط مطلوب همدیدی نظیر وجود رطوبت زیاد در تراز پایین جو، به‌ویژه تخلیه رطوبتی شدید از خلیج فارس، بی‌هنجاری‌های منفی شدید در ترازهای میانی جو و استقرار رودباد جنب‌حاره‌ای در غرب منطقه مرتبط بوده است. **پرنده‌خوزانی و لشکری (۱۳۸۹)** با بررسی همدیدی طوفان‌های شدید که زمینه‌ساز وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در غرب ایران شده‌اند، اظهار نمودند که این طوفان‌ها نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن‌ها به یک سامانه دینامیکی یا ترمودینامیکی هستند. **امیدوار و همکاران (۱۳۸۶)** به مطالعه تأثیر سردچال‌ها بر وقوع بارش‌های شدید در نواحی جنوب غرب ایران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که عامل اصلی ایجاد بارش، نفوذ و استقرار سامانه پرفشار سیبری و تشکیل سردچال وسیع بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران بوده است. در تحقیقی مشابه که توسط **گندمکار (۱۳۸۹)** انجام گرفت عامل اصلی بروز بارش‌های سیل‌زا در نواحی جنوبی استان بوشهر را سامانه کم‌فشار سودانی توأم با سامانه‌های مدیترانه‌ای معرفی نموده است. همچنین **قویدل رحیمی (۱۳۹۰)** با به‌کارگیری تعدادی از نمایه‌های ناپایداری به ارزیابی توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۸۹ در تبریز پرداخت و نشان داد که وقوع توفان تندری و بارش مذکور بر اثر ورود جبهه هوای سرد و عوامل دینامیکی صورت گرفته است. **محمدی و همکاران (۱۳۹۱)** با مطالعه بارش‌های سیل‌آسای جنوب غرب ایران، افزایش تلاوایی نسبی در شرق دریای مدیترانه و غرب دریای سرخ را مهم‌ترین عامل وقوع این بارش‌ها قلمداد کرده‌اند. عوامل متعدد دیگری نیز توسط برخی از محققین به‌عنوان عامل اصلی رخداد بارش‌های سنگین در ایران ارائه شده است که از جمله این عوامل می‌توان به: اختلاف فشار و شکل‌گیری جبهه حاصل از برخورد پرفشارهای شمالی و کم‌فشارهای داخل ایران، تقویت نسیم دریا و خشکی، اثر دمای سطح دریا، اختلاف دمای سطح دریا و هوای روی آن اشاره نمود (**قشقایی، ۱۳۷۵؛ خوشحال، ۱۳۷۶؛ حسینجانی، ۱۳۸۳؛ مرادی، ۱۳۸۳**). از دیگر مطالعات انجام شده در این خصوص که نشان از تلاش محققان برای شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد بارش‌های سنگین در گستره ایران دارد می‌توان به بررسی اثر ناوه عمیق شرق مدیترانه بر بارش‌های سنگین ایران (**مفیدی و زرین، ۱۳۸۴**)، اثر فرودهای عمیق مدیترانه‌ای بر بارش‌های سیل‌زای ایران (**امیدوار، ۱۳۸۶**)، اثر ناوه شمال آفریقا بر بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران، تعیین دریا‌های عمان و عرب به‌عنوان مهم‌ترین کانون‌های رطوبتی مؤثر بر برخی از بارش‌های زمستانه ایران (**فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸**)، بررسی شار رطوبتی سنگین‌ترین بارندگی زمستانی در ایران مرکزی (**براتی و همکاران، ۱۳۹۳**) و مطالعات متعدد دیگری توسط **محمدی، ۱۳۸۸؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ کرمپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ مظفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ شادمانی و همکاران، ۱۳۹۷** اشاره کرد که نتایج حاصله به‌خوبی بیان‌گر این است که الگوهای همدیدی متفاوتی در عرض‌های جغرافیایی مختلف سبب وقوع

بارش‌های سنگین می‌شوند. چرخندها، جبهه‌ها، فرودها^۱، رودبادها، کم‌فشارهای بریده شده، همرفت‌های قوی، اثر دمای آب دریاها و اقیانوس‌ها (SST)، توپوگرافی و کوه‌بارش‌ها، سبب رخداد ناهنجاری‌ها در سرعت عمودی هوا، همگرایی پایینی، واگرایی بالایی، وزش رطوبتی، دمای سطح دریا و... شده و در نهایت باعث رخداد ناهنجاری‌های بارشی و بارش‌های سنگین می‌شوند. بنابراین با وجود شناخته‌شدن سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی و وقوع هرساله آن در ایران، نه تنها خسارت ناشی از این پدیده کاهش نیافته است بلکه از روند فزاینده‌ای نیز برخوردار می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی و تلاش در جهت کاهش خسارات ناشی از آن امری ضروری می‌باشد. استان لرستان در جنوب‌غرب ایران، به فراخور موقعیت جغرافیایی و شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی خاص خود، همه‌ساله به دلیل وقوع بارش‌های شدید و طغیان رودخانه‌ها، از سیل‌های ویرانگر متأثر می‌شود. بنابراین شناخت الگوی این نوع بارش‌ها و سازوکارهای همدیدی—دینامیکی منجر به وقوع آن‌ها، کمک زیادی به شناسایی و پیش‌بینی آن‌ها خواهد نمود. هدف اصلی این تحقیق نیز شناخت ماهیت و سازوکار الگوهای مولد بارش سنگین و سیل‌زای ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

میزان بارش منجر به رخداد سیل ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ از مقدار بسیار بالاتری نسبت به سایر بارش‌های سیل‌آسا در استان لرستان برخوردار و به استناد آمار سازمان هواشناسی بی‌سابقه بوده است. از سویی دیگر با آگاهی از این‌که وقوع بارش‌های سنگین در هر منطقه با الگوهای همدید تراز بالای جو و شرایط هواشناسی حاکم بر آن منطقه در ارتباط بوده و با فرض بر اینکه گاهی بارش‌های شدید در نیمه غربی ایران متأثر از موقعیت کم‌فشارهای بریده‌شده و رودباد جبهه‌قطبی می‌باشند (امیدوار، ۱۳۹۲)، بارش مذکور به‌عنوان مورد تحقیق انتخاب شد. در ابتدا جهت شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضعیت هواشناختی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، سرعت باد (m/s)، جهت جریان، نم و یژه (g/kg)، دمای هوا (K) و تاوایی با گام‌های زمانی یک روزه و مکانی ۲/۵ درجه مرکز ملی محیطی و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR)^۲ استفاده شد. در گام دوم جهت بررسی همزمان وضعیت باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی (بررسی تطبیقی) از داده‌های ساعتی دما، رطوبت نسبی، میزان رطوبت ابر و آب قابل بارش، از نقشه‌های همپوشانی شده برون‌داد مدل عددی معتبر پیش‌بینی و پیش‌یابی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر استفاده شد. سپس جهت دستیابی به دیدی جامع و همه‌جانبه از توزیع فضایی بارش در منطقه مورد مطالعه، داده‌های بارش ماهواره «TRMM»^۳ به کار گرفته شد. ماهواره TRMM

1 Trough

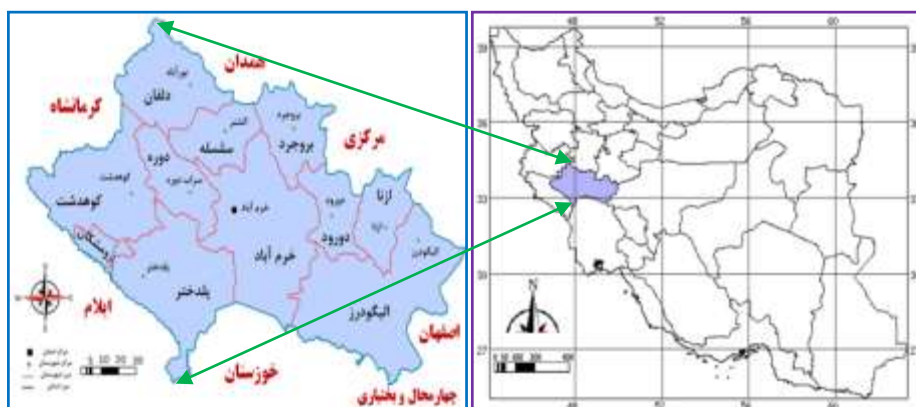
2 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR).

3 Tropical Rainfall Measuring Mission.

برای بررسی و مطالعه بارش از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی به کار گرفته شده است. داده‌های این ماهواره با گام‌های مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه و بازه زمانی ۴ بار در روز (از سال ۲۰۰۰ میلادی تاکنون) ارائه می‌شود. در این تحقیق نیز از داده‌های روزانه سطح ۳ نسخه ۷ ماهواره TRMM استفاده شد. همچنین جهت تحلیل شرایط جوی حاکم بر ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد (بر اساس نشانه‌ها و کدهای هواشناسی همدیدی (ww) در زمان وقوع بارش سنگین) از داده‌های پایگاه ogimit استفاده شد. پایگاه داده ogimit یک سرویس ارائه دهنده اطلاعات هواشناسی می‌باشد که در خصوص شرایط فعلی هوا به صورت سریع و حرفه‌ای عمل می‌نماید. این پایگاه به طور عمده از داده‌های NOAA و داده‌های سازمان هواشناسی جهانی استفاده می‌کند. در گام نهمی داده‌های مورد استفاده با گام‌های زمانی (ساعتی و روزانه) و مکانی مختلف (از 0.25° تا 2.5° درجه) برای ترازهای سطح دریا، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای گستره ۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی استخراج و با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف آماری و ترسیمی مورد پردازش قرار گرفت. به علت تعدد زیاد نقشه‌های متغیرهای مورد مطالعه، در برخی موارد صرفاً به نقشه‌های روز اوج بارش اکتفا شده است.

۳- منطقه مورد مطالعه

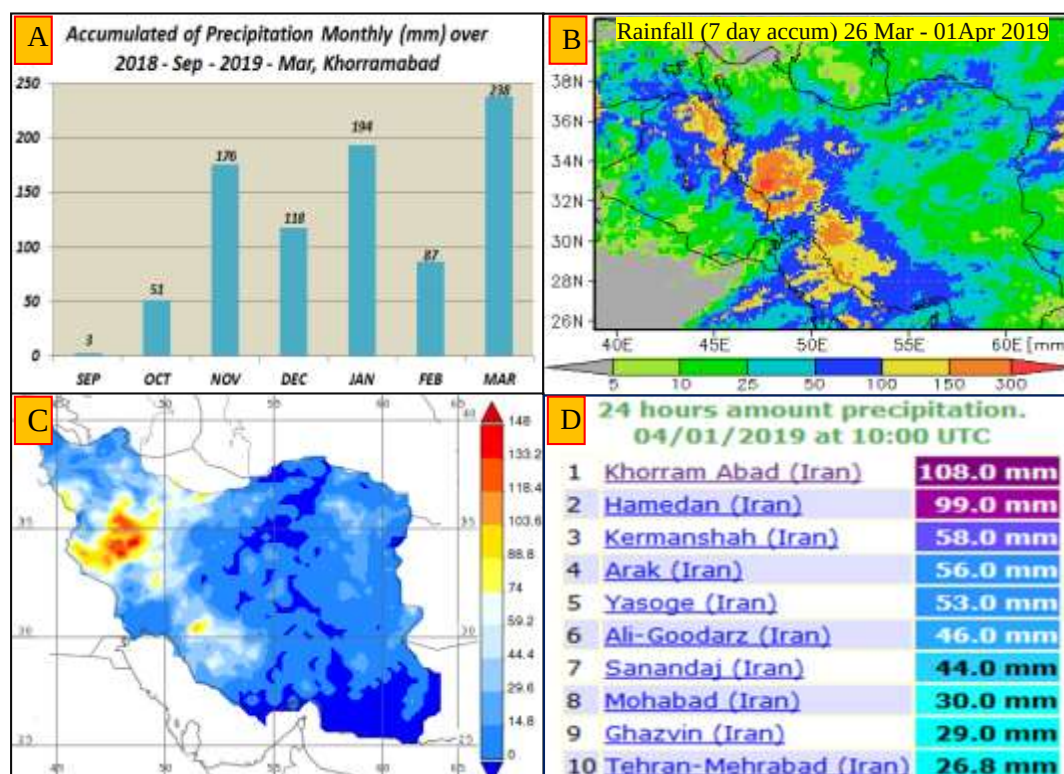
استان لرستان با وسعتی حدود ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی $31^\circ 50' - 34^\circ 46' E$ و $32^\circ 20' - 33^\circ 37'$ واقع می‌باشد (شکل ۱). لرستان سرزمینی کوهستانی است که به جز تعدادی دره آبرفتی و چند دشت کوچک، ناحیه هموار نداشته و تقریباً تمامی آن را کوه‌های زاگرس مرکزی در بر گرفته است که به طور منظم دارای امتدادی شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشند. این ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق همگرا، اغلب فشرده، بلند و ناصاف هستند که به علت شیب بسیار زیاد و نفوذپذیری بسیار کم قابلیت سیل خیزی منطقه را افزایش می‌دهند (نگارش و همکاران، ۱۳۹۰). تفاوت ارتفاع (اشترانکوه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر واقع در حدفاصل شهرستان‌های دورود، ازنا و الیگودرز و جنوب شهرستان پلدختر با ارتفاع حدود ۵۰۰ متر) موجب شده است این استان علیرغم وسعت کم، از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار باشد؛ به طوری که در زمستان، هنگامی که در شمال لرستان برف و کولاک و سرمای شدید جریان دارد، قسمت‌های جنوبی آن از هوای مطبوع و بارانی برخوردار است. اختلاف ثبت شده دما در شهرهای استان لرستان بین حداکثر و حداقل مطلق دما بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد است. استان لرستان با بارش میانگین سالانه ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بعد از استان‌های گیلان و مازندران سومین، استان از نظر بارندگی در کشور است (زند و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۱- مشخصات بارش سنگین فروردین ۱۳۹۸

بارش‌های سنگین و مداوم فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان به‌طور گسترده در پهنه‌ای با گستره بیش از ۴۰ هزار کیلومترمربع رخ داده است. در همین ایام بارش گسترده در استان‌های ایلام، لرستان، کرمانشاه، همدان و ... بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ۴۸ ساعت گزارش شد (شکل ۲). از سویی دیگر حجم بسیار بالای بارش طی ماه‌های پایانی سال ۱۳۹۷ و بارش‌های سنگین و مداوم در روزهای منتهی به رخداد بارش در بخش وسیعی از مناطق غرب و جنوب‌غرب کشور، میزان نفوذپذیری خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (شکل A, B: ۲ و جدول ۱). همچنین می‌توان، به شدت بارش در روز ۱ آوریل ۲۰۱۹ (۱۲ فروردین ۱۳۹۸) در استان لرستان اشاره کرد که میزان بارش (تندری) در این روز در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۱۰۸ میلی‌متر گزارش شد (شکل C: ۲). حاکمیت چنین شرایطی در روزهای موردنظر، منجر به شکل‌گیری حجم بسیار زیادی رواناب شد که به لحاظ اکولوژیکی بسیار بالاتر از توان اکولوژیک حوضه‌های آبریز منطقه بود. علاوه بر این، عوامل دیگری از قبیل سازندهای زمین‌شناسی با ساختار مساعد سیل‌خیزی (نفوذپذیری بسیار کم) و چینه‌بندی مناسب چین‌خوردگی‌های زاگرس میانی، در همگرایی و تمرکز جریان‌های سیلابی منجر به رخداد سیل ۱ آوریل (۱۲ فروردین) نقش فزاینده‌ای داشته است.



شکل ۲- بارش تجمعی ماهانه در ماه‌های قبل از وقوع بارش سنگین (A) - بارش تجمعی ۷ روز منتهی به ۱ ام آوریل (B) - بارش ۲۴ ساعته مربوط به روز ۱ ام آوریل (C) - رتبه‌بندی ۱۰ ایستگاه پربارش کشور در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ (D)

جدول ۱- شرایط هواشناسی (ww) حاکم بر ایستگاه سینوپتیک خرم آباد (۲۲ مارس تا ۱ ام آوریل ۲۰۱۹)

Daily summary : Time interval: 10 days before 2019/04/01																Khorram Abad (Iran)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Date	Temperature (C)			Td Avg (C)	Hr. Avg (%)	Wind (km/h)		Pres. e.lev (Hp)	Prec. (mm)	Tot Cl Oct	low Cl Oct	Sun D-1 (h)	Vis Km	Daily weather summary																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	Max	Min	Avg			Dir.	Int.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
04/01	10.0	2.8	8.2	7.8	97.6	SSE	16.2	880.9	108.0	8.0	7.1	0.1	5.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											<

۳-۲- تحلیل ساختار و گردشی جو

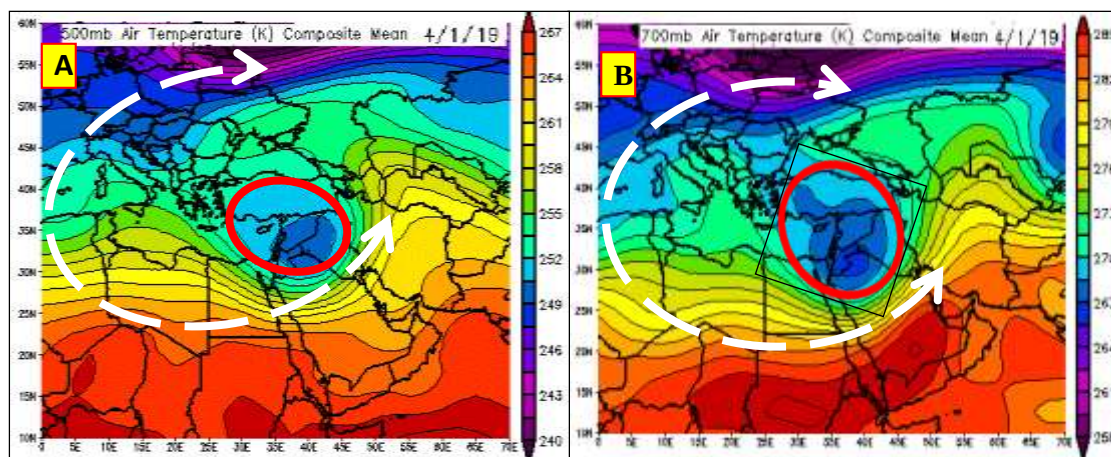
بررسی‌های اولیه الگوهای همدیدی حاکم در زمان وقوع بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه، به‌خوبی هم‌افزایی دینامیکی ناشی از تعامل دو الگوی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه‌قطبی را در رخداد بارش ۱ آوریل (۱۲ فروردین) و سیل ناشی از آن نشان می‌دهد (شکل ۲: A, B, C, D). بنابراین پس از بارزسازی ماهیت و نقش الگوهای همدیدی مورد مطالعه، به تحلیل فراسنج‌های مختلف جوی، در راستای تبیین سازوکار بارشی منجر به رخداد سیل پرداخته شد.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- توزیع مکانی دمای تراز میانی

سردچال جوی^۱ چاله‌ای مملو از هوای سرد می‌باشد که در حرکت‌های نصف‌النهاری بادهای سطح بالا، بر اثر فرود عمیق موج از جریان اصلی جدا شده و در جنوب بادهای اصلی باقی می‌ماند (علیجانی، ۱۳۹۵). آرایش توپوگرافی الگوهای دما در تراز میانی جو به‌خوبی تبیین‌کننده ماهیت و مکانیسم آن می‌باشد. شکل (۳: A, B) بیانگر توزیع دمای هوا در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشد. همان‌طوری که در این نقشه‌ها مشهود است، دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز مذکور، یک سردچال جوی که پربند دمایی مرکز آن دمای ۲۴۵ درجه کلوین (-28°C) را نشان می‌دهد، بر روی شرق دریای مدیترانه و غرب سوریه مستقر شده است. بررسی نقشه‌های متوالی در روزهای مورد مطالعه حاکی از توقف ریزش هوای سرد قطبی به داخل سردچال مذکور و محبوس شدن آن در جای خود در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشد (۳: A). بارز بودن سردچال مذکور در تراز میانی جو و گسترش قائم آن تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با پربند دمای مرکزی 265°K (-8°C) بیانگر قوی بودن سردچال و اثرگذاری آن بر ناپایداری هوای لایه مرزی می‌باشد (۳: B). از سویی دیگر بررسی پربندهای هم‌دما و هم‌ارتفاع بر روی نقشه‌های تراز میانی جو، حاکی از انطباق محورهای حرارتی و پربندی بوده که این شرایط در روز ۲ ام آوریل با آمیخته‌شدن هوای سرد درون بریده کم‌فشار با هوای گرم پیرامونی از بین رفته است. در حقیقت زوال دوره حیات سردچال، خاتمه فعالیت سامانه بارشی را در منطقه مورد مطالعه به دنبال داشته است.

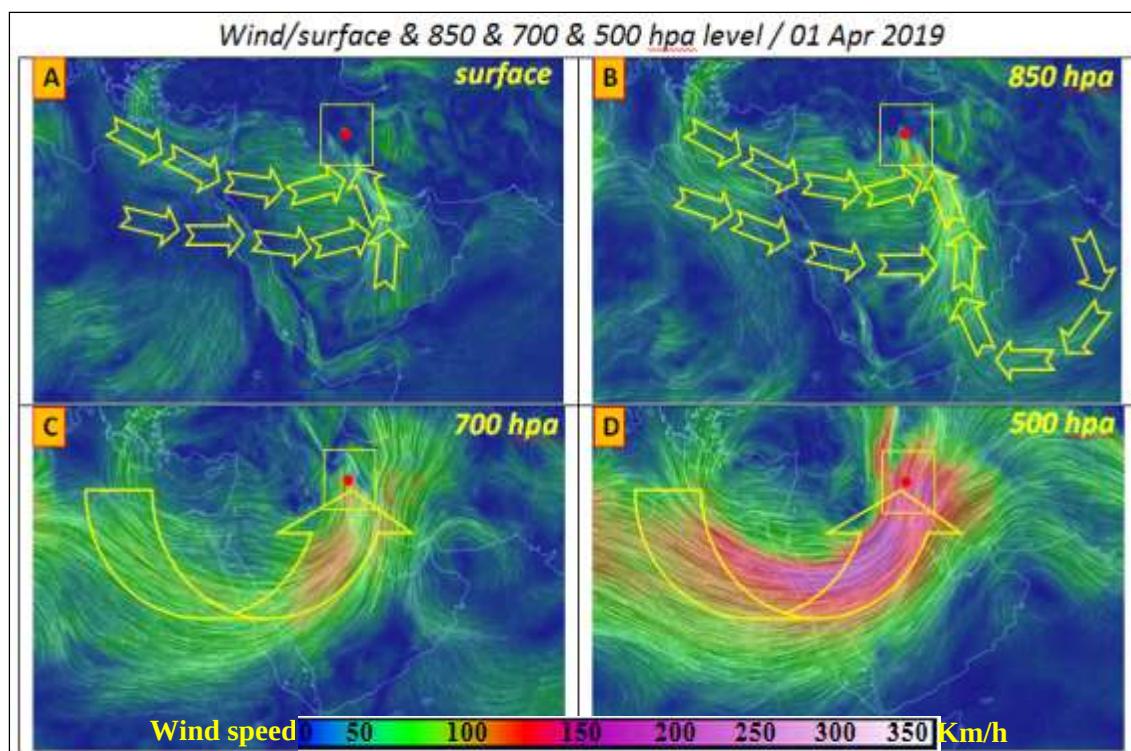
1 Cut- Off- Low



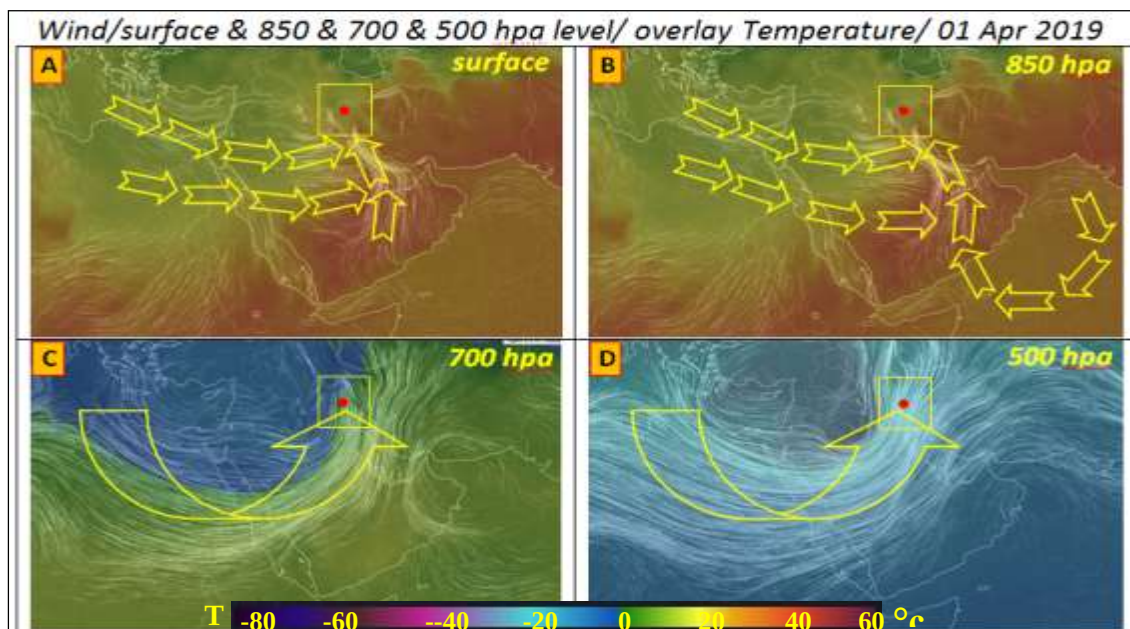
شکل ۳- نقشه دمای تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ - دما بر حسب کلوین

۴-۲- نقشه‌های برهم نهی باد و فراسنج‌های هواشناسی (مدل GFS)

نقشه‌های پرونداد مدل GFS (همپوشانی متغیر باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی) به‌خوبی تبیین‌کننده سازوکار دینامیکی لازم در شکل‌گیری سامانه بارشی مدنظر است. در این نقشه‌ها فشردگی خطوط جریان هوا و جهت جریان در تراز میانی جو بیانگر وجود رودباد جبهه قطبی تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد (شکل ۴). بدین مفهوم که در روز ۱ ام آوریل، خطوط جریان پیوسته در تراز میانی جو، جریان شدید شرق‌سوی هوا را به سمت منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این روز، سرعت باد در جریان مرکزی رودباد به بیش از ۴۵ متر بر ثانیه رسیده است (شکل D: ۴). در ترازهای سطح دریا و سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز همگرایی جهت جریان‌های باد به سمت منطقه مورد مطالعه کاملاً مشخص و به‌خوبی نشان‌دهنده انتقال رطوبت از کانون‌های رطوبتی دریای سرخ، اقیانوس هند و دریای مدیترانه با تمرکزگرایی و شدت بالا به سمت منطقه مورد مطالعه بوده است (شکل A, B: ۴). در سطوح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز جهت جریان باد ضمن تبعیت از تراز میانی جو از اثرگذاری بیشتری بر نیمه غربی ایران برخوردار است (شکل C: ۴). بیشترین سرعت باد به‌ترتیب در ترازهای دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برابر با ۱۵، ۲۰، ۸۰ و ۱۵۱ کیلومتر بر ساعت بوده است. همچنین جهت باد در ترازهای مذکور به ترتیب ۱۱۵، ۱۳۵، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه است. (جدول ۲). نقشه‌های دما نیز کاهش دما را از سطح زمین تا تراز میانی جو در راستای قائم نشان می‌دهد به‌طوری‌که دما در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد $10/2^{\circ}\text{C}$ ، و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب 7°C ، $7/5^{\circ}\text{C}$ و $26/3^{\circ}\text{C}$ ثبت شده است (شکل ۵ و جدول ۲).

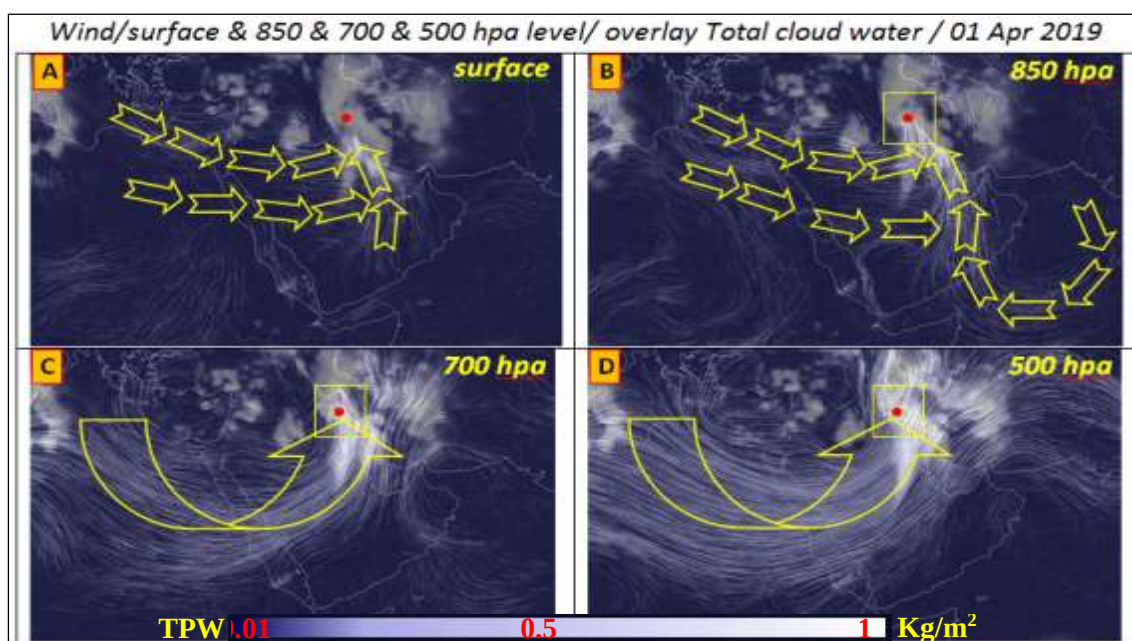


شکل ۴- نقشه‌های جهت و سرعت جریان باد ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

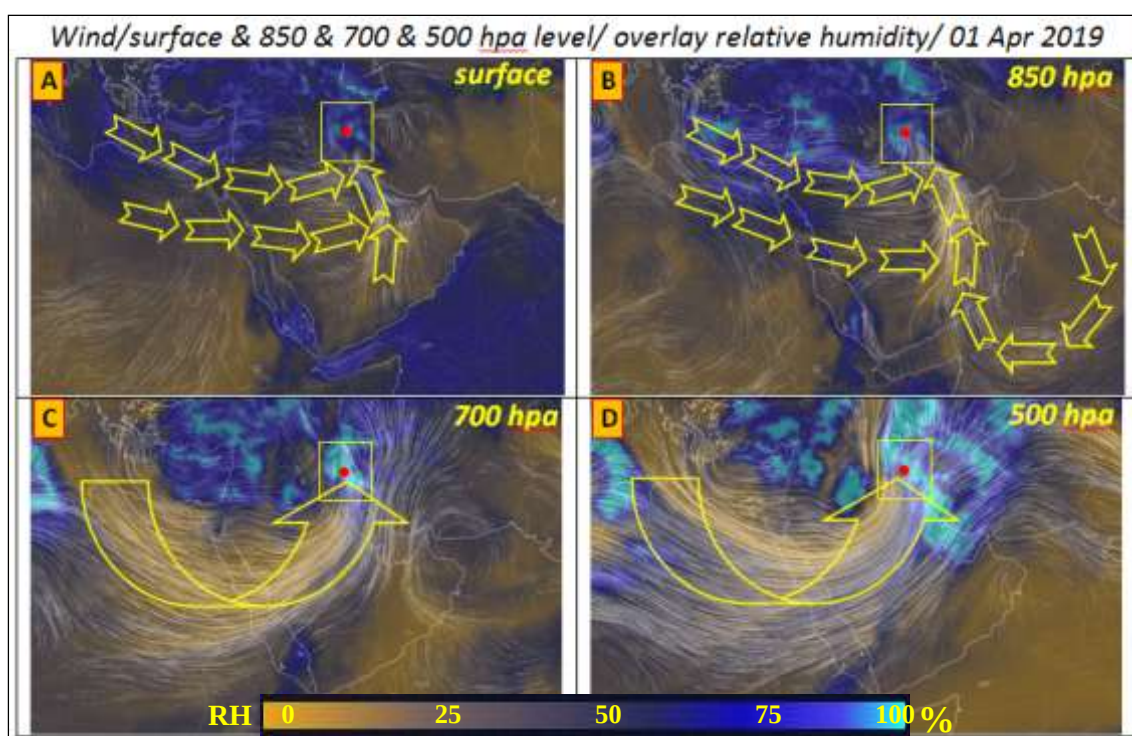


شکل ۵- نقشه‌های برهم‌نهی باد و دمای ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

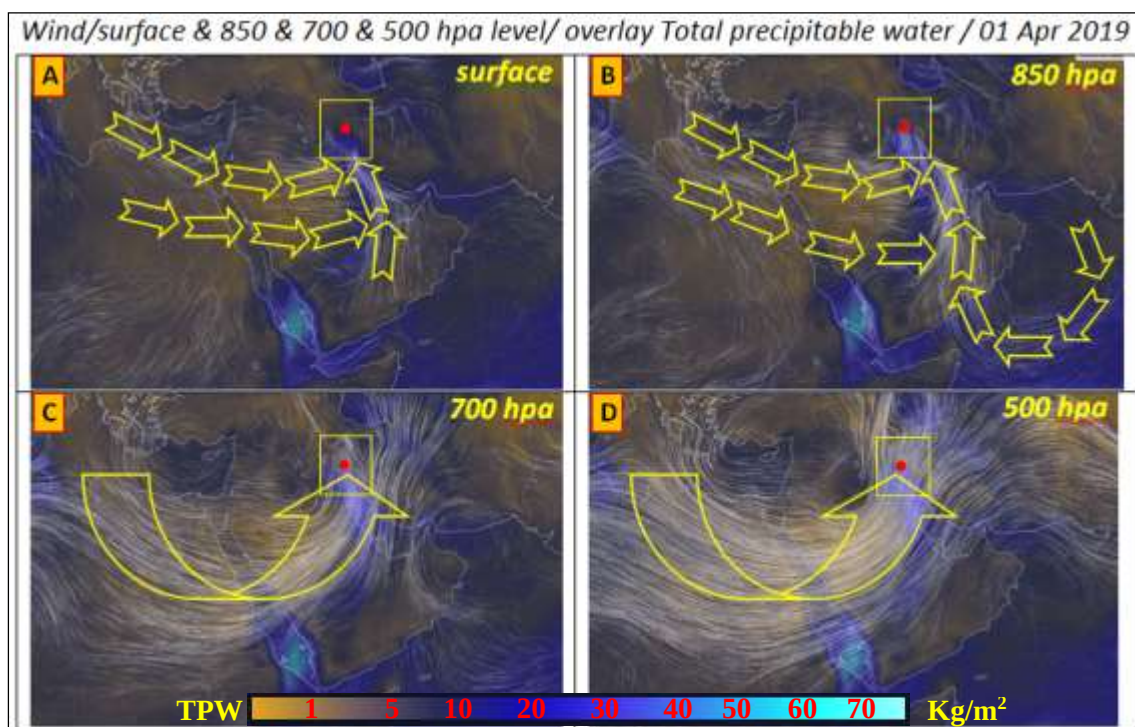
از جهتی دیگر بالابودن میزان رطوبت نسبی در روز اوج بارش از سطح زمین تا تراز میانی جو بیانگر مهیایی میزان رطوبت برای رخداد بارش سنگین بوده است؛ به‌طوری‌که در این روز میزان رطوبت نسبی در سطح ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۹۳٪ و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ۹۶٪، ۹۸٪ و ۹۹٪ می‌باشد (شکل ۶ و جدول ۲). همچنین بالابودن میزان رطوبت توده‌ی هوای منجر به بارش سنگین به‌روشنی از طریق میزان آب موجود در ابر قابل توجیه است؛ به‌طوری‌که میزان بخار آب موجود در ابرهای مستقر بر فراز منطقه حدود 0.676 kg/m^2 بوده است (شکل ۷ و جدول ۲). بالا بودن میزان رطوبت (آب قابل بارش به $21/22 \text{ kg/m}^2$) منجر به حجم بالایی از بارش شد. بنابراین الگوهای شار افقی بخصوص در ترازهای سطحی و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان دادند که جریان‌های ناقل رطوبت پس از دور شدن از جنوب شرق دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای عرب به تدریج با نزدیک شدن به خلیج فارس همگرا شده و در امتداد سلسله جبال زاگرس از سمت جنوب غرب به منطقه مورد مطالعه وارد شدند. از سویی دیگر ریزش هوای سرد ناشی از عمیق شدن تراف بادهای غربی، ناپایداری و صعود شدید هوای ناشی از الگوهای بریده کم‌فشار و رودباد جبهه‌قطبی منجر به افزایش رطوبت نسبی و رشد سریع ابرهای کومه‌ای کومولونیموس گردید (شکل ۸ و جداول ۱ و ۲). همچنین در الگوی فشار تراز دریا، همان‌طور که در شکل شماره (شکل A: ۹) مشخص است، در روز ۱ ام آوریل، استقرار رودباد تراز میانی جو به همراه سردچال جوی مجاور آن بر روی نواحی غربی منطقه مورد مطالعه، سبب تشکیل مرکز کم‌فشار در این مناطق شده است. تعامل این الگوها شرایط ایده‌آلی را برای ناپایداری هوای لایه مرزی و صعود رطوبت به درون ترازهای فوقانی جو فراهم نموده است. چنین شرایطی سازوکار دینامیکی و رطوبتی لازم را برای شکل‌گیری یک سامانه بارشی سیل‌زا با میزان بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر در سه ساعت را در منطقه مورد مطالعه مهیا نموده است (شکل B: ۹).



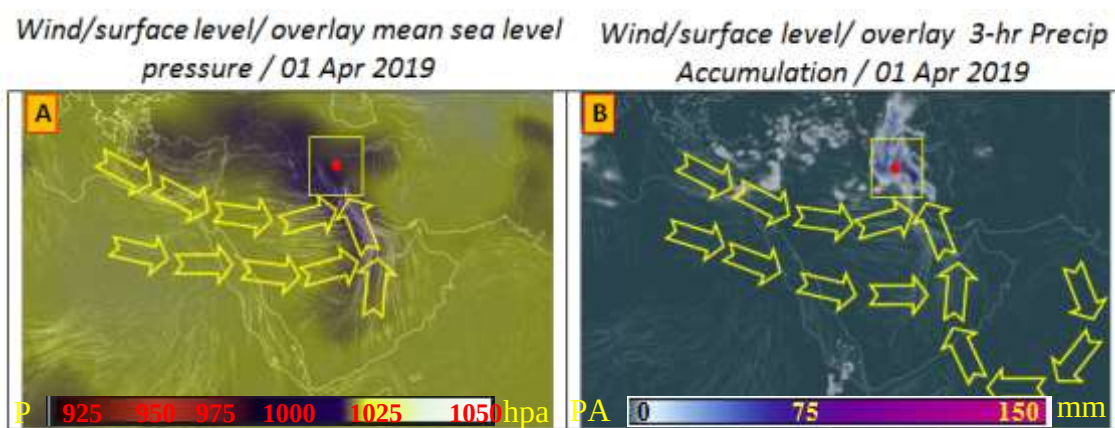
شکل ۶- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت ابر ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۷- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت نسبی ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۸- نقشه‌های برهم نهی باد و آب قابل بارش ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۹- نقشه‌های برهم نهی باد و فشار سطح دریا (A) و بارش تجمعی سه ساعته (B) در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

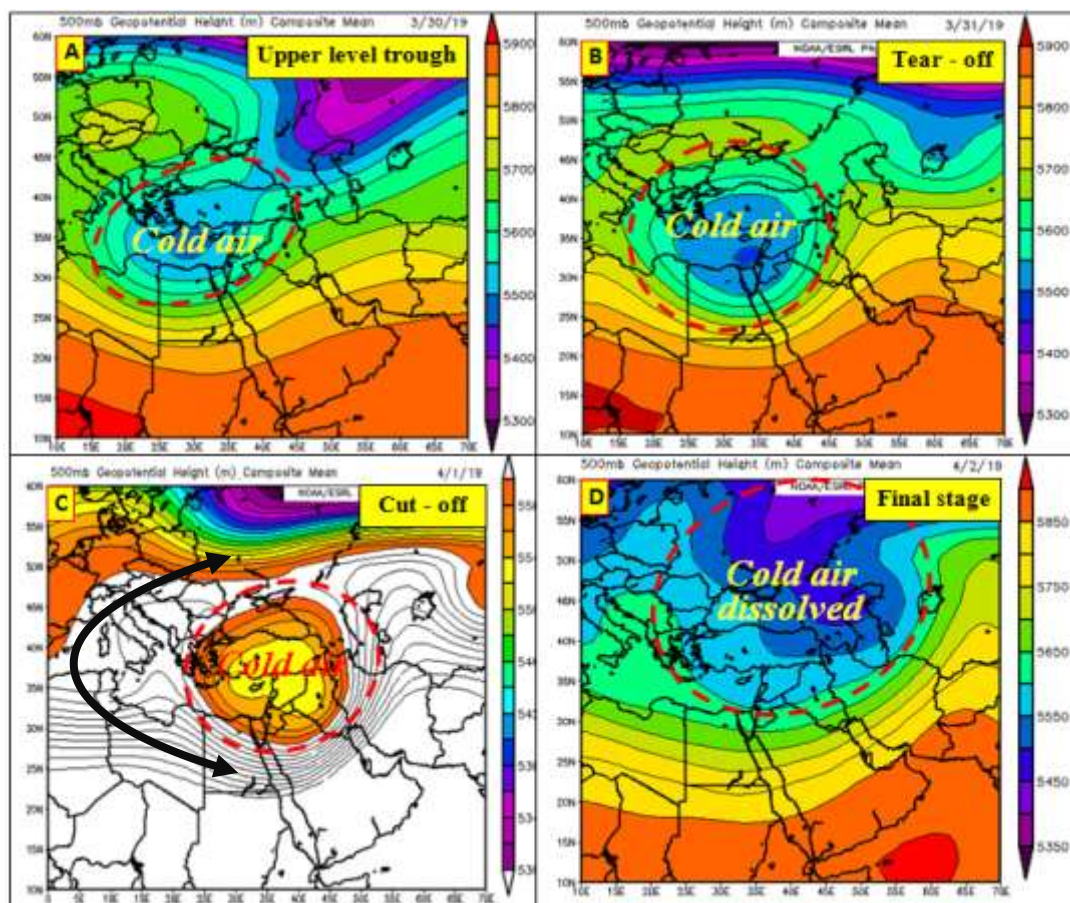
جدول ۲- مقادیر فراسنج‌های مورد مطالعه در ترازهای مختلف جوی (برونداد مدل GFS - 01 apr 2019)

Available↓	Level →	Surface Level	850 hpa	700 hpa	500 hpa
Wind Speed (km/h)		15	20	84	151
Wind Direction (°)		115°	135°	175°	200°
Temperature (°C)		10.2 °C	7 °C	-7.5 °C	-26.3 °C
Relative Humidity (%)		93%	96%	98%	99%
Total Cloud Water or TCI (kg /m ²)		0.676	0.676	0.676	0.676
Total Precipitable Water or TPW (kg/m ²)		22.218	22.218	22.218	22.218
3 – hr Precip Accumulation		64 mm			
Sea Level Pressure		1000 hpa			

۴-۳- الگوی بریده کم فشار (COL)

شکل‌های شماره (A, B, C, D : ۱۰) الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روزهای ۳۰ ام مارس تا ۲ آوریل ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲ روز قبل از روز اوج بارش (۳۰ مارس) در منطقه مورد مطالعه، هسته اولیه یک سامانه بریده کم فشار با چندین پربند بسته و مرکزیت یک پربند بسته به ارتفاع ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر و با اختلاف ۳۰۰ متر با بیرونی‌ترین منحنی هم ارتفاع آن، بر روی جنوب دریای مدیترانه و شمال دریای سرخ در حال شکل‌گیری است (شکل A : ۱۰). این استخر پر از هوای سرد با حرکتی بسیار آرام در حال پیشروی به سمت شرق است. به‌طوری که مرکزیت آن در روز ۳۱ ام با کمی جابجایی بر جنوب شرق دریای مدیترانه، شمال دریای سرخ و بخشی از سرزمین سوریه مستقر شده است (شکل B : ۱۰). در این روز بریده کم فشار به بلوغ کامل رسیده و تعداد پربندهای بسته درون آن تقویت شده است. اختلاف ارتفاع قابل ملاحظه میان پربند مرکزی سردچال با بیرونی‌ترین منحنی آن سبب ایجاد شیب شدید و ناپایداری قابل ملاحظه‌ای شده که فشردگی منحنی‌های هم ارتفاع بیانگر شیب حرارتی زیاد و بالا بودن سرعت باد می‌باشد. «بریده کم فشار» در روز اوج بارش در استان لرستان (۱ آوریل) با کمی جابجایی به سمت شرق، بخش شرقی آن بر روی منطقه مورد مطالعه گسترده شده است. در این روز جنوب غرب ایران و بخصوص منطقه مورد مطالعه در زیر بخش شرقی «بریده کم فشار» (ناپایدارترین قسمت آن) قرار دارد (شکل C : ۱۰). ناپایداری و صعود شدید هوا در زیر بخش شرقی سامانه و تزریق رطوبت ناشی از وزش رطوبتی جریان‌های همگرای باد از کانون‌های رطوبتی شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و دریای مدیترانه به سمت منطقه مورد مطالعه و وجود مانعی به نام رشته کوه‌های زاگرس که صعود این رطوبت را تسریع می‌بخشد، منجر به شکل‌گیری ابرهای جوششی کومولونیمبوس و توفان تندری بر فراز منطقه مورد مطالعه شده است (جدول ۱ و اشکال ۶ تا ۸). شرایط سینوپتیکی سطح متوسط دریا نیز در روزهای حاکمیت این الگو، حکایت از یک سیستم چرخندی قوی متأثر از سامانه‌های همیدی تراز میانی جو (بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی) دارد که با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی نواحی غربی همجوار با منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. همراهی

سامانه کم‌فشار سطح زمین با الگوهای همدیدی تراز بالا منجر به شکل‌گیری بارش سنگین در جنوب‌غرب ایران (به‌خصوص استان لرستان) شده است (شکل ۵ و ۶). در نقشه روز ۲ ام آوریل الگوی بریده کم‌فشار نسبت به روزهای قبل بسیار تضعیف شده به‌طوری‌که با ادغام هوای سرد درون کم‌فشار با هوای گرم پیرامونی خود محو شده و منجر به توقف نسبی بارش در این روز شده است (شکل D: ۱۰).



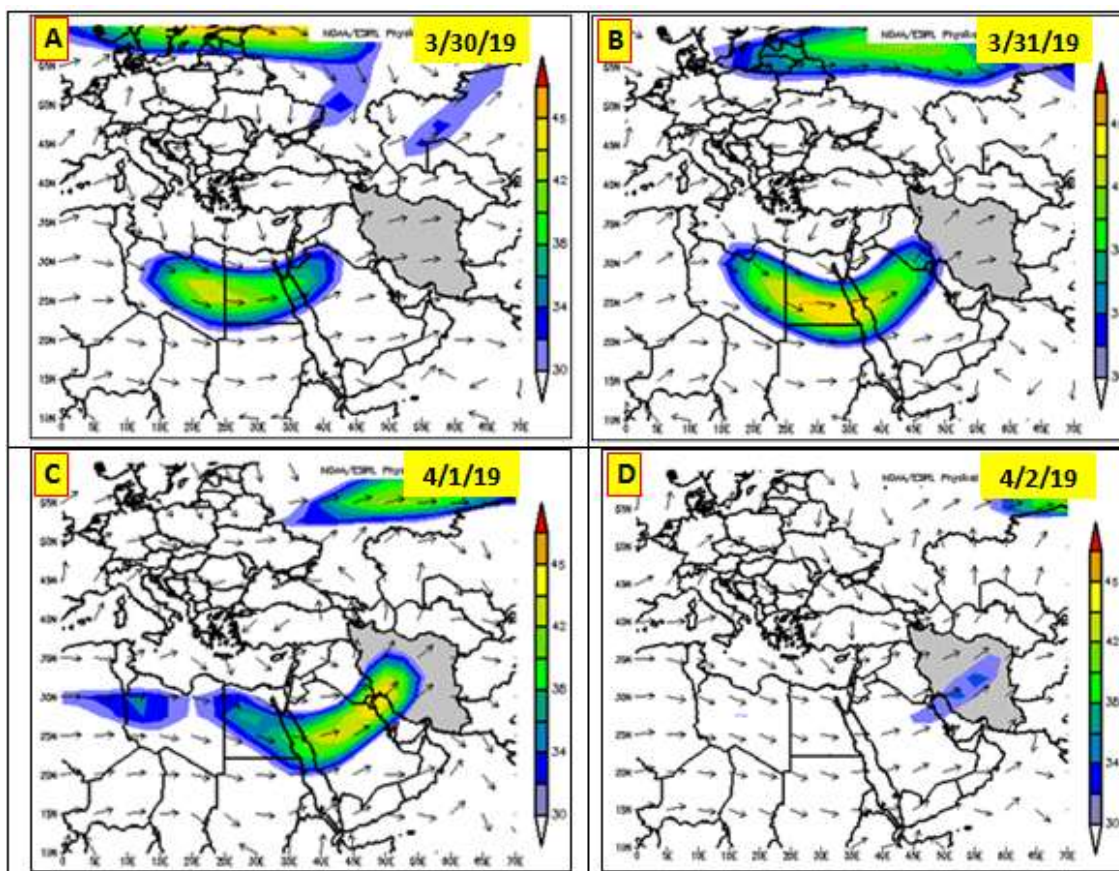
شکل ۱۰- مراحل شکل‌گیری بریده کم‌فشار مؤثر بر وقوع بارش سنگین در استان لرستان

۴-۴- الگوی رودباد جبهه قطبی (PFJ)

شکل شماره ۱۱ آرایش توپوگرافی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل و موقعیت رودباد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای ۳۰ ام مارس تا ۲ ام آوریل ۲۰۱۹ م را نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها در روز ۳۰ ام مارس (۲ روز قبل از روز اوج بارش) دوشاخه شدن^۱ بادهای غربی به دو شاخه شمالی و جنوبی کاملاً مشهود بوده و الگوی رودباد جبهه قطبی در

1 Bifurcate

درون تراف شاخه جنوبی بادهای غربی و در جنوب بریده کم فشار که شرح آن در بالا آمده است، در حال تشکیل است. دوشاخه شدن جریان شرق سوی بادهای غربی و شکل گیری جریان جت در جنوب بریده کم فشار توانسته است با وقوع بارش سنگین و رخداد سیل در استان لرستان مرتبط باشد. انطباق فشردگی منحنی های هم ارتفاع با خطوط هم سرعت باد در هسته رودباد، بیانگر تضاد حرارتی شدید در تراز مذکور می باشد که خود می تواند به تشدید هرچه بیشتر ناپایداری و صعود هوای زیرین خود منجر شود. سرعت بالای باد در تراف واقع در شاخه جنوبی بادهای غربی منجر به تشکیل رودباد جبهه قطبی گردیده، به نحوی که سرعت باد در حاشیه رودباد 30 m/s و در هسته آن از 40 m/s فراتر رفته است. رودباد مورد نظر که به صورت نواری با بیشینه سرعت دیده می شود تا مسافت های طولانی از شمال صحرای آفریقا تا جنوب غرب عراق کشیده شده است. در روز ۳۱ ام مارس، سرعت جریان باد با افزایش به سمت هسته رودباد به 45 m/s رسیده و با حرکتی شرق سوی در حال وزش به سمت جنوب غرب ایران (استان لرستان) می باشد. در این روز، تداوم شدت جریان باد توسط رودباد جبهه قطبی مهیا بوده و همچنان شرایط برای ایجاد جوی ناپایدار و صعود هوای تراز زیرین جو و انتقال رطوبت به جنوب غرب ایران فراهم می باشد (اشکال A, B: ۱۱). در روز اوج بارش (۱ آوریل ۲۰۱۹) با استقرار رودباد جبهه قطبی بر روی جنوب غرب ایران و ناپایداری حاصل از جریان شدید آن در ترازهای میانی جو، سازوکار لازم برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای تراز زیرین جو فراهم شده است. منطقه ناپایدار ناشی از الگوهای مذکور تا سطح زمین امتداد یافته و اثر شدیدی بر هوای سطح زمین داشته است. این تأثیر به طور عمده منجر به تشکیل سیکلون و نیز ایجاد ناپایداری در جو زیرین خود شده است. مهبیایی چنین شرایطی در کنار همراهی سردچال جوی مستقر در شمال رودباد مذکور، شرایط جوی را برای ریزش بارش سنگین از طریق کمک به سرعت صعود توده هوای زیرین خود فراهم نموده است (C, D: ۱۱). از آنجا که توده هوای در حال صعود به خوبی از رطوبت کانون های رطوبتی متعددی از قبیل شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای مدیترانه بارور شده بود، پتانسیل لازم را برای ایجاد رخداد بارش سنگین داشته است. بنابراین، تأثیرات اقلیمی الگوهای بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش های سنگین، از طریق تعامل و هم افزایی در بروز حرکات عمودی هوا صورت می گیرد. در نتیجه این که صعود شدید هوای مرطوب ناشی از همگرایی الگوهای همدیدی مذکور و همچنین فراهم بودن شرایط محیطی، زمینه ساز رخداد بارش سنگین منجر به سیل در ۱۰ ام تا ۱۲ ام فروردین در استان لرستان شده است.



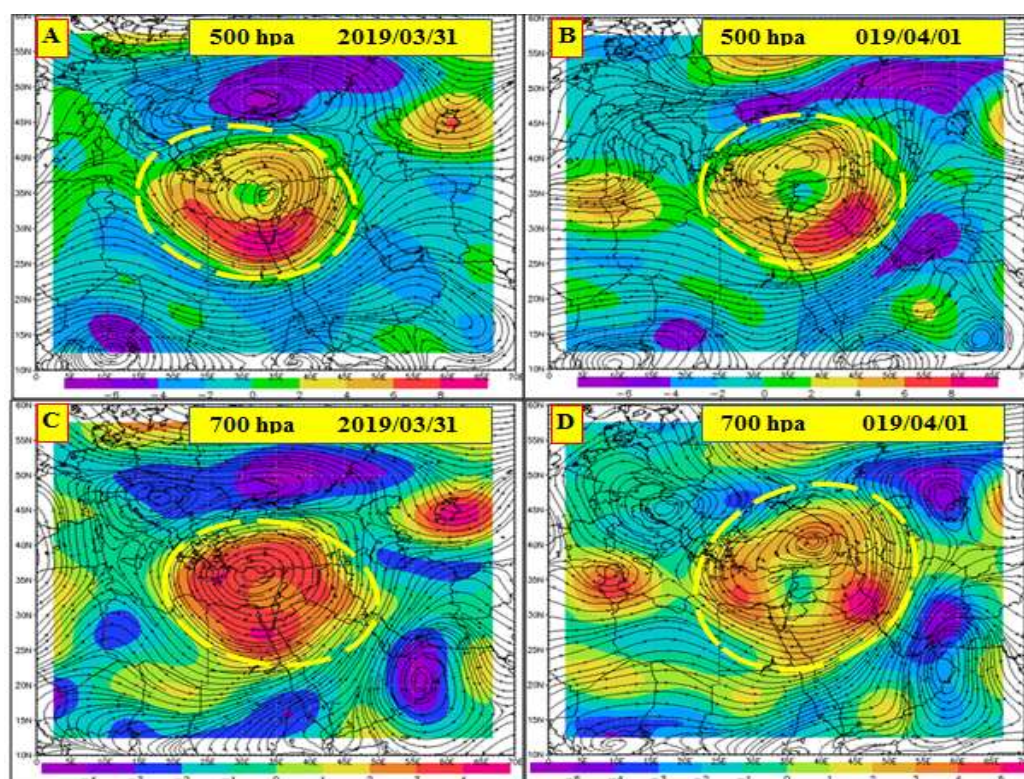
شکل ۱۱- آرایش توپوگرافی، بارزسازی و موقعیت رودباد تراز میانی جو (۳۱ مارس تا ۲ آوریل)

۴-۵- الگوی مکانی تاوایی^۱

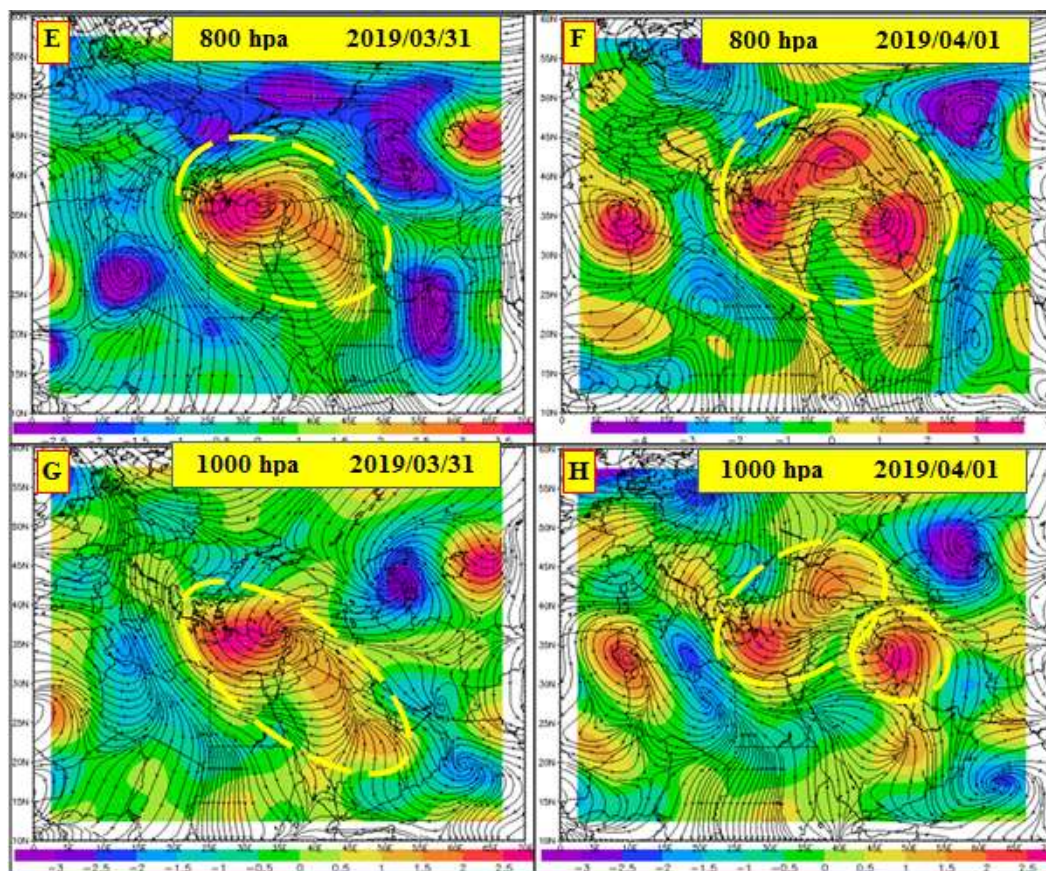
الگوهای تاوایی و جریان باد توأم با رویداد بارشی مورد مطالعه در ترازهای چهارگانه (۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا) در شکل شماره ۱۲ ترسیم شده است. بررسی نقشه‌های تاوایی نسبی در تراز میانی جو و ترازهای زیرین مورد مطالعه، گویای آن است که موقعیت قرارگیری الگوی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی و مقادیر کمیت تاوایی نسبی به خوبی با هم منطبق می‌باشند. به گونه‌ای که مقادیر بیشینه تاوایی نسبی ترازهای میانی با بخش‌های شرقی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی کاملاً انطباق دارند. مقادیر کمیت تاوایی در بخش‌های مذکور قابل توجه بوده و بیشترین مقدار را در روز اوج بارش (۱ ام آوریل ۲۰۱۹) به خود اختصاص داده است (شکل B ۱۲). بر اساس نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۳۱ ام مارس، یک سامانه چرخندی مثبت (سیکلونی) منطبق با محل استقرار بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی مجاور آن، با مکان‌گزینی هسته مرکزی خود در مختصات جغرافیایی

¹ Vorticity

$35^{\circ}N$ $30^{\circ}E$ کاملاً مشهود است (A: ۱۲). از جمله اثرات بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی، ایجاد تاوایی و بروز جریانات (عمدتاً مرطوب) عمودی حاصل از انبساط توده هوا در تراز بالا در زیر هسته چرخندی خود می باشد. این جریانات توأم با بارش های سنگین در منطقه مورد مطالعه بوده است. روز اوج بارش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، همچنان سامانه چرخندی با حرکتی شرق سوی در راستای الگوهای مذکور به سمت شرق حرکت نموده و مرکزیت آن در مختصات $40^{\circ}E$ $32^{\circ}N$ به نحوی مکان گزینی نموده است که همچنان شرایط مطلوبی برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای مرطوب منشأ یافته از کانون های رطوبتی (دریای عرب، دریای سرخ، دریای مدیترانه و خلیج فارس) و انتقال آن به ایران فراهم می باشد (شکل A, B: ۱۲). الگوهای تاوایی ترازهای ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا نیز علاوه بر پیوستگی و انطباق شرایط ناپایدار آن ها با تراز میانی جو، به خوبی بیانگر شرایط مطلوب برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای ناشی از سامانه های چرخندی شکل گرفته در مجاورت سطح زمین و انتقال رطوبت از کانون های رطوبتی فوق الذکر به منطقه مورد مطالعه می باشد. به طوری که در الگوهای تاوایی روز ۱۱م آوریل ۲۰۱۹، گستره وسیعی از نواحی همجوار با جنوب غرب ایران از سطح زمین تا تراز میانی جو در سیطره منطقه تمرکز تاوایی مثبت قرار گرفته و جریان پادساعتگرد هوای مرطوب وابسته به سامانه چرخندی مذکور، زمینه ساز شکل گیری سامانه بارشی سیل زا در جنوب غرب ایران شده است (شکل C, D, E, F, G, H: ۱۲).



شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان



ادامه شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان

۵- جمع بندی

بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی در ردیف پدیده‌های مهم و بنیادی هواشناسی قرار می‌گیرند که عموماً در عرض‌های میانی، در اثر گردش نصف‌النهاری جریان بادهای غربی به وجود می‌آیند (سعیدآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). رودبادها نیز در اغلب نقشه‌های هوا به صورت هسته‌هایی کاملاً منفرد بوده که پتانسیل بسیار بالایی در ایجاد ناپایداری و صعود هوای زیرین خود دارند (رئیس پور و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین در صورتی که الگوهای مذکور در تراز میانی جو، در مجاورت هم شکل بگیرند، همراهی و تعامل آن‌ها نقش فزاینده‌ای در شکل‌گیری جو ناپایدار و صعود هوای زیرین آن‌ها دارد. موقعیت جغرافیایی کشور ایران به گونه‌ای می‌باشد که بخصوص در دوره سرد سال، مدتی در عرصه فعالیت بریده‌های کم‌فشار و رودبادهای جبهه قطبی واقع شده و این دو الگو بر قسمتی از آن مسلط می‌شوند. بنابراین، حاکمیت چنین شرایطی پتانسیل‌های لازم را برای ایجاد ناپایداری‌های شدید و رخداد بارش‌های سنگین در نواحی تحت تأثیر آن‌ها دارا می‌باشد. نتایج حاصل از واکاوی همدیدی — دینامیکی سامانه بارشی سیل‌زای فروردین ۱۳۹۸

(۳۰ ام مارس تا ۱ ام آوریل ۲۰۱۹) در استان لرستان که با استفاده از متغیرهای متعدد همدیدی، دینامیکی، مشاهداتی و ماهواره‌ای انجام گرفت، نشان داد که بارش‌های موردبررسی به الگوهای همدیدی تراز میانی جو و وقوع حرکات صعودی فرارفتی در ترازهای زیرین بستگی دارد. در بارش مذکور، شکل‌گیری یک سامانه بریده کم‌فشار، روند معمول جریان بادهای غربی را دچار اختلال نموده و سبب دوشاخه شدن جریان بادهای غربی به دو شاخه شمالی و جنوبی شده است. در نتیجه بارش غالب را از حالت مداری به نصف‌النهاری تبدیل نموده و شاخه جنوبی بادهای غربی را به سمت عرض‌های جغرافیایی پایین سوق داده است. افزایش سرعت باد در شاخه جنوبی جریان بادهای غربی منجر به تشکیل رودباد جبهه‌قطبی شده است. کشیده شدن شاخه جنوبی جریان‌ات غربی (جریان جت جنوبی) به سمت عرض‌های جغرافیایی جنوب‌حاره‌ای امکان کسب هرچه بیشتر رطوبت را از سطح آب‌های گرم عرض‌های پایین (جنوب شرق مدیترانه، دریای سرخ، دریای عرب و خلیج فارس) مهیا نموده است. از سویی دیگر تداوم چند روزه سامانه بندالی به‌عنوان مانعی در مسیر جریان بادهای غربی، ضمن کند نمودن جریان، سبب تقویت و تداوم جریان جت شاخه جنوبی شده است. در چنین شرایطی، آمیختگی منطقه ناپایدار ناشی از جریان جت جنوبی با منطقه ناپایدار بخش شرقی بریده کم‌فشار، پتانسیل بسیار بالایی در ناپایدار نمودن و صعود هوای مرطوب زیرین منشأ یافته از کانون‌های شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و مدیترانه داشته است. به‌عبارتی دیگر الگوهای مذکور پتانسیل بالقوه همدیدی-دینامیکی لازم و کافی را برای رخداد بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه مهیا نموده است. از سوی دیگر قرارگیری استان لرستان در مسیر ورود توده‌های متعدد باران‌زای غربی و برخورداری از بارش‌های مداوم ناشی از این توده‌ها در اغلب ایام دوره سردسال (اشباع بودن منطقه)، کوهستانی بودن منطقه و ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق فشرده و همگرا، نفوذپذیری بسیار کم منطقه به دلیل ساختار خاص خود، شکل‌گیری سریع رواناب‌های سطحی و پتانسیل سیل‌خیزی استان لرستان را مضاعف نموده است.

کتابنامه

- امیدوار، کمال؛ ۱۳۸۶. بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۹. صص ۸۱-۹۸. <https://www.sid.ir/paper/5402/fa>
- امیدوار، کمال؛ ۱۳۹۲. واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ناشی از پدیده سردچال جوی در نواحی مرکزی و جنوب‌غرب ایران. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۵. صص ۱-۱۹.
- https://geoeh.um.ac.ir/article_26160.html
- براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ صابر، قربان؛ ۱۳۹۳. شار رطوبت سنگین‌ترین بارندگی زمستانی در ایران مرکزی. پژوهش‌های دانش زمین. ۵. صص ۶۰-۷۰. https://esrj.sbu.ac.ir/article_95343.html

پرنده خوزانی، اکرم؛ لشکری، حسن؛ ۱۳۹۰. بررسی سینوپتیکی بارش‌های سنگین در جنوب ایران (مطالعه موردی بارش ۳۱ دسامبر ۱۹۸۴ لغایت ۴ ژانویه ۱۹۸۵ حوضه آبریز رودخانه دالکی). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

۲۲ (۴۱). صص ۱۲۳ - ۱۳۶. https://gep.ui.ac.ir/article_18489.html

حسینجانی، لیل؛ ۱۳۸۳. شناسایی تیپ‌های هوای مؤثر بر بارش سواحل جنوبی خزر، استاد راهنما: دکتر بهلول - علیجانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت‌معلم. گروه اقلیم و برنامه‌ریزی محیطی.

<https://elmnet.ir/article/10503981-96552>

خوشحال دستجردی، جواد؛ ۱۳۷۶. تحلیل و ارائه مدل سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما: دکتر هوشنگ قائمی، پایان‌نامه دکتري. دانشگاه تربیت مدرس.

دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیا. <https://elmnet.ir/article/2096737-6182>

رئیس پور، کوهزاد؛ خسروی، محمود؛ طاووسی، تقی؛ شریفی کیا، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی نقش سیستم‌های بریده کم‌فشار در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.

کرمان. <https://civilica.com/doc/209194>

زند، مهران؛ سماعی، رنگینه؛ ۱۳۹۶. بررسی مقدار و شدت بارش‌های مولد سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد. مجله نیواز.

۴۱ (۹۶)، صص ۸-۱. https://nivar.irimo.ir/article_44813.html

سعیدآبادی، رشید؛ آب خرابات، شعیب؛ نجفی، محمد سعید؛ ۱۳۹۴. موقعیت رودباد جبهه‌قطبی در ارتباط با بارش‌های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران. مجله محیط‌شناسی. ۴۱ (۴)، صص ۷۸۳-۷۹۸.

https://jes.ut.ac.ir/article_57132.html

شادمانی، ناهید؛ نصرافهانی، محمدعلی؛ قاسمی، احمدرضا؛ ۱۳۹۷. تشخیص منابع تأمین رطوبت و مسیر دقیق حرکت توده‌های هوای مرطوب مؤثر بر بارش‌های سیل‌آسا در غرب و جنوب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۲ (۲).

صص ۵۰ - ۶۳. https://www.ijgeophysics.ir/article_63596.html

عزیزی، قاسم؛ نیری، معصومه؛ رستمی، شیما؛ ۱۳۸۸. تحلیل هم‌دید بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی بارش ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵). فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۱ (۴)، صص ۱ - ۱۳.

<https://www.sid.ir/paper/185039/fa>

عساکره، حسین؛ رزمی، رباب؛ ۱۳۹۰. اقلیم‌شناسی بارش شمال‌غرب ایران. جغرافیا و توسعه. ۲۵. صص ۱۳۷ - ۱۵۸.

https://gdij.usb.ac.ir/article_514.html

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۵. اقلیم‌شناسی سینوپتیک. انتشارات سمت.

علیجانی، بهلول؛ خسروی، محمود؛ اسمعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۹. تحلیل هم‌دید بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۱ (۳)، صص ۲ - ۱۷.

<https://www.sid.ir/paper/213093/fa>

فرچ‌زاده، منوچهر؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ؛ مباحثی، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران. مجله مدرس علوم انسانی. ۱۳ (۱)، صص ۱۹۳ - ۲۱۷.

<https://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-7869-fa.html>

فرجی سبکبار، حسنعلی؛ حسن پور، سیروس؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۳. مقایسه کارآیی مدل‌های MCDM در مکان‌یابی بخش سیلاب در محیط GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۴۹. صص ۱۶۷ - ۱۹۰.

<https://www.sid.ir/paper/203626/fa>

قشقایی، قاسم؛ ۱۳۷۵. بررسی اثر فرابار سیبری بر بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما دکتر بهلول علیجانی. استاد مشاور دکتر زهرا حجازی زاده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم. گروه جغرافیا. <https://elmnet.ir/Article/10764754-71771>

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندر روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. مجله فضای جغرافیایی اهر. ۱۱(۳۴). صص ۱۸۲ - ۲۰۸.

<https://www.sid.ir/paper/91677/fa>

کریمپور، مصطفی؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی؛ ۱۳۹۲. بررسی الگوهای همبستگی بارش‌های سیل‌زا در استان لرستان. فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۳(۴۳). صص ۹۹ - ۱۱۳.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-660-fa.html>

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همبستگی بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. مجله چشم‌انداز جغرافیایی. ۴(۱۰). صص ۷۲ - ۹۶. https://jshsp.rasht.iau.ir/article_523233.html

محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۸. تحلیل همبستگی بارش‌های ابر سنگین ایران. استاد راهنما. دکتر سید ابوالفضل مسعودیان و دکتر محمدرضا کاویانی. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه اصفهان. دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیا.

محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ شمسی پور، علی اکبر؛ اکبری، مه‌ری؛ ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی در رخداد بارش سنگین در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۲(۲۴). صص ۷ - ۲۴.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-15&sid=1&slc_lang=fa

مرادی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۳. نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم و فنون دریایی ایران. ۳(۲). صص ۶۹ - ۸۷. <https://www.sid.ir/paper/74728/fa>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۵. اقلیم‌شناسی همبستگی و کاربرد آن در مطالعات محیطی. اصفهان. انتشارات دانشگاه اصفهان.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. شناسایی شرایط همبستگی همراه با بارش‌های ابر سنگین ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع ایران. ۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۷۸. دانشگاه تبریز. <https://civilica.com/doc/50023>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان. مصطفی‌زاده، رئوف؛ صفریان زنگیر، وحید؛ حاجی، خدیجه؛ ۱۳۹۷. تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در استان اردبیل. مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۱۵. صص ۸۹-۱۰۶.

https://jneh.usb.ac.ir/article_3205.html

مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد؛ شفیعی شهاب؛ ۱۳۹۶. واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه. ۱۵(۴۶). صص ۱۶۹-۱۸۴. https://gdij.usb.ac.ir/article_3063.html

- مفاخری، امید؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مهری؛ ۱۳۹۶. مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲۳. صص ۱۴۳-۱۶۲. https://geoeh.um.ac.ir/article_31596.html
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ ۱۳۸۴. بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۷۷. صص ۵۸ - ۷۷.
- <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1021385.html>
- ملکی، احمد؛ حسادی، همایون؛ پیروزی نژاد، نوشین؛ ۱۳۹۲. برآورد مقادیر سیلاب و ارائه مدل سیل خیزی در حوضه آبخیز رازآور. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۴۶. صص ۱۹۷ - ۲۱۳.
- https://journals.tabrizu.ac.ir/?_action=articleInfo&article=810&vol=1
- نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی؛ مهدی نسب، مهدی؛ ۱۳۹۰. بررسی شدت سیل خیزی حوضه آبریز رودخانه کشکان لرستان، یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/336446>
- نوری، حمید؛ غبور، حسنعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ آزادی، مجید؛ ۱۳۹۱. بررسی ابرهای مولد بارش‌های فوق سنگین و سنگین سواحل جنوبی خزر. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳(۴۷). صص ۶۴ - ۷۸.
- https://gep.ui.ac.ir/article_18551.html
- Ahammed, F., Hewa, G.A., Argue, J.R., 2014. Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh, Journal of Atmospheric Research. 137.176-182. [https:// doi.org/ 10.1016/ j.atmosres.2013.10.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.013)
- Cavalcanti, I.F.A., 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century, Journal of Atmospheric Research. 52. 27- 40. [https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2012 .06. 012](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.012)
- Chen Chen, C., Lang Lin, Y., Ning, N., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the post-Mei-Yu period, Journal of Atmospheric Research. 101. 595 - 610. [https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2011. 04. 004](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.004)
- Flynn, W. J., Nesbitt, S.W., Anders, A.M., Garg, P., 2019. Mesoscale precipitation characteristics near the Western Ghats during the Indian Summer Monsoon as simulated by a high-resolution 431 regional model. Journal of Meteorology. 143. 3070 - 3084. [https:// doi.org/ 10.1002/qj.3163](https://doi.org/10.1002/qj.3163)
- Froude, M.J., Petley, D.N., 2018. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016, Journal of Natural Hazards Earth System Science.18. 2161-2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Hand, W., Fox, N., Collier, C., 2004. A study of twentieth-century extreme rainfall events in the United Kingdom with implications for forecasting, Journal of Meteorology Applied. 11. 15-31. <https://doi.org/10.1017/S1350482703001117>
- Hellstrom, C., 2005. Atmospheric conditions during extreme and non-extreme precipitation events in Sweden, Int. Journal of Climatology. 25. 631-648. <https://doi.org/10.1002/joc.1119>
- Krishna, K., 2008. Study of the Intensity of Super Cyclonic Storm GONU Using Satellite Observations, Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 112. 108-113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.11.001>

- Kuldeep, S., Sushant, K., Raghavendra, A., Seanmilton., Ekkattil, N., 2019. Evaluation of Unified Model Rainfall Forecasts over the Western Ghats and North East states of India, *Journal of Geoscience*. 65. 1-34. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-65>
- Lana, A., Campins, J., Genovés, A., Jans, A., 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, *Journal of Advances in Geosciences*. 12. 27-32. <https://doi.org/10.5194/adgeo-12-27-2007>
- Lang, S., Zeng, X., Shige, S., Takayabu, Y., 2009. relating convective and strati form rain to latent heating, *Journal of Climate*. 247. 1847-1893. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3278.1>
- Lasat, M., Mart, F., Barrera. A., 2007. From the concept of "Kaltlufttropfen" cold air pool to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as example of their role in heavy rainfalls, *Journal of Meteorology Atmosphric Physics*. 96. 43-60. <https://doi.org/10.1007/s00703-006-0220-9>
- Lenderink, G., Meijgaard, E., Selten, F., 2009. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006, from the perspective of a change climate, *Journal of Climate Dynamic*. 32. 19-33. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0366-x>
- Liu, W., Zhang, M., Wang, S., Wang, B., Li, F., Che, Y., 2013. Changes in recipitation extremes over Shaanxi Province, northwestern China, during 1960–2011, *Journal of Quaternary International*. 313. 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.06.033>
- Mannan, M.A., Chowdhury, M.A.M., Karmakar, S., 2013. Application of NWP model in prediction of heavy rainfall in Bangladesh, *Journal of Procedia Engineering*. 56. 667-675. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.176>
- Mohapatra, M., Mohanty, U., 2005. Some characteristics of very heavy rainfall over Orissa during Summer monsoon season, *Journal of Earth System Science*. 1141. 17-36. <https://doi.org/10.1007/BF02702006>
- Muller, M., 2009. Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002, *Journal of Natural Hazards and earth system Sciences*. 9. 441-450. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-441-2009>
- Persson, P., Neiman, P., Walter, B., Bao, J.W., Ralph, F.M., 2005. Contributions from California coastal-zone surface fluxes to heavy coastal precipitation: a CALJET Case Study during the strong El Niño of 1998. *Journal of Monthly Weather Review*. 133. 1175-1198. <https://doi.org/10.1175/MWR2910.1>
- Robert, P., Donald, J., Goseph, R., 1998. investigation of upper – air conditions occurring with heavey summer rain in Utah, *Journal of International climatology*, 187, 701-723. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980615\)18:7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980615)18:7)
- Rudari, R., Entekhabi, D., Roth, G., 2004, Large- scale atmospheric patterns associated with mesoscale features leading to extreme precipitation events in Northwestern Italy, *Journal of Advances in Water Resources*. 28. 601-614. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.10.017>
- Schuenemann, K.C., Cassano, J.J., Finnis, J., 2009. Synoptic forcing of precipitation over Greenland: Climatology for 1961-99, *Journal of Hydrometeorology*. 101. 60-78. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JHM1014.1>
- Sen Roy, S., 2008. A special analysis of extreme hourly precipitation patterns in India, *Journal of Climatology*. 293. 345 - 355. <https://doi.org/10.1002/joc.1763>
- Sharma, K., Ashrit, R., Bhatla, R., Mitra, A.K., Iyengar, G.R., Rajagopal, E.N., 2017. Skill of Predicting Heavy Rainfall Over India: Improvement in Recent Years Using UKMO Global Model. *Journal of Applayed geophysics*. 174. 4241- 4250. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1640-9>

- Sioutas, M.V., Flocas, H.A., 2003. Hailstorms in northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment, *Journal of Theoretical Climatology*. 75.189-202.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-003-0734-8>
- Tripoli, G.J., Leung, W.Y., Mugnai, A., Smith, E.A., 2008. Impact of above-normal Mediterranean SSTs on heavy rain events, 10th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Plinius Conference Abstracts. Vol. 10. 108-123. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/2871/2013/
- Webster, P., Holland, G., Curry, J., Chang H.R., 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Journal of Science*. 309. 1844-1853.
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1116448>



Synoptic Aspects of Widespread Snowstorm with Dangerous Blizzard Conditions in the Territory of Iran (February 3-9, 1972)

 Mahdi Sedaghat^{a*}, Hamid Nazaripour^b, Alireza Sadeghinia^c

^a Department of Geography, Payam-e Noor University (PNU), Tehran, Iran

^b Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

^c Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran

Received: 2 October 2021

Revised: 18 January 2022

Accepted: 2 February 2022

Abstract

Blizzards are severe forms of snowstorms that occur in the middle and upper latitudes of the northern hemisphere in winters. The devastating disaster of a snowstorm with dangerous blizzard conditions on February 3 to 9, 1972, resulting in more than 4,000 dead people in Iran, is one of the most destructive snowstorms in the world. This study investigated different aspects of the synoptic scale at the time of occurrence of this phenomenon, using the reanalysis data of NCEP/NCAR and ECMWF databases. The variables used are geopotential height, sea level pressure, air temperature, specific humidity, relative humidity, and zonal and meridional velocity of wind. In addition, the parameters of omega, relative vorticity, and zonal jet index were calculated to explain the performance of the atmospheric system. The results show the dominance of atmospheric block (Rex) system in two separate phases from 3 to 6 February and from 7 to 9 February. The role of the arctic polar vortex in injecting cold air into low latitudes and a noticeable decrease in temperature before a snowstorm and blizzard in saturating the atmosphere and providing the moisture needed for snowfall is quite evident. The zonal index of Jetstream showed the significant jump of the core of subtropical jet stream at the time of the occurrence of this devastating phenomenon.

Keywords: Snowstorm, Blizzard, Rex Block, Zonal Jet Index, Arctic Polar Vortex

*. Corresponding author: Mahdi Sedaghat E-mail: sedaghat.me@pnu.ac.ir Tel: +989127015548

How to cite this Article: Sedaghat, M., Nazaripour, H., & Sadeghinia, A. (2022). Synoptic and dynamic aspects of widespread snowstorm with dangerous blizzard conditions in the territory of Iran (February 3-9, 1972). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 251-267.

DOI:10.22067/geoeh.2022.72822.1116



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.72822.1116> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۶۷-۲۵۱

مقاله پژوهشی

جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک طوفان برف با کولاک گسترده در ایران-۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰

 مهدی صداقت^۱-استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

حمید نظری‌پور- استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

علیرضا صادقی‌نیا- استادیار گروه آموزشی جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

چکیده

کولاک، شکل شدید طوفان‌های برفی است که در عرض‌های میانی و بالای نیمکره شمالی در فصل زمستان رخ می‌دهد. فاجعه ویرانگر کولاک برف ۱۴ تا ۲۰ بهمن سال ۱۳۵۰ (۳ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲)، با بیش از ۴۰۰۰ کشته در ایران به عنوان سهمگین‌ترین بوران دنیا یکی از آن موارد است. در این بررسی، جنبه‌های هم‌دید و دینامیک جو در زمان رخداد این پدیده با بهره‌گیری از داده‌های باز تحلیل شده پایگاه NCEP/NCAR و ECMWF بررسی شده است. متغیرهای مورد استفاده شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، دمای هوا، نم و یخ، نم نسبی و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد می‌باشند. مازاد بر آن، پارامترهای شاخص اُمگا، تاوایی نسبی و شاخص مداری رودباد، جهت تبیین عملکرد سامانه جو محاسبه شده‌اند. یافته‌ها بیانگر حاکمیت الگوی جوی بلاکینک از نوع رکس در دو فاز جداگانه از ۳ تا ۶ فوریه و از ۷ تا ۹ فوریه بوده است. تاوه قطبی در تزریق هوای سرد به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و کاهش محسوس دما پیش از رخداد طوفان برف و کولاک کاملاً تأثیرگذار بوده است. بنابراین، اشباع اتمسفر و تأمین رطوبت مورد نیاز

Email: sedaghat.me@pnu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۰۱۵۵۴۸

نحوه ارجاع به مقاله:

صداقت، مهدی؛ نظری‌پور، حمید؛ صادقی‌نیا، علیرضا (۱۴۰۱). جنبه‌های سینوپتیک و دینامیک طوفان برف با کولاک گسترده در

ایران-۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱ (۲)، صص ۲۶۷-۲۵۱.

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.72822.1116>

بارش برف از طریق سرمایش رخ داده است. شاخص مداری رودباد بیانگر حرکت معنی‌دار هسته رودباد جنب‌حاره‌ای در زمان رخداد این پدیده فرین جوی است.

کلیدواژه‌ها: طوفان برف، کولاک، بلاکینگ رکس، شاخص مداری رودباد، تاوه قطبی.

۱- مقدمه

برف و یخ همراه با طوفان باد از جمله مهم‌ترین مخاطرات هواشناسی در فصل زمستان می‌باشند. در واقع بارش برف سنگین پتانسیل قابل توجهی از خسارت به ویژه برای زیرساخت‌های حمل‌ونقل را دارد. در مناطق کوهستانی، بهمن ناشی از انباشت برف یک خطر بالقوه به شمار می‌رود. علاوه بر این، تجمع برف مرطوب بر روی خطوط انتقال برق، باعث خسارت و خرابی به منابع تغذیه گردیده و جریان انتقال برق را مختل می‌کند. همچنین، بارش برف سنگین و ذوب شدن آن می‌تواند سیلاب‌های بزرگی را ایجاد کند. با این وجود، بارش و انباشت برف در حوضه‌های سرآب کوهستانی منبع آب حیاتی به ویژه برای محیط‌های نیمه‌خشک به شمار می‌رود. همچنین بارش برف امکان توسعه فعالیت‌های اقتصادی مربوط به توریسم (گردشگری) زمستانی را در مناطق کوهستانی فراهم می‌کند. هنوز هم تعیین (شناسایی) و اندازه‌گیری برف از مشکلات بسیار سخت در هیدرومتئورولوژی مدرن به شمار می‌رود. تعیین مرز سودمندی و ناسودمندی پدیده‌های جوی از جمله بارش برف بسیار پیچیده است. عوامل بسیار متعددی در این میان تعیین‌کننده هستند. به‌طور کلی، شرایط محیطی، امکانات و سطح آمادگی سه معیار مهم تعیین درجه خطر بارش برف تلقی می‌شوند. در نبود و ضعف این شرایط، بارش‌های برف به رویدادی مخاطره‌آمیز و مصیبت‌زا تبدیل می‌شوند. بزرگی و عظمت رویدادها که از آن‌ها به عنوان «رویدادهای فرین» نام برده می‌شود در ایجاد خسارت بسیار تأثیرگذار است. کولاک ناشی از طوفان‌های برف نمونه‌ای از این رویدادهای فرین به شمار می‌آید که از مخرب‌ترین فاجعه‌های طبیعی محسوب می‌شود (لیو و همکاران^۱، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران^۲، ۲۰۱۴). کولاک، به انتقال برف توسط نیروی باد گفته می‌شود که علاوه بر اینکه یکنواختی پوشش برف را مختل و مانع از عملکرد همه اشکال حمل‌ونقل، تخریب خطوط ارتباطی و انتقال برق گردیده و شرایط اضطراری را ایجاد می‌کند. علاوه بر آن، کولاک، اغلب باعث تلفات جانی نیز می‌گردد. آستانه شدت عواملی که باعث ایجاد طوفان برفی می‌شوند هنوز به خوبی شناخته نشده است (لیو و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از نادرترین این رویدادها به استناد گزارش‌های تاریخی، در سرزمین ایران اتفاق افتاده است. عنوان شده است که کولاک ناشی از طوفان برف در میانه بهمن ۱۳۵۰، بعد از یک دوره خشکسالی طولانی مدت، بخش وسیعی از کشور ایران را در برف و یخبندان فرو برده که سرانجام منجر به مرگ بیش از ۴۰۰۰ نفر شده است. برخی، این

1 Liu et al

2 Wang et al

رویداد را به عنوان سخت‌ترین و مصیبت‌بارترین بوران در تاریخ نوشته‌شده بشر می‌دانند. این رویداد با دوره‌ای از سرمای خیلی شدید و یخبندان گسترده از ۱۴ بهمن ۱۳۵۰ با بارش سنگین برف در نیمه شمالی آغاز و به تدریج به سمت شرق و نواحی جنوبی گسترش یافته است. بر طبق گزارش‌های غیر رسمی در بعضی شهرها بارش برف تا ۳۶ ساعت تداوم یافته و در تمامی مناطق روستایی شمال غرب تا مرکز ایران ارتفاع برف به ۱۲ متر رسیده است. همچنین اُفت دما به حدی بوده که دمای فیروزکوه به منفی ۳۶ و دما در خراسان نیز به منفی ۳۷ درجه رسیده است. بنا به گزارش روزنامه‌ها، سه‌شنبه ۱۹ بهمن ماه ۱۳۵۰ وضع کشور به شکل کاملاً بحرانی درآمده و در بسیاری از شهرها وضع فوق‌العاده اعلام شده است.^۱ در گزارش سایت بلایای ویرانگر بیان شده است که تقریباً همه خشکی‌های ایران (۱/۶۳۷/۰۰۰ کیلومترمربع) در زیر پوششی از برف ناپدید شده‌اند.^۲

بنا به اظهار برخی محققان، در جریان رخداد این کولاک، نزدیک به ۲۰۰ روستا به طور کامل از روی نقشه ناپدید شده‌اند. طبق گزارش روزنامه‌ها، مصیبت‌بارترین حوادث شامل؛ مدفون شدن ۱۲ روستا در منطقه سمیرم، مرگ بیش از هزار نفر در ارتفاعات گیلان، مدفون شدن یک قطار بزرگ با تمام سرنشینان است.^۳ بر اساس گزارش روزنامه اطلاعات، شهر اردکان واقع در استان یزد و روستاهای اطراف آن از جمله مناطقی بوده‌اند که تأثیرات زیادی را بر اثر بوران متحمل شده‌اند. همچنین در روستاهای کاکان یاسوج و کمهر سپیدان فارس هیچ فردی زنده باقی نمانده است. در شمال غرب نیز، در نزدیکی مرز ایران و ترکیه، روستای شکلاب به همراه صد نفری که در آن ساکن بودند در زیر انبوه برف دفن شده‌اند.^۴ با اتمام بوران شدید برف در ۲۴ بهمن ماه ۱۳۵۰، شیوع بیماری‌های چون آنفولانزا و سرماخوردگی‌های شدید سبب افزایش تلفات انسانی گردیده است.

پیشینه مطالعاتی مخاطره‌های مرتبط با برف بر خلاف سایر مخاطرات طبیعی از جمله باران سنگین، سیلاب، گرد و غبار، یخبندان، موج گرما و سرما بسیار اندک است. این اندک پژوهش‌ها عمدتاً در مقیاس محلی و به ندرت منطقه‌ای انجام گرفته است. به عنوان نمونه، عوامل دینامیکی و همدیدی مؤثر در رخداد بارش سنگین برف ۲۷ و ۲۸ ژانویه ۲۰۱۸، استان تهران توسط **قصابی و همکاران (۱۳۹۹)** بررسی شده است. نتایج این بررسی، گسترش زبانه پرفشار سبیری تا فلات ایران در تقابل با سامانه کم‌فشار مدیترانه و زبانه کم‌فشار سودانی در نیمه جنوبی و مرکز ایران را عامل گرایان دمای شدید و بارش برف سنگین معرفی کرده است. در مطالعه‌ای دیگر، تحلیل همدید-ماهواره‌ای دو مخاطره برف سنگین در استان کرمان در ژانویه سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ توسط **رضایی و همکاران (۱۳۹۹)** انجام شده است. در این بررسی، مدت ماندگاری و مساحت پوشش برف از تصاویر سنجنده مادیس استخراج و نتایج تحلیل‌های همدید نیز نفوذ پرفشار سبیری را عامل اصلی رخداد معرفی نموده است. **مرادی و رنجبر سعادت‌آباد**

1 <https://www.nytimes.com/1972/02/11/archives/missing-put-at-6000-in-iranian-blizzard.html>

2 <https://devastatingdisasters.com/iran-blizzard-1972/>

3 <https://www.mentalfloss.com/article/29930/40-years-ago-iran-was-hit-deadliest-blizzard-history>

4 <https://www.asriran.com/fa/news/517848/>

(۱۳۹۹) به‌طور تطبیقی دو رویداد سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان که به فاصله یک ماه در زمستان سال ۱۳۹۸ اتفاق افتاد را به لحاظ همدید مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این بررسی نشان داده است که علی‌رغم تفاوت‌های ظاهری، این دو رویداد از نظر مکانیسم تشکیل و تقویت مشابه بوده‌اند و علت تفاوت در خروجی بارش این دو سامانه به تشکیل سامانه اول در شرق دریای سرخ و فرارفت هوای گرم و مرطوب دریای عرب و عمان و سامانه دوم در شمال شرق مدیترانه و فرارفت هوای سرد دریای خزر مربوط بوده است. **شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۹)** الگوبندی و تحلیل همدید رخداد کولاک برف‌های شدید شمال‌غرب ایران را مطالعه نموده‌اند. روش نام‌بردگان برای شناسایی کولاک‌های شدید برف، کدهای هواشناسی مرتبط با کولاک شدید برف (۳۷ و ۳۹) از ۱۱ ایستگاه هواشناسی شمال‌غرب ایران بوده است. نتایج این پژوهش نشان داده است که عامل ارتفاع بیشترین تأثیر را بر شدت، فراوانی و تفاوت‌های مکانی رخداد کولاک برف دارد. الگوهای همدید رخداد کولاک نیز شامل ۵ الگوی تشکیل مرکز کم‌ارتفاع بریده، عبور ناوه بلند از ایران، ناوه عمیق شرق مدیترانه، سامانه بندالی نوع رکس و امگا بوده‌اند. الگوهای همدید و کمیت‌های پویایی و گرمایی مؤثر در رخداد کولاک فراگیر برف در شمال‌غرب ایران توسط **خوشحال‌دستجردی و کامیار (۱۳۹۶)** بررسی شده است. در بررسی نام‌بردگان، کولاک فراگیر در شمال‌غرب ایران به عنوان روزی لحاظ شده است که حداقل ۵۰ درصد ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه، کدهای هواشناسی ۳۶ تا ۳۹ را ثبت کرده باشند. نتایج این بررسی برای ۱۱ مورد کولاک فراگیر، دو الگوی همدید شامل شیو فشار بین پرفشار شمال اروپا و کم‌فشار مدیترانه در تراز زیرین و گسترش ناوه شمال روسیه در تراز بالا را نشان داده است. ناهنجاری‌های همدیدی مؤثر بر رخداد بارش برف ژانویه ۲۰۱۴ در استان فارس توسط **نارنگی فرد و مزیدی (۱۳۹۶)** بررسی شده است. یافته‌های این بررسی نشان داد که توده هوای پرفشار سیبری نقش اصلی را به‌عنوان الگوی غالب توده هوای سطح زمین بر عهده داشته است. در تراز میانی جو نیز عمیق شدن ناوه مستقر بر روی منطقه همزمان با استقرار یک پشته ارتفاعی در مرکز اروپا باعث ریزش هوای سرد توسط زبانه خاوری این پشته روی منطقه گردیده است. **خالدی و همکاران (۱۳۹۶)** به بررسی همدیدی برف سنگین منطقه جلگه گیلان در ۱۰ تا ۱۴ بهمن ۱۳۹۲ پرداخته و تأثیر آن را بر مدیریت بحران موردسنجش قرار داده‌اند. نتایج این بررسی نشان داده است که مهم‌ترین عامل گردشی جو در زمان رخداد برف سنگین، مرکز فشارقوی بخش‌های شمالی اروپا بوده است. همچنین نقش واداشت‌های منطقه‌ای، در شکل‌گیری الگوی مکانی مخاطره برف سنگین بهمن ۱۳۹۲ در جلگه گیلان توسط **غفاریان و همکاران (۱۳۹۵)** مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داده است که واداشت ترمودینامیکی مستقر در شرق گیلان، مؤید تأثیر عوامل منطقه‌ای چون توده هوای پرفشار قطبی شمال شرق دریای خزر بر الگوی مکانی ارتفاع برف است. بررسی اثر بلاکینگ‌ها بر رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران توسط **درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۲)** نشان داده است که از بین الگوهای مؤثر بر بارش برف، تنها الگوی بلاکینگ امگا با تراف سمت راست منجر به بارش

برف مداوم و سنگین در ایران شده و ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا سبب تقویت این سامانه‌ها گردیده است. طوفان برف رشت نیز که در سال ۲۰۰۵ به تخریب بیش از ۵۰ هزار واحد مسکونی، تجاری، صنعتی، اداری و آموزشی و صدها کیلومتر شبکه برق منجر گردید، توسط **فهیمی نژاد و همکاران (۱۳۹۱)** مورد بررسی قرار گرفته است. الگوی غالب گردشی جو در زمان رخداد این طوفان برف، پرفشار ترکیبی (تلفیق زبانه پرفشار بالکان و پرفشار سبیری) قلمداد شده است. در این بررسی، بارش برفی که ارتفاع آب معادل آن برابر ۷۳ میلی متر باشد، به عنوان آستانه برف سنگین در منطقه مورد مطالعه تعیین شده است. **امینی نیا و همکاران (۲۰۱۰)** شرایط همدید تعداد ۶۶ مورد برف سنگین در شمال غرب ایران را بررسی و شش الگوی همدید مقیاس را شناسایی نموده‌اند. با رویکردهای مشابه، الگوهای گردشی بارش برف سنگین در غرب ایران توسط **فتحی و شیراوند (۱۳۹۳)** و همچنین **شکیبا و همکاران (۱۳۹۴)** مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعات، بارش ۱۵ سانتی متر ضخامت برف در روز به عنوان معیار برف سنگین تعیین و پرفشار سبیری به عنوان الگوی غالب گردشی جو در تداوم و تقویت بارش برف سنگین معرفی گردیده است. الگوهای جوی و شرایط دینامیکی رویدادهای برف سنگین جاده‌های کوهستانی زاگرس مرکزی توسط **دوستان و همکاران (۱۳۹۵)** و همچنین شرایط همدید- دینامیکی بارش برف در استان یزد توسط **امیدوار (۱۳۹۵)** مطالعه گردیده است.

از نمونه مطالعات بین‌المللی، **لیو و همکاران (۲۰۲۱)** شرایط ترمودینامیکی و دینامیکی یک رویداد منطقه‌ای بارش برف سنگین بر روی فلات تبت را با استفاده از داده‌های باز تحلیل شده بررسی نموده‌اند. نتایج این بررسی نشان داده است که یک سردچال، ناوه نفوذی جنوبی و یک خط برشی نصف‌النهاری سیستم‌های همدید، دلایل شکل‌گیری پدیده بارش برف سنگین در فلات تبت می‌باشند. از آنجاکه در دهه‌های اخیر، کاهش بارش برف ناشی از اثرات گرمایش جهانی (در میان سایر علل) در بسیاری از مناطق سیاره زمین مشهود بوده است؛ **مرینو و همکاران (۲۰۱۴)** با تجزیه و تحلیل تغییرات در الگوهای سینوپتیک مقیاس، علل هواشناسی کاهش بارش برف در شبه جزیره ایبری را بررسی نموده‌اند. **بائو و یو^۲ (۲۰۱۹)** چگونگی اثرگذاری جریان‌ات جت غربی بر عمق برف در روی فلات تبت را بررسی نموده‌اند. تغییرات مشاهده شده در عمق و تعداد روزهای برف در قسمت‌های شرقی و مرکزی فلات تبت توسط **یو و همکاران^۳ (۲۰۱۱)** مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، هم‌پیوندی نوسان شمالگان و عمق برف پاییزی- زمستانی بر روی فلات تبت توسط **لو و همکاران^۴ (۲۰۰۸)** بررسی شده است. تغییرپذیری سالانه عمق برف بر روی فلات تبت و ناهنجاری‌های گردش جو مرتبط با آن نیز توسط **جیانگ‌یو^۵ (۲۰۱۰)** مورد بررسی قرار گرفته

1 Merino et al

2 Bao & You

3 You et al

4 Lü et al

5 Jiang-Yu

است. **کوی و کیاو**^۱ (۲۰۱۶) سرما و بارش شدید برف آمریکای شمالی در ژانویه ۲۰۱۵ را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند.

مقایسه مطالعات خارجی و داخلی مرتبط با رویدادهای بارش برف سنگین، طوفان برفی و کولاک بیانگر تفاوت‌های آشکار در داده‌ها، روش‌شناسی و دیدگاه‌ها می‌باشد. تمرکز مطالعات داخلی عمدتاً به الگوبندی شرایط جوی مرتبط با رویدادهای برف معطوف بوده و شرایط دینامیکی و ترمودینامیکی اغلب نادیده انگاشته شده است. از سوی دیگر، الگوی غالب جوی مرتبط با رویدادهای برف سنگین در ایران عمدتاً پرفشار سیبری معرفی شده است. در اندک مطالعات به بررسی اثر بلاکینگ‌ها در رخداد بارش برف سنگین و مداوم پرداخته شده است. از سوی دیگر، به تغییرات جریان‌ات جت به عنوان عاملی مهم در رخداد بارش برف پرداخته نشده است. بنابراین، بررسی حاضر در راستای افزایش دانسته‌ها درباره مکانیسم‌های جوی مرتبط با گسترده‌ترین و سنگین‌ترین بارش برف و کولاک در ایران انجام گرفته است. رویداد مصیبت‌باری که با بیش از ۴۰۰۰ تلفات انسانی، نام ایران را به عنوان محل سهمگین‌ترین بوران دنیا در کتاب گینس ثبت نموده است (**سینگ**^۲، ۲۰۰۸ و **پوراسلو**^۳، ۲۰۱۷). به علت نبود داده‌ها و اطلاعات هواشناسی ایستگاهی این رویداد تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این پژوهش، شامل گستره سرزمین ایران می‌باشد که با مساحتی بالغ بر ۱/۶۴۸ میلیون کیلومتر مربع در جنوب‌غربی خاورمیانه و در حد فاصل تقریبی ۴۵ تا ۶۴ درجه طول شرقی و ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی واقع شده است. به دلیل دامنه وسیع عرض جغرافیایی و تنوع توپوگرافی، کشور ایران دارای اقلیم متنوعی می‌باشد. به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، مقدار بارش سالانه آن اندک (حدود ۲۵۰ میلی‌متر) بوده و سرزمینی خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود. با این وجود از ضریب تغییرات زمانی و مکانی بالای بارش برخوردار است. به گونه‌ای که دامنه مقدار بارش دریافتی در پربارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین نقاط آن بین کمتر از ۵۰ و بیشتر از ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. رژیم غالب بارش آن، زمستانه بوده و در صد عمده‌ای از بارش آن متأثر از بادهای غربی و توده‌های مدیترانه‌ای می‌باشد. هرچند شکل غالب بارش، عمدتاً باران (مایع) می‌باشد؛ اما اشکال جامد بارش (به مانند برف) نیز عمدتاً در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالا نمود پیدا می‌کند. پدیده‌های فرین اقلیمی مانند خشکسالی، سیلاب و برف از مهم‌ترین نمودهای اقلیم پیچیده این سرزمین می‌باشند. بر اساس گزارش‌های تاریخی، یکی از گسترده‌ترین و

1 Cui & Qiao

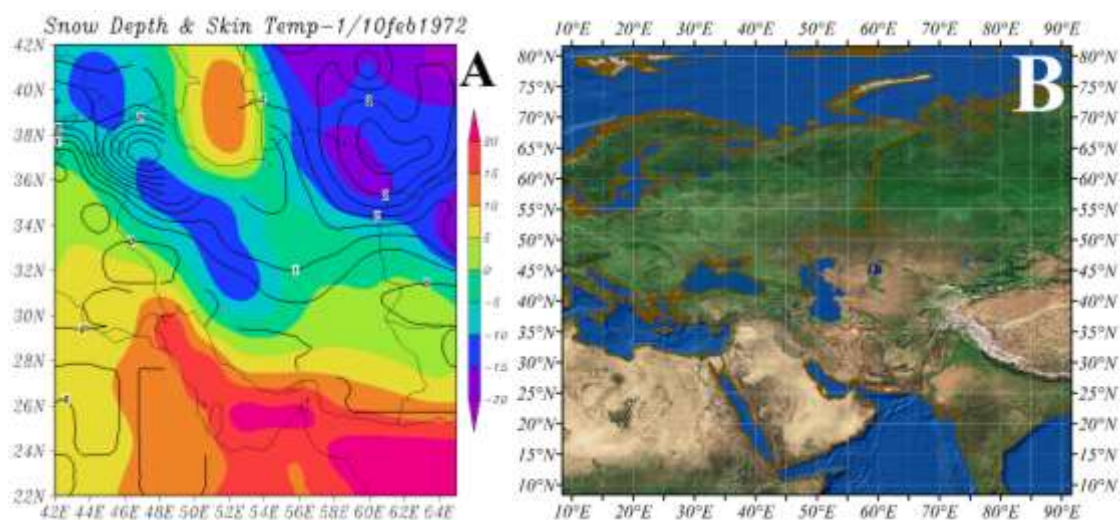
2 Singh

3 Purslow

سنگین‌ترین رویدادهای برف همراه با کولاک در بهمن ۱۳۵۰ در گستره ایران رخ داده است که این پژوهش در پی شناخت و معرفی مکانیسم هواشناختی این رویداد می‌باشد.

۲-۲- روش انجام پژوهش

انتخاب رویداد، بر اساس گزارش‌های تاریخی صورت گرفته است. برای نمایش ساز و کارهای جوی مقیاس همدید و منطقه‌ای از داده‌های باز تحلیل شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش جوی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه (کالنی و همکاران^۱، ۱۹۹۶) و برای تبیین ساز و کار محلی در مقیاس میانی از داده‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) با توان تفکیک $0/125 \times 0/125$ درجه (دی و همکاران^۲، ۲۰۱۱) به صورت ۴ بار در روز در چارچوب ۱۰ تا ۹۰ درجه طول جغرافیایی و ۱۰ تا ۸۰ درجه عرض جغرافیایی استفاده شده است (شکل ۱). متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، دمای هوا، نم و یخ، نم نسبی و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد می‌باشند. همچنین از پارامترهای شاخص اُمگا، تاوایی نسبی و شاخص جابه‌جایی رودباد (JMI)^۳، جهت تبیین ساز و کارهای دینامیکی جو در رخداد پدیده طوفان برف و کولاک استفاده گردید. نقشه ترکیبی عمق برف و میانگین دمای هوا در دوره رخداد کولاک بهمن ۱۳۵۰ (مصادف با ۱ تا ۱۰ فوریه ۱۹۷۲) بر اساس داده‌های باز تحلیل شده NCEP/NCAR مطابق با شکل (۱-چپ) بازسازی شده است.



شکل ۱- عمق برف و میانگین دمای محسوس طی روزهای ۱ تا ۱۰ فوریه ۱۹۷۲ (A) و محدوده مورد مطالعه (B)

- 1 Kalnay et al
- 2 Dee et al
- 3 Jet Movement Index

۲-۲-۱- اُمگا

معادله اُمگا (رابطه ۱) یک معادله تشخیصی است که سرعت حرکت عمودی (قائم) جو در مقیاس سینوپتیک را توصیف و بر اساس تئوری شبه ژئوستروفیک در مختصات فشار ($\omega = Dp/Dt$) محاسبه می‌شود. مقادیر منفی سرعت قائم دلالت بر صعود هوا (سرعت قائم بالاسو) و مقادیر مثبت نشان‌دهنده نزولی بودن جریان هوا (سرعت قائم پایین‌سو) است.

$$\sigma \nabla_H^2 \omega + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = f \frac{\partial}{\partial p} \left[V_g \cdot \partial (f + \zeta_g) \right] - \nabla_H^2 \left(u_g \cdot \nabla_H \frac{\partial \phi}{\partial p} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا، f نیروی کوریولیس، σ پایداری استاتیک، V_g بردار سرعت ژئوستروفیک، ζ_g چرخندگی نسبی ژئوستروفیک، ϕ ژئوپتانسیل، ∇_H^2 عملگر لاپلاسین افقی و ∇_H عملگر دل می‌باشند (هولتون^۱، ۱۹۹۲).

۲-۲-۲- وزش رطوبت

وزش رطوبت را می‌توان به کمک نم ویژه با رابطه (۲) محاسبه کرد.

$$-\vec{V} \cdot \nabla_q \quad \text{رابطه (۲)}$$

در اینجا، q نم ویژه بر حسب گرم بر گرم و $\vec{V}$ بردار باد بر حسب متر بر ثانیه است. هرگاه $-\vec{V} \cdot \nabla_q < 0$ باشد، با گذشت زمان، هوا خشک‌تر خواهد شد. در شرایط مقابل آن، اگر $-\vec{V} \cdot \nabla_q > 0$ باشد، آنگاه با وزش رطوبتی مثبت و مرطوب مواجه هستیم و با گذشت زمان هوا مرطوب‌تر خواهد شد. با ضرب وزش رطوبتی در ضریب مناسب می‌توان یکای آن را تنظیم نمود (رابطه ۳). در یک دستگاه دکالرتی دو بُعدی، وزش رطوبت چنین تعریف می‌شود (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱).

$$-\left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y}\right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

۲-۲-۳- تاوایی نسبی

تاوایی نسبی عبارت است از ضرب چلیپایی عملگر ∇ در یک بردار دلخواه مانند $\vec{V}$. در یک فضای دو بُعدی، تاوایی بردار $\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j}$ به صورت زیر تعریف می‌گردد (رابطه ۴).

$$\nabla \times \vec{V} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} \right) \times (u\hat{i} + v\hat{j}) \quad \nabla \times \vec{V} = \left[\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right] \hat{k} \quad \text{رابطه (۴)}$$

حاصل این عمل، یک کمیت برداری است که مؤلفه تاوایی $\vec{V}$ نامیده می‌شود. مقادیر مثبت این کمیت بیانگر جریان چرخندی و مقادیر منفی بیانگر جریان واچرخندی هستند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۴- شاخص جابه‌جایی رودباد

ابتدا، عرض جغرافیایی محور رودباد ($\varphi_{ja}(\lambda)$) از داده‌های میانگین میدان باد مداری در ۳۰۰ هکتوپاسکال شناسایی گردیده است. به این صورت که، در هر طول جغرافیایی (λ)، مشخص می‌کند که مؤلفه مداری باد (u) در کدام عرض جغرافیایی قرار دارد. سپس مشتق مداری آن محاسبه می‌گردد ($d\varphi_{ja}/d\lambda$). این مشتق، بزرگ‌ترین اندازه (ارزش‌های منفی بزرگ) در نقطه‌ای خواهد بود که محور جت قطبی به سمت جت جنب حاره‌ای پرش داشته است. به این ترتیب، شاخص جابه‌جایی رودباد (JMI) به عنوان ناهنجاری عرض جغرافیایی محور جت تعریف می‌شود (هارنیک و همکاران^۱، ۲۰۱۴).

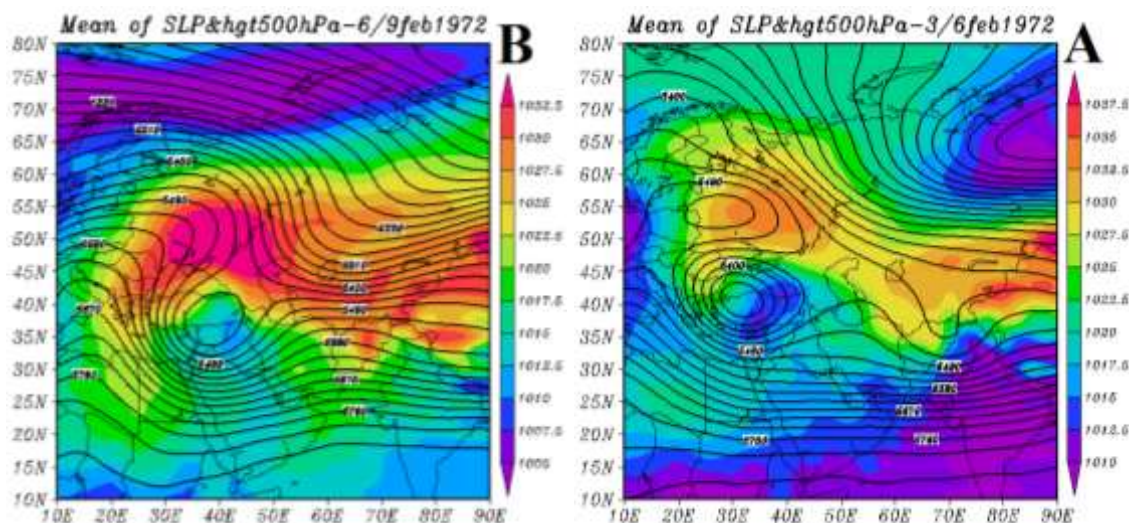
۳- نتایج و بحث

۳-۱- شرایط فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل

تحلیل نقشه‌های ترکیبی میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل برای دو بازه ۳ تا ۶ و ۶ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲ بیانگر غلبه یک سامانه بلاکینگ از نوع رکس در جو منطقه‌ای ایران است (شکل ۲). بلاکینگ رکس شبیه یک ۸ نصفه نیمه یا S معکوس است^۲. یک بلاکینگ رکس با یک زبانه قوی پرفشار در مجاورت یک کم‌فشار قوی شکل می‌گیرد. استقرار پرفشاری قوی در اروپای شرقی و شمال دریای سیاه موسوم به پرفشار قفقازی (حسینی و موحدی، ۲۰۱۴)، همزمان با کم‌فشار قوی مستقر در شرق مدیترانه، باعث شکل‌گیری سامانه بلاکینگ رکس در فوریه ۱۹۷۲ شده است. سامانه مزبور در دو فاز تکامل یافته است. فاز اول از ۲ فوریه تا ۵ فوریه تداوم داشته و فاز دوم از ۶ فوریه تا ۹ فوریه ادامه یافته است. در فاز دوم، شدت سامانه مزبور با جابه‌جایی هسته‌های فشار به سمت شرق و جنوب، تشدید شده است (شکل ۲- راست). در این شرایط، جریان هوای بسیار سرد و خشک عرض‌های منطقه قفقاز در اطراف پشته مستقر در شمال دریای سیاه و سپس در اطراف ناوه در شرق مدیترانه انحنا می‌یابد. این باعث می‌شود که هوا در حلقه‌های نوسانی در امتداد یک طول جغرافیایی حرکت کند و هوا را به عرض جغرافیایی بسیار پایین‌تر می‌کشد. جریان باد به دلیل تحمل چرخش نیمه ۸ گونه، پیشرفت ناچیزی را به سمت شرق ایجاد می‌کند.

1 Harnik et al

2 <http://weather.unisys.com/nam/index.html>

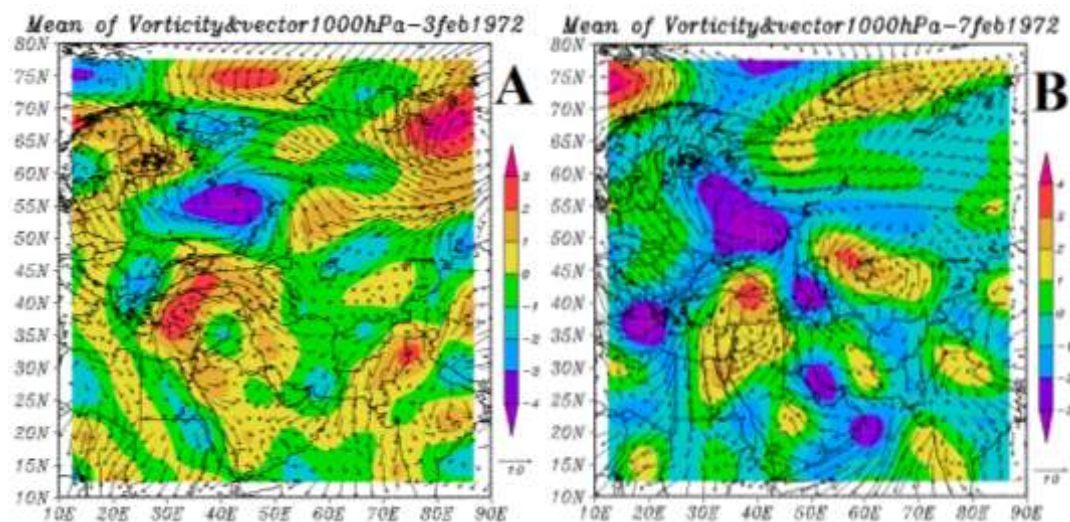


شکل ۲- میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ ۳ الی ۶ فوریه ۱۹۷۲ (A) و ۶ الی ۹ فوریه ۱۹۷۲ (B)

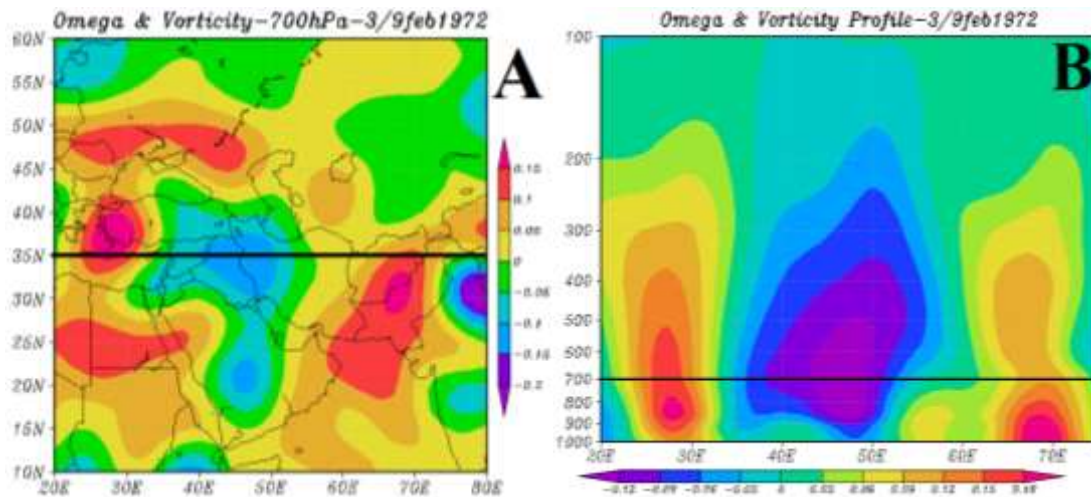
۳-۲- جنبه‌های دینامیک جو در زمان رخداد کولاک

بررسی تلاوایی نسبی و بردارهای باد در زمان شروع دو فاز از سامانه طوفان برف و کولاک نشان داد که تلاوایی نسبی مثبت ($v \geq +3$) منطبق بر هسته کم فشار مستقر در شرق مدیترانه در ۳ فوریه ۱۹۷۲ بوده است (شکل ۳-راست). بنابراین یک جریان چرخندی قوی بر روی شرق مدیترانه در حال فعالیت بوده است. همزمان، تلاوایی منفی ($v \leq -3$)، منطبق بر هسته پرفشار مستقر در شمال دریای سیاه می‌باشد. گستره مکانی چرخندگی منفی بسیار زیادتر از چرخندگی مثبت بوده و بیانگر غلبه سامانه‌های فشار زیاد قوی بر گستره ایران می‌باشد. در فاز دوم از فعالیت سامانه، شدت تلاوایی نسبی مثبت افزایش یافته و گستره مکانی آن به سمت شرق جابه‌جا و بر روی شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۳-چپ). در این فاز فعالیت، هسته تلاوایی مثبت نیز بر روی نواحی شرقی دریای خزر ایجاد شده است. هسته‌های تلاوایی منفی نیز در این فاز، همزمان، بر روی منطقه قفقاز، دریای خزر و خلیج فارس به وجود آمده است. وضعیت شاخص اُمگا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای دوره ۳ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲ (شکل ۴-راست) بیانگر برقراری شرایط صعود جریان هوا در منطقه غرب و امتداد نصف‌النهاری آن تا شبه جزیره عربستان می‌باشد. بنابراین شرایط صعود هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین لازمه‌های هر گونه ریزش‌های جو در منطقه غرب ایران مهیا بوده است. همان‌گونه که در شکل ۴ (راست) مشخص است، حداکثر شدت جریان صعودی هوا در حوالی عرض ۳۵ درجه شمالی، در منطقه غرب و شمال غرب ایران وجود دارد. این منطقه منطبق بر ارتفاعات زاگرس بوده و به دلیل اثر ناهمواریها، شدت صعود جریانات هوا تشدید می‌گردد. وضعیت نیمرخ قائم اُمگا در ترازهای مختلف به خوبی بیانگر وضعیت ناپایداری شرایط جو در نیمه غربی ایران است. همان‌گونه که در شکل ۴ (چپ) مشخص است در حد فاصل

نصف‌النهارهای ۳۸ تا ۵۲ درجه شرقی جریان صعودی هوا برقرار بوده است. شدت و گستره عملکرد این سامانه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی بیشینه می‌باشد. هرچند جریان صعودی هوا از تراز ۹۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکالی در حد بیشینه بوده است.



شکل ۳- تاوایی نسبی و بردارهای باد تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال؛ ۳ فوریه ۱۹۷۲ (A)؛ ۷ فوریه ۱۹۷۲ (B)

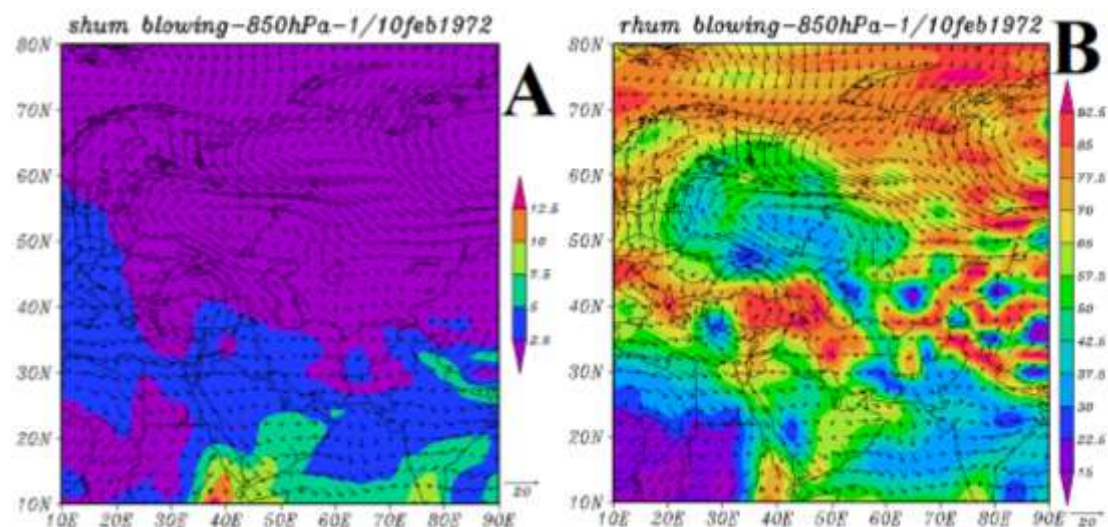


شکل ۴- شخص امگا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (A)؛ نیمرخ شاخص امگا در عرض ۳۵ درجه شمالی (B)

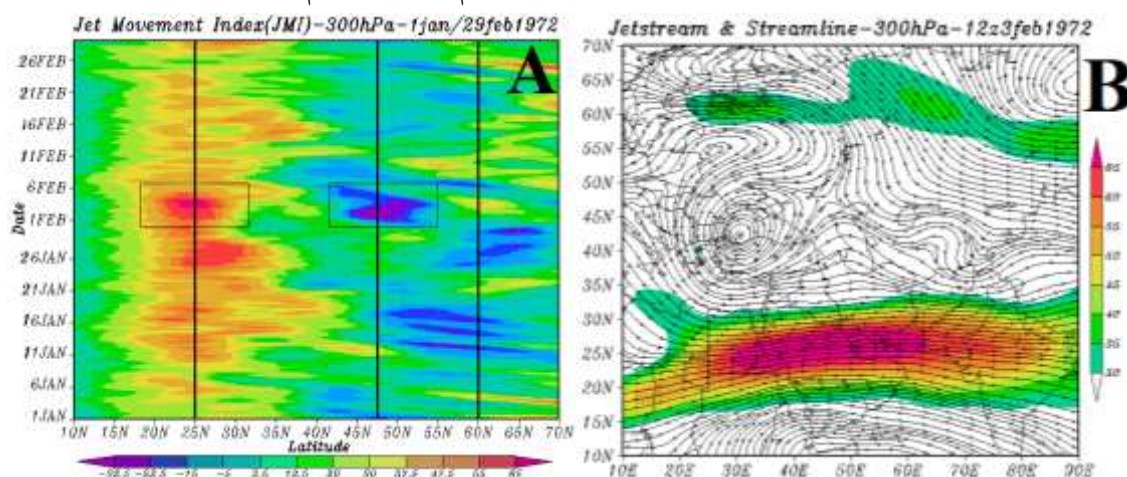
علاوه بر مکانیسم صعود، عامل رطوبت نیز لازمه هر گونه ریزش جوی است. جهت شناخت منابع رطوبتی سامانه، نقشه‌های وزش رطوبتی برای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تهیه شده است. تجربیات و شواهد علمی بیانگر عمق بیشینه انتقال رطوبت (بخار آب) به جو ایران در این تراز می‌باشد. وضعیت متوسط وزش رطوبتی بر مبنای رطوبت

ویژه (شکل ۵- راست) بیانگر مقادیر کاملاً مثبت است. این شرایط بیانگر آن است که جو ایران با گذشت زمان مرطوب‌تر شده است. وضعیت بردارهای باد، بیانگر تزریق رطوبت از سمت غرب و از بستر دریای مدیترانه به سامانه مزبور می‌باشد. وضعیت متوسط نم نسبی (درصد) نیز بیانگر رطوبت نسبی بالا در جو مناطق شمال غرب و غرب ایران می‌باشد (شکل ۵- چپ). تزریق رطوبت به جو ایران از سمت غرب و کاهش محسوس دما در نتیجه جریانات سرد شمالی، سبب افزایش رطوبت نسبی جو ایران به آستانه بارش شده است. در فاز اول از عملکرد سامانه، دمای هوا به شدت افت نموده و این وضعیت تداوم داشته است. کاهش محسوس دمای هوا به زیر ۲۰- درجه سلسیوس، سبب کاهش گنجایش پذیرش رطوبتی هوا و اشباع جو گردیده است. بنابراین، نقش افت محسوس دما در تأمین رطوبت سامانه بارش برف، بسیار بارزتر از تزریق رطوبت می‌باشد.

همان‌گونه که بیان گردید، شاخص جابه‌جایی رودباد (JMI) به‌عنوان ناهنجاری عرض جغرافیایی محور رودباد تعریف می‌گردد. ناهنجاری‌های عرض جغرافیایی محور رودباد از ابتدای ژانویه تا انتهای فوریه ۱۹۷۲ در شکل ۶- راست) نشان داده شده است. محور هر دو رودباد (جنب حاره‌ای و قطبی) در این بازه زمانی پیوسته دارای تغییرپذیری مداری بوده است. هسته محور رودباد قطبی از ۱۰ تا ۲۰ ژانویه با سه هسته باریک با امتداد شمالی جنوبی در بین عرض‌های ۶۰ تا ۴۷/۵ درجه شمالی در نوسان بوده است. ارزش‌های منفی گواه پرش محور این رودباد به سمت عرض‌های جغرافیایی پایین بوده است. متتاً تداوم و شدت این جابه‌جایی قابل ملاحظه نبوده است. پس از این، محور رودباد قطبی در بالاتر از عرض‌های ۶۰ درجه شمالی واقع شده است. واضح است که در زمان رخداد برف و کولاک سنگین (۳ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲) مجدداً محور رودباد قطبی با سمت عرض‌های جنوبی کشیده شده و با ارزش‌های بزرگ منفی تا عرض ۴۰ درجه شمالی جابه‌جایی داشته است. این پرش سریع مداری محور رودباد قطبی به سمت رودباد جنب‌حاره‌ای (با علامت مستطیل نشان داده شده است) در این بازه زمانی به عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های آغاز فعالیت سامانه طوفان برف و کولاک شناخته می‌شود. تغییرپذیری محور رودباد جنب‌حاره‌ای نیز در حوالی مدار ۲۵ درجه شمالی کاملاً مشهود است. جابه‌جایی مداری محور این رودباد کاملاً با جابه‌جایی مداری محور رودباد قطبی هماهنگ و برعکس آن است. وضعیت هسته روباد و خطوط جریان برای ساعت ۱۲ زولو ۳ فوریه ۱۹۷۲ در شکل ۶- چپ) نشان داده شده است. در این شرایط زمانی، محور رودباد با تمرکز بر مدار ۲۵ درجه شمالی، بر روی شبه جزیره عربستان و خلیج فارس واقع شده است. این وضعیت، بیانگر آغاز عملکرد سامانه برف سنگین و کولاک می‌باشد. گسستگی هسته رودباد جنب‌حاره‌ای و ایجاد هسته‌های مجزا در زمان عملکرد سامانه نیز مشاهده می‌گردد که مجدداً پس از اتمام فعالیت سامانه (۹ فوریه ۱۹۷۲) این شرایط تغییر نموده است.



شکل ۵- وزش رطوبتی ۱ تا ۱۰ فوریه ۱۹۷۲؛ نم و ویژه (A) و نم نسبی (B)



شکل ۶- شاخص حرکت رودباد از ۱ ژانویه تا ۲۹ فوریه ۱۹۷۲؛ (A)؛ موقعیت رودباد و خطوط جریان در تراز

۳۰۰ هکتوپاسکال ۳ فوریه ۱۹۷۲ (B)

۴- جمع بندی

پژوهش حاضر به بررسی مکانیسم‌های هواشناختی رخداد طوفان برفی با کولاک در بازه زمانی ۱۴ تا ۲۰ بهمن ۱۳۵۰ (۳ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲) در گستره ایران پرداخته است. برای این منظور جنبه‌های همدید و دینامیک جو مرتبط با رخداد این پدیده هواشناسی از طریق متغیرهای فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو، شاخص اُمگا، تاوایی نسبی، شاخص جابه‌جایی رودباد و وزش رطوبتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل نقشه‌های ترکیبی میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل برای دو بازه ۳ تا ۶ و ۶ تا ۹ فوریه ۱۹۷۲ بیانگر توسعه و غلبه یک سامانه بلاکینگ از نوع رکس در جو منطقه‌ای ایران بوده است. بنابراین واضح است که عامل اصلی رخداد این بوران

سهمگین و مصیبت‌بار، الگوهای جوی بلاکینگ بوده است. سامانه‌های فشاری دخیل در رخداد این الگوی جوی شامل پرفشار قوی در اروپای شرقی و شمال دریای سیاه موسوم به پرفشار قفقازی و کم‌فشار قوی مستقر در شرق مدیترانه بوده است. فرایند توسعه و تکامل این الگوی جوی شامل دو فاز می‌باشد. فاز آغازین از ۲ فوریه تا ۵ فوریه، و فاز دوم از ۶ فوریه تا ۹ فوریه ادامه یافته است. آرایش سامانه‌های فشار در این الگوی جوی بلاکینگ که موسوم به رکس است، سبب ریزش جریان هوای بسیار سرد و خشک عرض‌های منطقه قفقاز به گستره سرزمینی ایران گردیده و بوران بسیار شدید و سوزناک را در حین بارش برف و بعد از آن ایجاد نموده است.

جنبه‌های دینامیکی جو از طریق بررسی تاوایی نسبی، سرعت حرکت عمودی (قائم) جو، وزش رطوبتی و جابه‌جایی محور رودباد مطالعه گردیده است. بررسی شرایط تاوایی نسبی در زمان آغاز فعالیت سامانه مزبور، گستره‌های تاوایی مثبت و منفی را به ترتیب در شرق مدیترانه و شمال دریای سیاه را نشان داد. در فاز تکامل و تشدید سامانه، هسته تاوایی مثبت که بیانگر جریان چرخندی قوی می‌باشد به سمت شرق جابه‌جا و بر روی نواحی شمال‌غربی ایران مستقر گردیده و تشدید شده است. همزمان در این فاز از فعالیت سامانه، هسته تاوایی مثبت بر روی نواحی شرقی دریای خزر ایجاد شده است. بررسی وضعیت شاخص اُمگا نیز مهبایی شرایط صعود جریان هوا را در بخش غربی و به ویژه در شمال‌غربی ایران نشان می‌دهد. منابع تأمین رطوبت سامانه نیز از طریق نقشه‌های وزش رطوبتی بررسی گردیده و بیانگر مقادیر مثبت وزش رطوبتی جو ایران بوده است. تزریق رطوبت به سامانه عمدتاً از بستر دریای مدیترانه در جریانات غربی صورت گرفته است. علاوه بر آن، افت محسوس دما در نتیجه جریانات بسیار سرد شمالی نیز در اشباع جو بسیار تأثیرگذار بوده است. اُفت محسوس دمای هوا، این امکان را ایجاد کرده که اتمسفر با رطوبت موجود خود به حالت اشباع برسد و چنین حجمی از بارش را فراهم کند. این استدلال از مقادیر نم و ویژه پایین و در عین حال نم نسبی بالای ۹۰ درصد در زمان رخداد کولاک قابل درک است. ناهنجاری عرض جغرافیایی رودباد نیز بیانگر تغییرپذیری مداری محور رودبادهای قطبی و جنب‌حاره‌ای در زمان رخداد سامانه بوده است. به گونه‌ای که جابه‌جایی‌های سریع یا به اصطلاح «پرش» محور رودباد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های آغاز فعالیت سامانه جوی مولد برف سنگین و در نهایت طوفان برفی و کولاک قلمداد می‌گردد. از این رو، پیشنهاد می‌گردد، به‌عنوان معیاری جدید جهت ارزیابی بارش‌های سنگین در گستره ایران، مورد توجه بیشتری قرار داده شود.

کتابنامه

- امیدوار، کمال؛ ۱۳۹۵. بررسی و تحلیل همدید- دینامیک ریزش برف در استان یزد. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۲۵(۹۸). ۴۲-۲۵. <https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2016.22136>
- خالدی، شهریار؛ کمالی، سمیه و محمدی، فهیمه؛ ۱۳۹۶. بررسی همدیدی برف سنگین جلگه گیلان در بهمن ۱۳۹۲ و تأثیر آن بر سنجش مدیریت بحران. مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۱۴(۱). ۴۶-۳۵. <https://dx.doi.org/10.22111/jneh.2017.3202>
- خوشحال‌دستجردی، جواد؛ کامیار، اصغر؛ ۱۳۹۶. شناسایی و تحلیل الگوهای همدید موجد کولاک فراگیر برف در شمال غرب ایران. جغرافیای طبیعی. ۱۰(۳۷). ۳۰-۱۵. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20085656.1396.10.37.2.3>
- درگاهیان، فاطمه؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۲. بررسی اثر بلاکینگ بر رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران. فصلنامه جغرافیایی سرزمین. ۱۰(۳). ۱۴-۱. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-۱۸۰۲-۱-fa.html>
- دوستان، رضا؛ اسکندری، مریم و صادقی، سلیمان؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدید بارش برف سنگین جاده‌های کوهستانی زاگرس مرکزی (مطالعه موردی: جاده چلگرد-شهرکرد-لردگان). فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۶(۵۶). ۲۳۹-۲۲۱.
- رضایی، محمد؛ صادقی، علی و پورقیومی، علی؛ ۱۳۹۹. تحلیل همدیدی-ماهوره‌ای مخاطره برف سنگین در استان کرمان. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۲۰(۷۱). ۱۳۳-۱۲۱. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-۳۳۰۲-۱-fa.html>
- شکیبا، آمینه؛ صادقی، سلیمان؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹۴. مراکز فعالیت و الگوهای سینوپتیکی بارش برف سنگین در شمال غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۶(۴). ۱۰۳-۸۷. <https://doi.org/10.22067/GEO.V4I4.36801>
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ جعفری، ایوب؛ بستانچی، حسام‌الدین؛ ۱۳۹۹. الگوبندی و تحلیل همدید رخداد کولاک برف‌های شدید شمال غرب ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۷(۲). ۱۸۶-۱۶۹. <https://doi.org/10.29252/jsaeh.7.2.169>
- غفاریان، پروین؛ فریدمروودباده‌دی، نیما؛ مرادی، محمد؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ عابد؛ حسین؛ نگاه، سمانه؛ ۱۳۹۵. بررسی نقش واداشتهای منطقه‌ای در شکل‌گیری الگوی مکانی مخاطره‌ی برف سنگین بهمن ۱۳۹۲ در جلگه‌ی گیلان. اقیانوس شناسی. ۷(۲۶). ۹۷-۸۵. <http://dori.net/dor/20.1001.1.15621057.1395.7.26.9.0>
- فتاحی، ابراهیم؛ شیراوند، هنگامی؛ ۱۳۹۳. بررسی الگوهای گردش جوی روزهای همراه با بارش برف سنگین در غرب ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱(۱). ۹۷-۱۰۷. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-۲۳۱۷-۱-fa.html>

فهیمی نژاد، الهام؛ حجازی زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول و ضیائی، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی-فضایی طوفان برف استان گیلان (فوریه ۲۰۰۵). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۱۰(۱۹). ۳۰۲-۲۸۱.

<https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23260>

قصابی، زهرا؛ فتحی، مانده؛ رضازاده، پرویز و رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ ۱۳۹۹. بررسی عوامل دینامیکی و همیدی مؤثر در رخداد بارش سنگین برف در استان تهران (مطالعه موردی: ژانویه ۲۰۱۸). نیوار. ۴۴(۱۱۰). ۴۲-۲۹.

<https://doi.org/10.30467/nivar.2019.197351.1136>

مرادی، محمد؛ رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ ۱۳۹۹. بررسی همیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۹۹. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۳(۳۵). ۲۴۳-۲۲۷.

<https://doi.org/10.22067/geoe.2020.67338.1000>

مسعودیان، سیدابوالفضل؛ عساکره، حسین؛ محمدی، بهتیار؛ حلبیان، امیرحسین؛ ۱۳۹۱. نمایش و پردازش داده‌های جوی. انتشارات دانشگاه اصفهان.

نارنگی فرد، مهدی و مزیدی، احمد؛ ۱۳۹۶. بررسی ناهنجاری‌های همیدی مؤثر بر رخداد بارش برف در استان فارس (مطالعه موردی: ژانویه ۲۰۱۴). مجله علمی و ترویجی نیوار. ۹۶. ۶۶-۵۸.

<https://doi.org/10.30467/nivar.2017.45152>

Amininia, K., Lashkari, H., & Alijani, B., 2010. Analysis and review of heavy snow synoptic conditions in North West of Iran by using PCA and clustering. *Journal of International Environmental Application and Science*, 5(1), 17-24.

Bao, Y., & You, Q., 2019. How do westerly jet streams regulate the winter snow depth over the Tibetan Plateau? *Climate dynamics*, 53(1), 353-370. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4589-1>

Cui, H. Y., & Qiao, F. L., 2016. Analysis of the extremely cold and heavy snowfall in North America in January 2015. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 9(2), 75-82. <https://doi.org/10.1080/16742834.2016.1133057>

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>

Harnik, N., Galanti, E., Martius, O., & Adam, O., 2014. The anomalous merging of the African and North Atlantic jet streams during the Northern Hemisphere winter of 2010. *Journal of Climate*, 27(19), 7319-7334. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00531.1>

Holton, J. R. 1992. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 3d edition, Academic Press.

Hosseini, S., & Movahedi, S., 2014. Sea level pressure climatology in black sea region. *Management Science Letters*, 4(2), 227-236. <http://dx.doi.org/10.5267/j.msl.2013.12.035>

Jiang, X., Zhang, T., Tam, C. Y., Chen, J., Lau, N. C., Yang, S., & Wang, Z., 2019. Impacts of ENSO and IOD on snow depth over the Tibetan Plateau: roles of convections over the western North Pacific and Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(22), 11961-11975. <https://doi.org/10.1029/2019JD031384>

Jiang-Yu, M., 2010. Interannual variability of snow depth over the Tibetan Plateau and its associated atmospheric circulation anomalies. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3(4), 213-218. <https://doi.org/10.1080/16742834.2010.11446875>

- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Joseph, D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-472.
[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO;2)
- Liu, F., Mao, X., Zhang, Y., Chen, Q., Liu, P., & Zhao, Z., 2014. Risk analysis of snow disaster in the pastoral areas of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 24(3), 411-426.
<https://doi.org/10.1007/s11442-014-1097-z>
- Liu, L., Ma, Y., Yao, N., & Ma, W., 2021. Diagnostic analysis of a regional heavy snowfall event over the Tibetan Plateau using NCEP reanalysis data and WRF. *Climate Dynamics*, 56(7), 2451-2467.
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05598-4>
- Lü, J. M., Ju, J. H., Kim, S. J., Ren, J. Z., & Zhu, Y. X., 2008. Arctic Oscillation and the autumn/winter snow depth over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14). <https://doi.org/10.1029/2007JD009567>
- Merino, A., Fernández, S., Hermida, L., López, L., Sánchez, J. L., García-Ortega, E., & Gascón, E., 2014. Snowfall in the northwest Iberian Peninsula: synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends. *The Scientific World Journal*, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/480275>
- Purslow, F., 2017. *Precipitation*. Weigl Publishers.
- Singh, V., 2008. *Nature's Fury: World's Worst Natural Disasters that Shook the World*. The Energy and Resources Institute (TERI).
- Wang, Y., Wang, J., Li, S., & Qin, D., 2014. Vulnerability of the Tibetan pastoral systems to climate and global change. *Ecology and Society*, 19(4). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06803-190408>
- You, Q., Kang, S., Ren, G., Fraedrich, K., Pepin, N., Yan, Y., & Ma, L., 2011. Observed changes in snow depth and number of snow days in the eastern and central Tibetan Plateau. *Climate Research*, 46(2), 171-183. <https://doi.org/10.3354/cr00985>



The Analysis of Urban Development and Growth Pattern and Distribution using Satellite Images (Study Area: Kashmar City)

Ali Hajizadeh Sheikhanlu^{a*}, Habib Khavari^b, Mahnaz Ramezani^c

^a MSc in Remote Sensing and GIS, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran

^b MSc Student in Remote Sensing, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran

^c MSc in Urban Planning, Payam-e Noor University (PNU), Sari, Iran

Received: 10 May 2022

Revised: 20 June 2022

Accepted: 26 June 2022

Abstract

Rapid growth of urbanization is a big challenge for planners. In Iran, the high growth of urbanization due to the influx of immigrants to cities and the lack of proper and efficient planning for the settlement of immigrants have led to the emergence of suburban areas around cities, urban sprawl, and the destruction of high quality lands and gardens. The purpose of this study was to analyze the pattern of urban development and expansion of Kashmar between 2000-2020 and to predict land use changes up to the horizons ahead. The results showed that according to Markov model, from 2000 to 2010 and 2020, agriculture land and gardens have grown and barren lands and pastures have decreased. Moreover, the changes in land use for the horizon of 2041 compared to the present is the same. Most of the changes belong to the use of the built-in area. Moreover, in horizon 2041 the growth of Kashmar will be 7.12% expansion towards the outskirts of the city (infilling), about 91.59% development from the edge of the city (edge-expansion) and about 1.28% outward development (Outlaying).

Keywords: Markov Chain, Growth Typology, Landsat, LEI, Kashmar

*. Corresponding author: Ali Hajizadeh Sheikhanlu E-mail: Alihajizadeh3773@gmail.com Tel: +989100527596

How to cite this Article: Hajizadeh Sheikhanlu, A., khavari, H., Ramezani, M. (2022). The analysis of urban development and growth pattern and distribution using satellite images (Study area: Kashmar city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 269-283.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.76794.1231



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76794.1231> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۸۳-۲۶۹

مقاله پژوهشی

تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

(محدوده مورد بررسی: شهر کاشمر)

 علی حاجی‌زاده شیخ‌انلو^۱ - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.

حبیب خاوری - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.

مهناز رضانی - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور واحد ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۱۵

چکیده

یکی از چالش‌های برنامه ریزان در قرن حاضر، رشد سریع شهرنشینی است. در ایران رشد زیاد شهرنشینی دلیل هجوم مهاجران به شهرها و نبود برنامه‌ریزی مناسب و کارآمد برای اسکان مهاجران سبب بروز مناطق حاشیه‌ای پیرامون شهرها، گسترش شهر به اطراف و تخریب اراضی مرغوب و باغ‌ها شده است. هدف این پژوهش تحلیل الگوی توسعه و گسترش شهری کاشمر بین سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۹ و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا افق‌های پیش رو است. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI نقشه کاربری اراضی طبقه‌بندی شده و با استفاده از الگوریتم LEI در نرم‌افزار GIS گونه رشد شهری به دست آمد. نتایج نشان داد که بر اساس مدل مارکوف طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ درصد محدوده ساخته شده، کشاورزی و باغات رشد یافته است و از میزان اراضی بایر و مراتع کاسته شده همچنین تغییرات مساحت کاربری‌ها برای افق ۱۴۲۰ نسبت به حال حاضر نیز به همین صورت است. بیشترین تغییرات اختصاص به کاربری محدوده ساخته شده دارد. همچنین برای پیش‌بینی سال هزار و

Email: Alihajizadeh3773@gmail.com

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۰۰۵۲۷۵۹۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

حاجی‌زاده شیخ‌انلو، علی؛ خاوری، حبیب؛ رضانی، مهناز. (۱۴۰۱). تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده

از تصاویر ماهواره‌ای (محدوده مورد بررسی: شهر کاشمر). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۲۸۳-۲۶۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76794.1231>

چهارصد و بیست رشد شهر کاشمر ۷,۱۲ درصد از نوع گسترش به سمت حاشیه شهر (infilling) و حدود ۹۱,۵۹ درصد از نوع توسعه از لبه شهر (edge-expansion) خواهد بود و حدود ۱,۲۸ درصد توسعه بیرونی (Outlaying) خواهد داشت؛ لذا مدیران و برنامه ریزان شهری با تأکید بر نتایج این تحقیق می‌توانند از رشد افقی و افسارگسیخته شهر در دوره‌های آینده جلوگیری نمایند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره مارکوف، گونه شناسی رشد، لندست، LEI، کاشمر.

۱- مقدمه

تحلیل الگوی توسعه و گسترش شهری یکی از مباحث اساسی است که امروزه در دنیا مطرح می‌گردد که همگام با رشد لجام‌گسیخته شهرها به سوی نواحی پیرامونی شکل گرفته است و موجب از بین رفتن عرصه‌های کشاورزی و ناپایدار شدن اقتصادی شده است و در کنار خود مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورده است. عواملی مانند محدودیت اراضی در محدوده شهرها از یک طرف و تقاضای روزافزون برای زمین و مسکن از طرف دیگر، شهرنشینان را برای یافتن محل جایگزین اسکان به مناطق حاشیه‌ای تحت فشار قرار می‌دهد. این تغییر با فرآیند تبدیل زمین از فضای بکر و سبز به منطقه ساخته شده همراه است و لذا تبدیل و تغییر کاربری زمین در محدوده‌های پیرامونی شهرها به‌طور چشمگیری گسترش می‌یابد (کاهیا و همکاران، ۲۰۱۸). بحث گونه‌های رشد شهری یکی از موضوعات مهم در ارتباط با ارزیابی و سنجش برنامه‌های توسعه شهری و چگونگی حرکت به سوی توسعه پایدار تبدیل گشته و به همین دلیل، شکل‌گیری فضایی و فعل‌وانفعالات رشد شهر همواره و به‌ویژه در سال‌های اخیر، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مطالعات شهری و منطقه است. گسترش جهانی شهرنشینی باعث ایجاد رغبت برای تبدیل فضاهای بکر و سبز طبیعی به مناطق مسکونی انسان‌ساخت می‌شود (باگنان و یاماتا، ۲۰۱۴). داده‌های سنجش‌ازدور یکی از منابع اطلاعات غنی، مفید و قابل کاربرد در شناسایی پدیده‌های روی زمین و تغییرات محیط است (ضیائی‌ان و همکاران، ۱۳۸۷، نیازی و همکاران، ۱۳۸۸). تاکنون مطالعات خاصی برای بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است. داده‌های سنجش‌ازدور در راستای افزایش کارایی مدیریت با دارا بودن قابلیت‌هایی مثل ارائه اطلاعات به جامع و دقیق از کمیت و کیفیت محل‌های طبیعی و شهری، پردازش رقومی تصاویر، فراهم نمودن امکانات مقایسه زمانی و مکانی پدیده‌ها، عوارض و تنوع محصولات و همچنین به‌عنوان ابزاری قدرتمند محسوب می‌شود. پایه و اساس درک بالاتر از روابط و برخوردهای بین انسان و پدیده‌های طبیعی را در جهت تشخیص به‌موقع و دقیق تغییرها و ویژگی‌های محیط فراهم می‌کند و باعث مدیریت کارآمدتر و استفاده بهینه از زمان و مکان می‌شود. در نتیجه هدف تحقیق حاضر تحلیل الگوی توسعه و گسترش شهری شهر کاشمر با استفاده از

1 Cahya et al

2 Bagnan and Yamagata

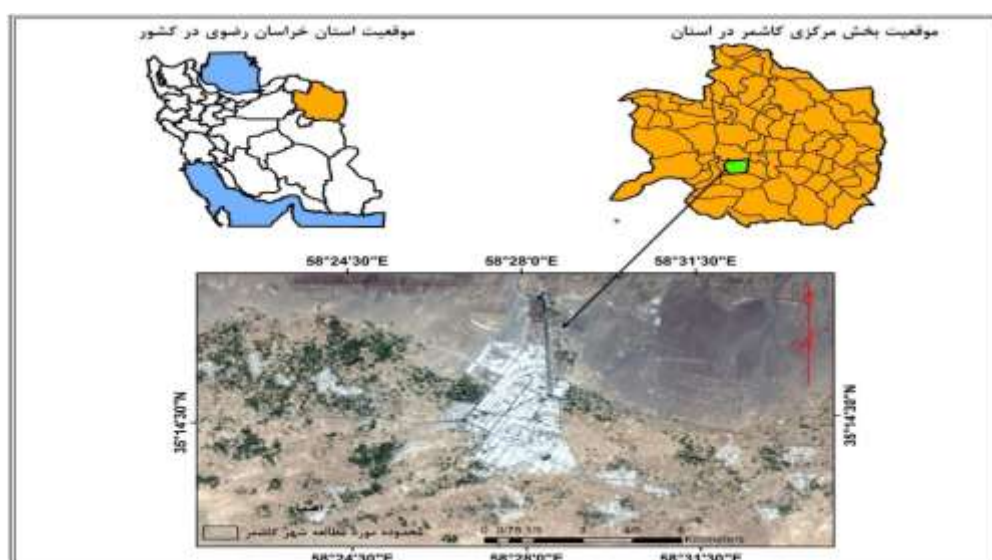
تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و مدل زنجیره مارکوف است. وجه تمایز تحقیق حاضر با سایر پژوهش‌ها در بخش اصلی استخراج الگوهای توسعه شهری محدوده مورد مطالعه است که با شاخص و الگوریتم LEI انجام شده است و نتایج آن کمک قابل توجهی به برنامه ریزان در راستای مدیریت رشد و گسترش شهری می‌نماید. در این پژوهش هدف اصلی تحلیل الگوی توسعه و رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهر کاشمر است. همچنین تغییرات کاربری‌ها در بازه زمانی چندین ساله و آینده‌نگری برای افق‌های آینده در این پژوهش بررسی و انجام شده است. در این راستا برخی تحقیق‌هایی صورت گرفته که برخی ساختارهای آن‌ها مشابه تحقیق حاضر می‌باشد در ادامه ارائه شده است. عزیزی قلاتی و همکاران (۱۳۹۵)، بازبینی مدلسازی و آینده‌نگری تغییر کاربری اراضی در بازه ۲۵ ساله ۱۳۹۱-۱۳۶۶ با مدل سنجش‌ازدور مارکوف در محدوده کوهمره سرخی استان فارس نتایج نهایی نشان از آن دارد که بیشترین تغییر کاربری نسبت به افق ۱۳۹۱ در ناحیه جنگلی بوده و به کاربری‌های کشاورزی باغات آبی و مرتع تبدیل می‌شود که باید در برنامه‌ریزی آینده توسط مسئولان مورد توجه و استفاده گردد. اسدی و همکاران (۱۳۹۸) پیش‌بینی رشد و توسعه فیزیکی شهر قائن که نشان داد طی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ مساحت کاربری اراضی ساخته شده در شهر قائن افزایش داشته و این افزایش سبب نزدیکی به حریم سازندهای رسی، گسل و رودخانه اصلی شده است. میراندا^۱ و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌سازی مناطق مستعد تغییر پوشش جنگلی با استفاده از رگرسیون لجستیک در جنگل‌های بارانی شمال مکزیک نتایجشان نشان داد که منطقه به‌شدت مستعد تغییر پوشش جنگلی و کاربری زمین می‌باشد و افزایش روزافزون جمعیت را عامل اصلی تغییر پوشش جنگلی برآورد کردند. الشریف و همکاران (۲۰۱۳) از مدل زنجیره مارکوف CA برای پیش‌بینی جابجایی کاربری اراضی برای شهر طرابلس لیبی نتایج حاصله نشان داد منطقه مورد مطالعه به‌خصوص در دهه‌های اخیر به‌سرعت در حال رشد می‌باشد و این گسترش سریع شهر منجر به کاهش مداوم و قابل توجه اراضی کشاورزی شده است.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

کاشمر با نام تاریخی کشمر مرکز شهرستان کاشمر، در شرق ایران و جنوب غربی استان خراسان رضوی، در حدود ۲۴۰ کیلومتری شهر مشهد قرار دارد. بر پایه سرشماری مرکز آمار ایران سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۱۰۲،۲۸۲ (در ۳۱،۷۷۵ خانوار) بوده است. شهرستان کاشمر با دو بخش مرکزی و فرح دشت و به مرکزیت شهر کاشمر مساحتی در حدود ۱۱۵۲ کیلومترمربع از استان خراسان رضوی را اشغال نموده است. این شهرستان از غرب با خلیل‌آباد و بردسکن، از شمال و شمال غربی با نیشابور، سبزوار، از شرق و شمال شرقی با تربت‌حیدریه و از جنوب

و جنوب غربی با شهرستان مهولات هم‌جوار است. شهرستان کاشمر دارای دو منطقه کوهستانی کوهسرخ در شمال و ارتفاعات فغان بیجستان در جنوب و منطقه‌ای کویری و خشک در غرب و جنوب و جلگه‌ای حاصلخیز در محدوده حومه شهر و قصبات آن می‌باشد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش انجام پژوهش

۲-۲-۱- داده های مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر سنجنده لندست، استفاده شده که در ادامه اطلاعات آن‌ها در [جدول ۱](#) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای اخذشده

ماهواره	سنجنده	گذر	ردیف	تاریخ	تفکیک مکانی (متر)
لندست ۵	TM	۱۶۷	۳۷	۲۰۰۰,۰۵,۳۱	۳۰
لندست ۷	ETM+	۱۶۷	۳۷	۲۰۱۰,۰۴,۳۰	۳۰
لندست ۸	OLI	۱۶۷	۳۷	۲۰۲۰,۰۵,۰۱	۳۰

۲-۲-۲- طبقه‌بندی شیء گرا

ابتدا تصاویر پیش‌پردازش و خطاهای آن‌ها رفع گردید سپس با استفاده از روش‌های گرا طبقه‌بندی شده است. در این فرآیند، هر یک از شیء‌های تصویری به یکی (یا هیچ‌کدام) از طبقات اراضی اختصاص داده می‌شوند؛ به‌طوری‌که درجات عضویت هر شیء بر اساس شرایط تعریف شده به‌وسیله مفسر برای طبقات می‌شود و بر اساس بیشترین درجه عضویت در یک طبقه مشخص ادغام می‌شود. پایه تجزیه و تحلیل در این الگوریتم به جای یک پیکسل، مجموعه‌ای از چندین پیکسل با عنوان پدیده‌های تصویری یا کلاس می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۸) که در نتیجه فرآیند قطعه‌بندی به دست خواهد آمد (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق برای بررسی میزان صحت و دقت نمونه‌های تعیین شده انتخاب و با تصویر طبقه‌بندی و کلاس‌بندی شده سنجش شد که نتیجه حاصل از ارزیابی خطای طبقه‌بندی در **جدول ۲** ارائه شده است. دقت ارزیابی‌ها نشان‌دهنده طبقه‌بندی با دقت بالا است. دلیل این دقت بالا استفاده از شاخص‌هایی مثل شکل، بافت، رنگ، بافت و الگوی عارضه‌ها می‌باشد که ابهام در مورد ماهیت پدیده‌ها و عوارض را به‌صورت چشم‌گیری کاهش می‌دهد.

جدول ۲- خطای کلی و کاپا کلاس‌بندی

تصویر	۱۳۷۹	۱۳۸۹	۱۳۹۹
دقت کلی	۸۴,۰	۹۱,۰	۹۲,۴
کاپا	۰,۸۲	۰,۸۸	۰,۹

۲-۲-۳- مدل زنجیره‌ی مارکوف و CA مارکوف

مدل مارکوف به‌صورت یک الگوریتم و فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن چگونگی وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت گذشته و قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن آینده‌نگری می‌شود. نتیجه نخایی حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است. پیش‌بینی این مدل با استفاده از **رابطه ۱** صورت می‌پذیرد.

$$S(t+1) = P_{ij} * s(t) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این فرمول؛ $S(t+1)$, $s(t)$ شیوه‌ها و حالت‌های سیستم در زمان t و $t+1$ می‌باشند و p_{ij} همان ماتریس احتمال انتقال در یک حالت می‌باشد که از روش **رابطه ۲** به دست می‌آید:

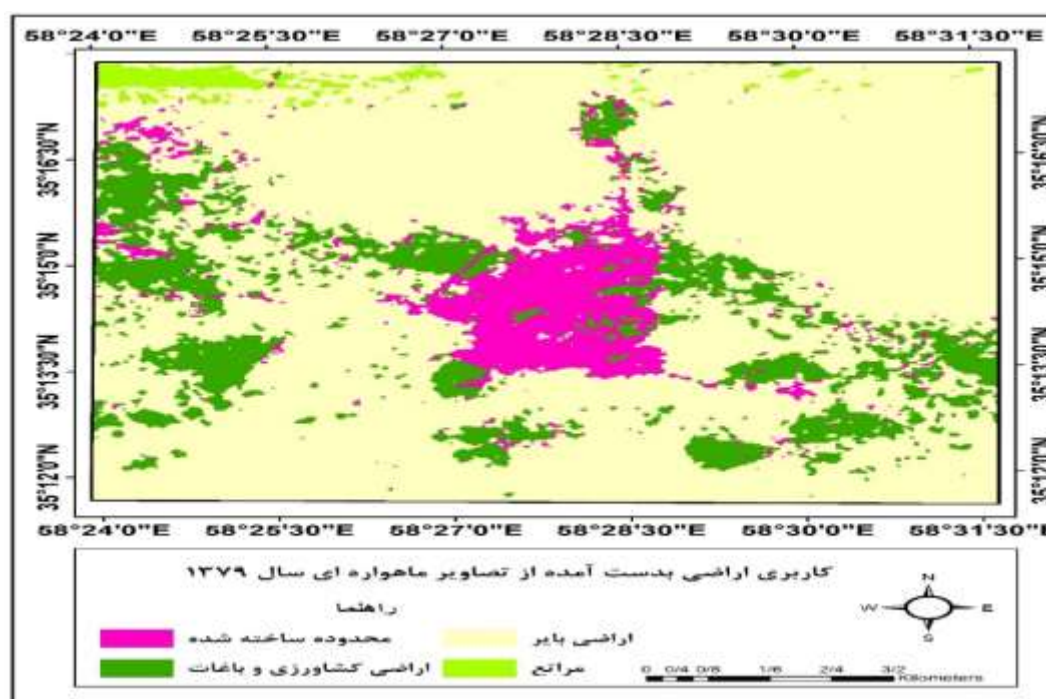
$$p_{ij} = \begin{matrix} & P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ \begin{matrix} P_{21} \\ P_{22} \\ \dots \end{matrix} & & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\begin{matrix} P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{matrix}$$

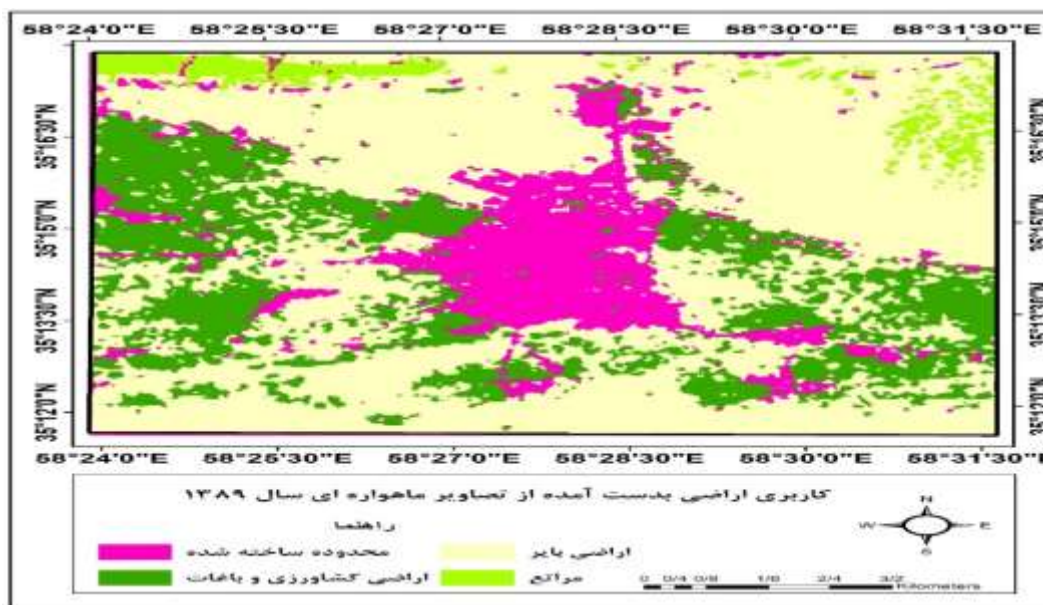
۳- نتایج تحقیق

۳-۱- تغییرات کاربری اراضی محدوده موردبررسی در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹

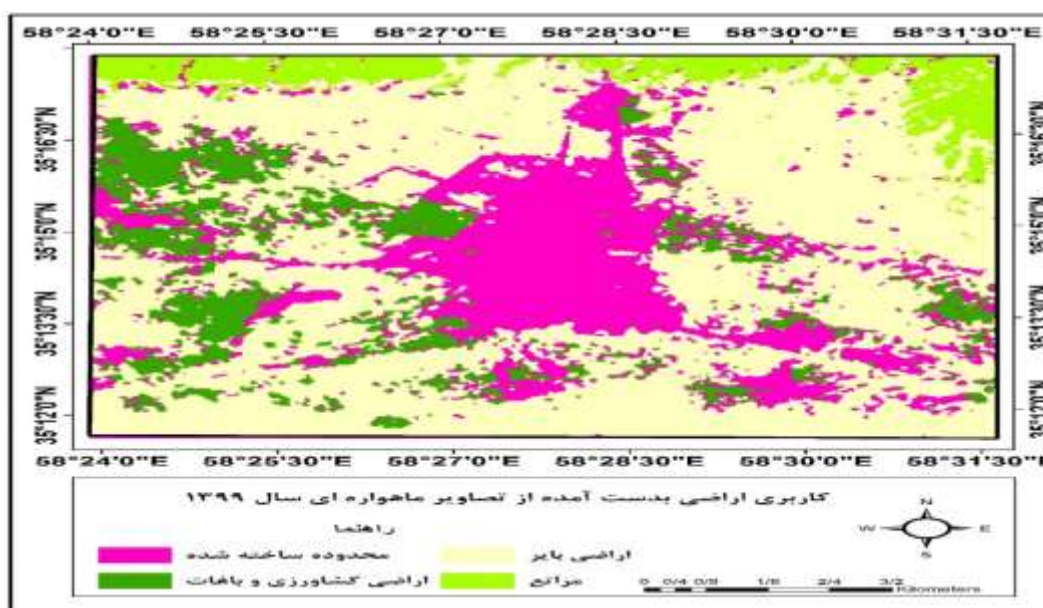
بررسی توسعه شهر در سال‌های مختلف ناشی از عوامل مختلفی می‌باشد که مهم‌ترین آن افزایش جمعیت می‌باشد. از طرفی دیگر این رشد باید از مخاطرات ژئومورفولوژی و به‌طور کلی مخاطرات انسانی و طبیعی به دور باشد؛ اما اکثر برنامه‌ریزی‌ها و راهبردها برای توسعه اصولی و منطقی نبوده و همین برنامه اشتباه، خطر بروز حوادث ناگوار پیش‌بینی‌ناپذیر را افزایش داده است نقشه‌های ۲، ۳ و ۴ به نمایش چگونگی تغییرات کاربری حریم شهر کاشمر در بازه‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ در چهار کلاس و طبقه (محدوده ساخته شده، باغ‌ها و حریم‌های کشاورزی، اراضی بایر و بیابانی و مراتع) است.



شکل ۲- پوشش زمین شهر کاشمر در سال ۱۳۷۹



شکل ۳- پوشش زمین شهر کاشمر در سال ۱۳۸۹



شکل ۴- پوشش زمین شهر کاشمر در سال ۱۳۹۹

با بررسی نشان داده شد که بیشترین تغییرات و جابجایی‌ها به محدوده‌های ساخته شده (مسکونی) اختصاص دارد. لذا با تأکید بر نتایج به دست آمده در ارتباط با تغییرات شهر در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹ بیشترین رشد و انتقال شهر در سمت شمال و به میزان کمتری در سمت جنوب شرق روی داده است.

۳-۲- ماتریس تبدیل وضعیت

از نقشه‌های پوشش سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹، ماتریس تبدیل وضعیت ابتدا را نمایش می‌دهد و نقشه‌های سطح زمین سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹، این ماتریس‌ها حاوی مقادیر و خروجی‌های اطلاعات تبدیل هر کلاس به دیگر کلاس‌ها می‌باشد و در پایان مساحت کاربری‌ها در افق زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ در شهر کاشمر مشخص گردیده است. ماتریس مساحت انتقال گویای میزان مساحتی که از هر کلاس به کلاس مجاور تغییر هویت داده است می‌باشد.

جدول ۳- مساحت انتقال وضعیت در بازه سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ (مترمربع)

مرتفع	بایر	باغات و کشاورزی	ساخته شده	ردیف
۳۹۴	۸۴۵۹	۱۶۹۲	۱۰۴۵۶	ساخته شده
۱	۱۶۲۳۸	۱۷۲۱۰	۵۹۱	باغات و کشاورزی
۲۶۴	۸۶۳۵۹	۲۱۹۱	۹۰۵	بایر
۱۷۷۹	۳۳۱۷	۰	۱۱	مرتفع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

بین سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ مقادیر انتقال وضعیت بر حسب مترمربع نشان بیان‌کننده بیشترین تغییرات در تبدیل و تغییر اراضی بایر به باغات و کشاورزی و همچنین گویای تغییرات اراضی باغات و کشاورزی به بایر می‌باشد.

جدول ۴- احتمال انتقال وضعیت در بازه سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ (مترمربع)

مرتفع	بایر	باغات و کشاورزی	ساخته شده	ردیف
۰,۰۰۲۶	۰,۰۵۶	۰,۰۱۱۲	۰,۰۶۹۳	ساخته شده
۰	۰,۱۰۷۸	۰,۱۱۴	۰,۰۰۳۹	باغات و کشاورزی
۰,۰۰۱۷	۰,۰۵۷۲۲	۰,۰۱۴۵	۰,۰۰۶	بایر
۰,۰۱۶۲	۰,۷۵۸	۰,۱۳۹۸	۰,۰۷۹۳	مرتفع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

ماتریس احتمال انتقال، میزان تغییر هر کلاس به کلاس دیگری را بیان کرده و نمایان می‌سازد. طبق خروجی‌های جدول ۴ بیشترین احتمال انتقال کلاس‌ها و کاربری در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ گویای تبدیل اراضی بایر به باغات و مراتع اختصاص داده می‌شود.

جدول ۵- مساحت انتقال وضعیت در بازه سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ (مترمربع)

مرتفع	بایر	باغات و کشاورزی	ساخته شده	ردیف
۳۵	۷۱۳۱	۶۷۰۷	۱۸۸۵۸	ساخته شده
۰	۱۷۱۰	۱۵۴۸۰	۱۸۱	باغات و کشاورزی
۷۹۰	۷۵۳۰۰	۱۱۸۶۶	۱۶۱۷	بایر
۴۲۸۲	۵۵۷۸	۱۷	۳۴۵	مرتفع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

خروجی‌های **جدول ۵** نشان می‌دهد که حریم و محدوده‌های ساخته شده شهر کاشمر از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ روند افزایشی و رو به رشدی داشته و توسعه شهری آن به شکل گسترده و افقی می‌باشد؛ به گونه‌ای که محدوده ساخته شده در بازه ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ بدین صورت ۱۰۷,۶۶۷، ۱۹۸۱,۹۸ و ۲۹۴۵,۷۹ به واحد هکتار می‌باشد. همچنین از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ به خاطر توسعه شهر، از وسعت و مساحت اراضی باغی و کشتزار، اراضی بایر و مراتع کاسته شده است.

جدول ۶- احتمال انتقال وضعیت در بازه سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ (مترمربع)

مرتفع	بایر	باغات و کشاورزی	ساخته شده	ردیف
۰,۰۰۰۲	۰,۰۴۷۳	۰,۰۴۴۴	۰,۱۲۵	ساخته شده
۰	۰,۰۱۱۳	۰,۱۰۲۶	۰,۰۰۱۲	باغات و کشاورزی
۰,۰۰۵۲	۰,۴۹۸۹	۰,۰۷۸۶	۰,۰۱۰۷	بایر
۰,۰۲۸۴	۰,۰۳۷	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۲۳	مرتفع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

خروجی‌های **جدول ۶** نشان داد بالاترین احتمال انتقال کاربری‌های موردبررسی در این پژوهش به ترتیب در بازه زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ انتقال و اختصاص باغ‌ها و کشاورزی به اراضی بایر (و برعکس) و همچنین در اولویت بعدی تبدیل مرتفع به بایر اختصاص و مربوط می‌شود. همچنین محدوده و حریم ساخته شده شهر کاشمر از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ روند رو به رشد فیزیکی و افزایشی دارد.

جدول ۷- مساحت کاربری محدوده موردبررسی سال ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ (مترمربع)

۱۳۹۹	۱۳۸۹	۱۳۷۹	ردیف
۲۹۴۵۷۹۰۰	۱۹۸۱۹۸۰۰	۱۰۷۶۶۷۰	ساخته شده
۱۵۶۳۳۹۰۰	۳۰۶۶۳۰۰۰	۱۸۹۸۳۷۰۰	کشاورزی و باغ

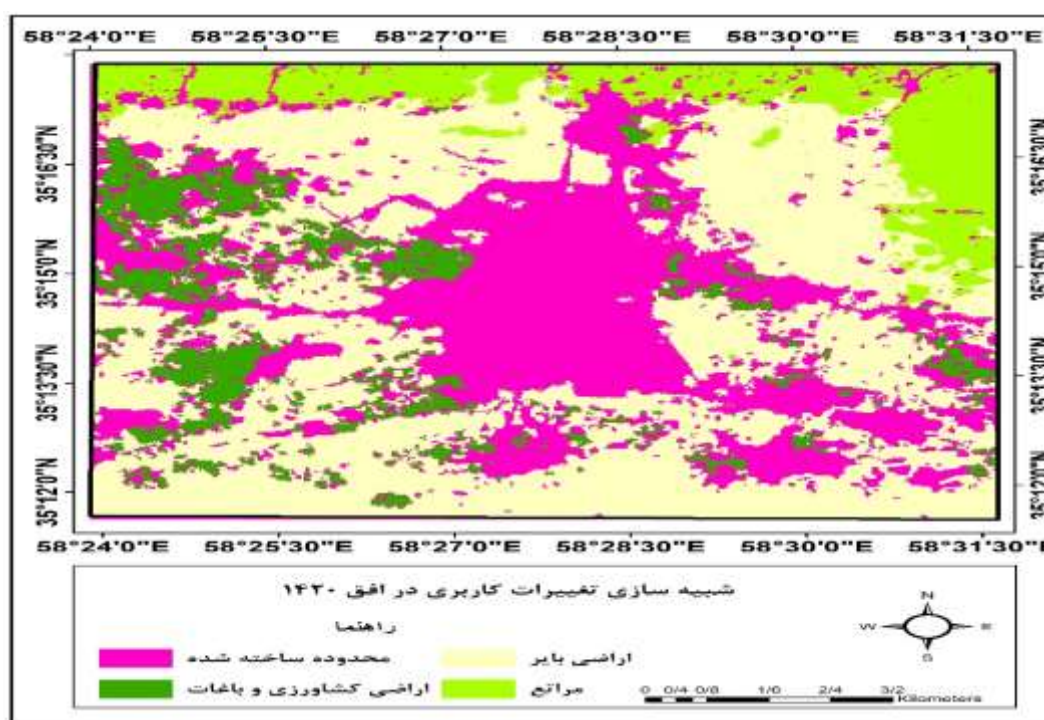
ردیف	۱۳۷۹	۱۳۸۹	۱۳۹۹
بایر	۱۰۲۹۶۲۷۰۰	۸۰۷۴۸۹۰۰	۸۰۶۱۵۷۰۰
مرتع	۲۱۹۴۲۰۰	۴۵۹۶۳۰۰	۹۱۹۹۸۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

بر اساس **جدول ۷** مساحت محدوده شهری از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ افزایش پیدا کرده، کاربری باغات و کشتزار از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ رویه‌ای افزایشی ولی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ به دلیل افزایش محدوده شهری روند کاهشی را نشان می‌دهد. اراضی بایر از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ کاهش و اراضی مرتعی روندی افزایشی را تجربه کرده است.

۴- پیش‌بینی و آینده‌نگاری کلاس‌های کاربری برای ۱۴۲۰

در زنجیره مارکوف کلاس‌های طبقه‌بندی به مثابه وضعیت‌های زنجیره به کار گرفته شده است. همچنین ماتریس مساحت انتقال نشان دهنده مقدار مساحتی از کاربری و کلاس می‌باشد که به کلاس دیگر در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ تغییر و تبدیل شده است.



شکل ۵- پوشش کاربری زمین شهر کاشمر برای آینده‌نگاری ۱۴۲۰

جدول ۸- وسعت پوشش کلاس‌های زمین در افق ۱۳۹۹-۱۴۲۰ (مترمربع)

ردیف	۱۳۹۹	۱۴۲۰
ساخته شده	۲۹۴۵۷۹۰۰	۴۱۹۰۹۴۰۰
کشاورزی و باغ	۱۵۶۳۳۹۰۰	۱۲۲۳۷۳۰۰
بایر	۸۰۶۱۵۷۰۰	۶۴۵۶۶۹۰۰
مرتفع	۹۱۹۹۸۰۰	۱۶۱۹۳۷۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

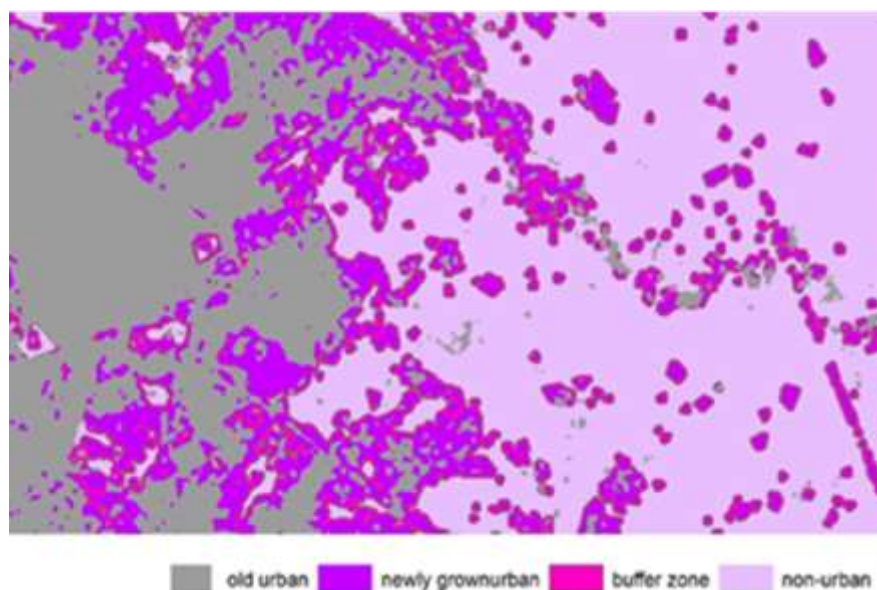
این اطلاعات و مقادیر به دست آمده وسعت کلاس‌های محدوده ساخته شده، باغات و کشتزارهای کشاورزی، اراضی بایر و مراتع را در سال ۱۴۲۰ برای محدوده شهر کاشمر مشخص می‌کند. **جدول ۸** میزان و مساحت کاربری‌ها را در سال ۱۳۹۹ و پیش‌بینی انتقال‌ها و تغییرات آن‌ها را در سال ۱۴۲۰ نمایان می‌سازد. بر اساس این جدول عمده تغییرات در محدوده و حریم ساخته شده و پس از آن کاربری‌های کشاورزی و باغ، و در اولویت بعدی مراتع و اراضی بایر کاهش یافته‌اند.

۵- گونه شناسی و تحلیل الگوهای رشد شهری (شاخص سیمای سرزمین (LEI))

طبق شاخص‌های به دست آمده توسعه شهری و براساس ارزش‌های عددی که بیشترین توسعه رشد شهر کاشمر حدود ۰,۰۰۰۰۰۱ درصد از نوع (infilling) به سمت حاشیه شهر خصوصاً شمال شهر و حدود ۹۹,۹۹ درصد از نوع توسعه از لبه شهر (edge-expansion) که رشد لبه‌ای نیز در شمال شهر بیشتر می‌باشد و ۰,۰۰۰۱۱ درصد توسعه بیرونی شهر (Outlaying) است. همچنین برای پیش‌بینی سال هزار و چهارصد و بیست رشد شهر کاشمر ۷,۱۲ درصد از نوع گسترش به سمت حاشیه شهر (infilling) و حدود ۹۱,۵۹ درصد از نوع توسعه از لبه شهر (edge-expansion) خواهد بود و حدود ۱,۲۸ درصد توسعه بیرونی (Outlaying) خواهد داشت.

جدول ۹- اطلاعات گونه رشد شهر کاشمر ۱۳۷۹-۱۴۲۰

۱۴۲۰-۱۳۹۹			۱۳۹۹-۱۳۷۹		
LEI	مساحت ۱۴۲۰ (km)	درصد	LEI	مساحت ۱۳۹۹ (km)	درصد
۰	۵,۸۸	۱,۲۹	۰	۳۶,۳۷	۰,۰۰۰۱
۲-<	۲۸,۰۲	۶,۱۱	>۵۰	۰,۳۴	۰,۰۰۰۰۱
۰<۲>	۴۲۴,۶۲	۹۲,۶۱	۵۰>,۰<	۳۲۱,۴۸	۹۹,۹۸
مجموع	۴۵۸,۵۲	۱۰۰	مجموع	۳۲۱,۲۲	۱۰۰



شکل ۶- گونه رشد شهری از سال ۱۳۹۹ تا سال ۱۴۲۰

۶- جمع‌بندی

زندگی شهری به سرعت در سطح جهان گسترش و در حال رشد می‌باشد. این سرعت در کشورهای در حال توسعه بسیار سریع‌تر و عجولانه‌تر از کشورهای پیشرفته است. روند شهرنشینی در ایران خیلی سریع و شتابان می‌باشد که این مسئله باعث شکل‌گیری مشکلات و معضلات عدیده‌ای شده است. علیرغم توجه برنامه ریزان توسعه افقی شهرها موجب انهدام و تخریب اراضی اطراف و حریم شهر، شهرک‌ها و محلات می‌شود. در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری و سنجش‌ازدور در دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ تغییرات و جابجایی کاربری‌های باغات و زمین‌های کشتزار، محدوده ساخته شده، زمین‌های بایر و بیابانی و مراتع مورد بررسی و سنجش قرار گرفته است. برای ارزیابی این موارد از روش طبقه‌بندی شیء گرا و یا به نوعی شیء پایه در نرم‌افزار Ecogonation و برای ارزیابی آینده‌نگاری و شبیه‌سازی از روش زنجیره مارکوف کمک گرفته شده است. با استفاده از مدل زنجیره مارکوف گونه و الگوی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی گردید. این مدل بر اساس تغییرات ایجاد شده در سال‌های قبل به محاسبه احتمال تغییرات در افق‌های آینده و تخصیص مکانی این جابجایی‌ها و تغییرات می‌پردازد و صرفاً روند کلی و اصلی تغییرات را در نظر نمی‌گیرد، بلکه روند کلاس‌ها در تمامی سال‌ها را در نظر و لحاظ می‌کند. بر اساس خروجی‌های حاصل از مدل مارکوف در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ مساحت محدوده ساخته شده، کشاورزی و باغات روبه رشد بوده و افزایش یافته است و در مقابل از مساحت اراضی بایر و مراتع کاسته شده و روندی نزولی گرفته است. تغییرات مساحت کلاس‌ها و شیء‌ها در سال ۱۴۲۰ نسبت به ۱۳۹۹ نزولی و

صورت کاهش یافته است. طبق شاخص‌های به دست آمده الگوهای توسعه شهری و بر اساس ارزش‌های عددی مستخرج از مدل‌ها بیشترین توسعه رشد شهر کاشمر حدود ۰,۰۰۰۰۰۱ درصد از نوع (infilling) به سمت حریم حاشیه شهر خصوصاً جهت شمال شهر و حدود ۹۹,۹۹ درصد از نوع گونه توسعه از لبه شهر (edge-expansion) است که رشد لبه‌ای نیز در شمال شهر به طور کامل تری نمود یافته است و ۰,۰۰۰۱۱ درصد توسعه بیرونی شهر کاشمر (Outlaying) می‌باشد. در مجموع این الگوی تغییر ساختارها بیانگر و نشان‌دهنده افزایش دخالت‌های بشر و غلبه چشم‌اندازهای انسانی بر محیط بکر پیرامونی طبیعی (مخصوصاً مراتع) است. در این راستا کاهش اراضی مرتعی با توجه به پیامدها و عواقب مختلف زیست‌محیطی ناشی از تخریب و نابودی پوشش گیاهی مثل افزایش ریزگردها، افزایش احتمال وقوع خطر سیلاب، کاهش نفوذپذیری و ذخیره آب در سفره‌های زیرزمینی و نیز پیامدهای و اثرات زیان‌بار اقتصادی-اجتماعی مثل آسیب به بخش‌های دامداری و کشاورزی که مهم‌ترین مسئله در هر جامعه‌ای هستند، بیکاری و مهاجرت خصوصاً در بین قشر جوان و جویای کار را به همراه خواهد داشت؛ از اهمیت زیاد و قابل توجهی برخوردار است. نتایج مقاله حاضر می‌تواند به عنوان هشدار بسیار جدی و مهم برای برنامه ریزان و مدیران و فعالان اقتصادی جامعه مورد مطالعه باشد تا با برنامه‌ریزی مناسب و در اولویت قرار دادن سیاست‌های درست و کارآمد مانند عمودی سازی و توجه به رشد درون‌زا و توسعه میان افزا، به عبارت دیگر گسترش در ارتفاع و نه در سطح، از گسترش بی‌رویه افقی و پراکنده رویی بدون برنامه‌ریزی قبلی جلوگیری و ممانعت نمایند.

کتابنامه

ابراهیمی، حمید؛ رسولی، علی اکبر؛ احمدپور، احمد. ۱۳۹۶. مدلسازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA_Markov (مطالعه موردی: شهر شیراز). فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۸، زمستان ۱۳۹۷.

https://www.sepehr.org/article_34625.html

اسدی، احمد؛ اکبری، ابراهیم؛ شفیعی، نجمه. ۱۳۹۸. پیش‌بینی توسعه فیزیکی شهر قائن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا). سال دهم، شماره یکم، (پیاپی ۳۶)، بهار ۱۳۹۹.

<https://doi.org/10.22108/sppl.2019.114824.1336>

اسدی، احمد؛ محمدپورسنگانی، زینت؛ حاجی‌زاده شیخوانلو، علی. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد و گسترش شهری با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور (نمونه موردی: تربت‌جام سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹). جغرافیا و مخاطرات محیطی، بهار ۱۴۰۰، شماره ۳۷، صص ۱۴۳-۱۶۰.

https://geoeh.um.ac.ir/article_39382.html

حسین‌آبادی، سعید؛ اکبری، ابراهیم؛ نقدبیشی، افسانه. ۱۳۹۸. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا و مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهر بیرجند و پیرامون آن). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و سوم، بهار ۱۳۹۹، صص ۱۸۸-۱۶۹.

https://geoeh.um.ac.ir/article_34046.html

حیدریان، پیمان؛ رنگزن، کاظم؛ ملکی، سعید؛ تقی زاده، ایوب. ۱۳۹۲. پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: اراضی شهر تهران). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. 10-1, 4(4).

https://girs.bushehr.iau.ir/article_516552.html

رضایی مقدم، محمدحسین؛ رضایی بنفشه درق، مجید؛ فیضی زاده، بختیار؛ نظم فر، حسین. ۱۳۸۹. طبقه‌بندی پوشش اراضی کاربری اراضی بر اساس تکنیک‌های گرا و تصاویر ماهواره‌ای. مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های آب‌خیزداری (پژوهش و سازندگی). (پیاپی ۸۷): ۳۲-۱۹.

https://journals.iau.ir/article_537511_d40c916b3ddc13176c9830ba5a426f2a.pdf

رفعیان، امید؛ درویش صفت، علی اصغر؛ بابایی کفاکی، ساسان؛ متاجی، اسداله. ۱۳۹۰. ارزیابی طبقه‌بندی‌های پیکسل - پایه و شی - پایه تصاویر هوایی برای تشخیص گونه‌های درختی (مطالعه موردی: جنگلکاری چمستان نور). مجله جنگل ایران. ۱۳۹۰.

http://www.ijf-isaforestry.ir/article_4638.html

ضیاییان، فیروزآبادی پرویز؛ شکبیا، علیرضا؛ متکان، علی اکبر؛ صادقی، علی. ۱۳۸۷. سنجش‌ازدور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری. (مطالعه موردی: شهر شهرکرد). علوم محیطی. (۱۳۸۷)، ۷ (۳)، ۱۳۳-۱۴۸.

https://envs.sbu.ac.ir/article_94444.html

عزیزی قلاتی، سارا؛ رنگزن، کاظم؛ سدید، جواد؛ حیدریان، پیمان؛ تقی زاده، ایوب. ۱۳۹۵. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (CA-مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. 71-59, 7(1).

https://girs.bushehr.iau.ir/article_521996.html

محمودزاده، حسن. ۱۳۹۳. ارزیابی و تحلیل اکولوژیکی توسعه فضایی کلانشهر تبریز، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز.

<https://www.virascience.com/thesis/793053/>

میرزایی زاده، وحید؛ نیک نژاد، مریم؛ اولادی قادیکلایی، جعفر. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۶ (۳)، ۲۹-۴۴.

https://girs.bushehr.iau.ir/article_516794.html

نیازی، یعقوب. ۱۳۸۸. مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مطالعه موردی: منطقه سد ایلام، جغرافیا و توسعه. ۸ (۲۰)، ۱۱۹-۱۳۲.

https://gdij.usb.ac.ir/article_633.html

- AL-Sharif, A.A.A., Pradham, B., (2013), Monitoring and predicting use-land change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS, Saudi Society for Geosciences 2013. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1119-7>
- Aslami, F., Ghorbani, A., Sobhani, B., Panahandeh, M. (2015). Comparing artificial neural network, support vector machine, and object-based methods in preparation of land use/cover maps using Landsat-8 images. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 6(3), 1-14. (in Persian). https://girs.bushehr.iau.ir/article_516792.html?lang=en
- Bagnan ,Hasi and Yamagata, Yoshiki.,2014. Land-cover change analysis in 50 global cities by using a combination of Landsat data and analysis of grid cells. Environmental Research Letters, Volume 9, Number 6. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064015>
- Cahya, D L., Martini, E., and K M Kasikoen.,2018. Urbanization and Land Use Changes in Peri-Urban Area using Spatial Analysis Methods (Case Study: Ciawi Urban Areas, Bogor Regency). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 123, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/123/1/012035>
- Chavez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote sensing of environment, 24(3), 459-479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, and Wang, Zhishi, 2008, Temporal and spatial change, detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl pp: 127-147. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9734-y>
- Gilmore, M. S., Wilson, E. H., Barrett, N., Civco, D. L., Prisloe, S., and Hurd, J. D . (2008). Integrating multi-temporal spectral and structural information to map wetland vegetation in a lower Connecticut River tidal marsh. Remote Sensing of Environment, 112, 4048-4060. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.05.020>
- Kim M; Madden, M; Warner, T; "Forest type mapping using object-specific texture measures from multispectral IKONOS imagery: segmentation quality and image classification issues", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.7.819>
- Li, E; Du, P; Samat, A; Xia, J; Che, M; "An automatic approach for urban land-cover classification from Landsat-8 OLI data", International Journal of Remote Sensing, 36, 24, 5983-6007, 2015. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1109726>
- Miranda-Aragón, L., Treviño-Garza, E. J., Jiménez- Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., González Tagle, M. A., Pompa-García, M. and Aguirre-Salado, C. A. (2012). Modeling susceptibility to deforestation of remaining ecosystems in North Central Mexico with logistic regression. Journal of Forestry Research, 23(3), 345-35. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0230-z>



The Analysis and Leveling of Key Drivers Affecting the Increase of Physical Resilience in Tehran against Earthquakes using Interpretive Structural Modeling (Case Study: District 10)

Amin Latifi^a, Keramatollah Ziari^{b*}, Seyyed Majid Nader^c

^a PhD Candidate in Urban Planning, Arts and Architecture Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

^b Professor in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

^c Assistant Professor in Urban Planning, Arts and Architecture Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 3 October 2021

Revised: 27 November 2021

Accepted: 1 December 2021

Abstract

Resilience is a new approach for assessing and enhancing the resilience of cities' development foundations. The purpose of this research is to model the key drivers effective in increasing the physical resilience of the district 10 of Tehran against earthquakes with a futuristic approach and designing the relationships between the key drivers. This study was conducted using descriptive-analytical method, and the key drivers affecting the increase of physical resilience were identified using content analysis method. In the modeling section, through Delphi method, the opinions of academic experts of physical resilience were obtained. Interview and a questionnaire were used to collect data. The validity of the questionnaire was evaluated using face validity criteria. Relationships between the key drivers affecting the increase of physical resilience of the studied sample against earthquakes were determined and analyzed by the interpretive structural modeling (ISM) method. Finally, using Micmac analysis, the key effective drivers were identified and classified in six levels according to their impact on other factors. The results show that the driver "granulation class" has the highest penetration force and is infrastructure and the main stimulus of urban physical resilience. Any action to increase the physical resilience of the sample against earthquakes requires modifications in this driver. Service distribution and the strength of public buildings have the least impact with 1 and 3 penetration force, respectively. The results also show that elements at higher levels have less stimulating power and more dependence.

Keywords: Key Drivers, Physical Resilience, Earthquake, Interpretive Structural Modeling, District 10 of Tehran

*. Corresponding author: Keramatollah Ziari E-mail: zayyari@ut.ac.ir Tel: +989121260602

How to cite this Article: Latifi, A., Ziari, K., & Naderi, S. M. (2022). The analysis and leveling of key drivers affecting the increase of physical resilience in Tehran against earthquakes using interpretive structural modeling (Case study: District 10). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 285-309.

DOI: 10.22067/geoh.2021.72853.1117



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72853.1117> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۳۰۹-۲۸۵
مقاله پژوهشی

تحلیل و سطح‌بندی پیش‌ران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM (مورد پژوهی: منطقه ۱۰)^۱

امین لطیفی - دانشجوی دکتری تخصصی شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
 کرامت‌اله زیاری^۲ - استاد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
سید مجید نادری - استادیار شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۱۰

چکیده

تاب‌آوری رویکردی نو در راستای ارتقای ظرفیت مانایی و تحمل‌پذیری بنیان‌های توسعه در شهرهاست. هدف از پژوهش پیش‌رو مدل‌سازی پیش‌ران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله با رویکرد آینده‌نگاری و طراحی ارتباطات بین این پیش‌ران‌ها است. پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی انجام شده و پیش‌ران‌های کلیدی موردبحث با روش تحلیل محتوا شناسایی شده‌اند. در بخش مدل‌سازی، از آرای خبرگان دانشگاهی در حوزه تاب‌آوری با روش دلفی استفاده شده است. داده‌ها با ابزار مصاحبه و پرسشنامه دوبه‌دویی جمع‌آوری و با استفاده از ملاک روایی صوری، روایی پرسشنامه سنجیده شده است. روابط بین پیش‌ران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در

۱ مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول تحت عنوان «آینده‌نگاری سناریومبنا به منظور تبیین مؤلفه‌های افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در مقابله با زلزله (نمونه موردی: منطقه ۱۰)»، به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب است.

Email: zayyari@ut.ac.ir

۲ نویسنده مسئول ۰۹۱۲۱۲۶۰۶۰۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

لطیفی، امین؛ زیاری، کرامت‌اله؛ نادری، سید مجید. (۱۴۰۱). تحلیل و سطح‌بندی پیش‌ران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM (مورد پژوهی: منطقه ۱۰). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص ۳۰۹-۲۸۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72853.1117>

برابر زلزله با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM) تعیین و به‌صورت یکپارچه تحلیل شده است. در نهایت با استفاده از تحلیل میک‌مک (Micmac) نوع پیشران‌های کلیدی با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها بر سایر عوامل مشخص و در شش عرصه، سطح‌بندی شده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پیشران "کلاس دانه‌بندی" با بیشترین قدرت نفوذ، زیربنا و محرک اصلی تاب‌آوری کالبدی شهری بوده و هرگونه اقدام برای افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، مستلزم اصلاحات در این پیشران است. پیشران‌های "توزیع خدمات" و "استحکام بناهای با کاربری عمومی" نیز به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را در تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه دارند. همچنین نتایج پژوهش حاکی از این است که عناصر در سطوح بالاتر، قدرت تحریک‌کنندگی کمتر و میزان وابستگی بیشتر دارند.

کلیدواژه‌ها: پیشران‌های کلیدی، تاب‌آوری کالبدی، زلزله، مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، منطقه ۱۰ تهران.

۱- مقدمه

تاب‌آوری یک مفهوم کلیدی به‌منظور عملی نمودن پایداری است و بیان می‌کند که چگونه یک نظام در برابر اختلالات وارده ایستادگی می‌کند و به تعادل می‌رسد و یا خود را با شرایط جدید سازگار می‌نماید (نبوی رضوی و همکاران، ۱۳۹۷). این مفهوم در واقع به‌عنوان بازگشت سریع بعد از تنش، تحمل تنش بیشتر و کاهش تخریب در اثر مقدار معینی از تنش تعریف شده است (آقامحمدی و غیاثوند، ۱۳۹۷). در طی دو دهه اخیر با افزایش بحران‌ها، تاب‌آوری شهرها و مناطق در مقابل مخاطرات طبیعی و انسانی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. اگرچه اجتماعات می‌توانند برخی از پیامدهای مربوط به مخاطرات را پیش‌بینی نمایند ولیکن بسیاری از اثرات ناشناخته و غیرقابل پیش‌بینی هستند (گاندerson^۱، ۲۰۱۰). همچنین خسارت‌های ناشی از مخاطرات طبیعی همچون زلزله به محیط و کالبد شهرها سبب شده مفهوم تاب‌آوری برای کاهش آثار سوانح به حوزه‌ای مهم در عرصه مدیریت بحران تبدیل شود. بدیهی است در شرایطی که ریسک و عدم قطعیت‌ها در حال رشد هستند، تاب‌آوری به‌عنوان مفهوم مواجهه با اختلالات، غافلگیری‌ها و تغییرات معرفی می‌شود (محمدی و منوچهری، ۱۳۹۷). نوع نگرش به مقوله تاب‌آوری و نحوه تحلیل آن، از یک طرف در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضع موجود و علل آن نقش کلیدی دارد و از طرف دیگر سیاست‌ها و اقدامات تقلیل خطر و نحوه رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۶). در واقع هدف از این رویکرد کاهش آسیب‌پذیری شهر و تقویت توانایی‌های شهروندان برای مقابله با خطرات ناشی از تهدیدات مخاطرات طبیعی از قبیل زلزله است (میتچل و هریس^۲، ۲۰۱۲).

1 Gunderson

2 Mitchell & Harris

با نگاه اجمالی به اسناد فرادست شهر تهران از جمله طرح راهبردی-ساختاری توسعه و عمران (طرح جامع جدید تهران-۱۳۸۶)، سقف جمعیت‌پذیری شهر در این طرح در افق ۱۴۰۵ شمسی برابر با ۱۰,۵ میلیون نفر تعیین شده است، اما بر اساس سرانه‌های استاندارد کاربری اراضی شهری، ظرفیت جمعیت‌پذیری تهران حدوداً شش میلیون نفر است و توان پاسخ‌دهی محیطی بیش از این تعداد را ندارد (مهندسین مشاور بوم‌سازگان پایدار، ۱۳۸۵). همچنین بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت تهران برابر با ۸۶۹۳۷۰۶ نفر بوده و نشان می‌دهد این بستر حداقل بیش از ۱,۴ برابر ظرفیت خود را در بر گرفته است. به عبارتی حدود ۱۰ تا ۱۱ درصد جمعیت کشور در شهر تهران مستقر هستند؛ درحالی‌که مساحت تهران یک درصد مساحت کل کشور نیست (فتحی، ۱۳۹۷). از سوی دیگر شهر تهران به دلیل همجواری با گسل‌های متعدد، در معرض خطر وقوع زلزله قرار دارد و به دلیل وجود بافت متراکم شهری و مقاومت پایین سازه‌های کالبدی به‌خصوص در مناطق میانی همچون نمونه مورد مطالعه، توسط مخاطرات جدی زلزله تهدید می‌شود. بر اساس آمار، حدود ۹۰ درصد از جمعیت تهران در پهنه‌های با خطر بالای زلزله سکونت دارند (صفاری و پولادوند، ۱۳۹۶).

مطالعات و شواهد حاکی از این است که بافت‌های مسکونی و شهری واقع در بخش میانی تهران، در برابر عدم تعادل‌های ناشی از بروز زلزله دچار نابسامانی‌های فیزیکی حاد می‌شوند و بحران حیات شهری را به وجود می‌آورند (منزوی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بنابراین پر واضح است که عدم تعادل‌های موجود در سرزمین که ناشی از عدم اتخاذ راهبردهای مناسب سازماندهی فضا منطبق بر نیازهای آینده است، در آینده‌ای نزدیک ساختار کالبدی-فضایی شهر تهران را در برابر مخاطرات زلزله با مشکلات و چالش‌های جدی مواجه خواهد نمود. در این میان، تاب‌آوری از جدیدترین مباحث حائز اهمیت مربوط به این حوزه است. تاب‌آوری مفهومی فراتر از پیش‌بینی دارد و به دلیل پویا بودن واکنش جامعه در برابر مخاطرات، نوعی آینده‌نگاری است و به دنبال تبیین سیاست‌هایی برای رویارویی با عدم قطعیت‌های محیطی است (رفعیان و همکاران، ۱۳۹۰).

باید اذعان داشت وضعیت فعلی شهر تهران حاصل چند دهه کم‌توجهی به موضوع مدیریت بحران و فقدان آینده‌نگاری در این حوزه است. لذا بهبود وضعیت موجود نیز نیازمند برنامه‌ریزی جامع و اجرای اقدامات کوتاه‌مدت تا بلندمدت است. تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی برای بهبود وضعیت کالبدی شهر تهران در برابر زلزله انجام شده و راهکارهای مختلفی نیز ارائه شده که اغلب مورد توجه قرار نگرفته است. مضاف بر اینکه تاکنون الگویی فراگیر از ارتباطات بین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله و تأثیرات آن‌ها بر روی یکدیگر ارائه نشده است. به همین منظور پژوهش حاضر در نظر دارد منطبق با جهت‌گیری‌های راهبردی طرح جامع جدید تهران (۱۳۸۶) که دستیابی به "شهری امن و مقاوم در برابر انواع آسیب‌ها، مخاطرات و سوانح در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ شمسی"، را به مثابه یکی از آرمان‌های سند چشم‌انداز شهر تهران در نظر گرفته است، افق چشم‌انداز

پژوهش حاضر را نیز همین سال و به صورت کوتاه مدت مدنظر قرار دهد تا از این طریق بتواند بستر مناسب برای برنامه ریزی بلندمدت آینده تاب آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله را از طریق نمونه مورد مطالعه، فراهم نماید. در همین راستا پژوهش حاضر به دنبال سطح بندی پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی منطقه ۱۰ شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل سازی ساختاری-تفسیری^۱ ISM و با رویکردی آینده نگارانه برای افق ۱۴۰۴ است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت و روش توصیفی-تحلیلی بوده و به دنبال پاسخ به این سؤال اساسی است که، مهم ترین پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله در شرایط عدم قطعیت محیطی چیست و روابط بین آنها چگونه تبیین و تحلیل می گردد؟ در این تحقیق، با استفاده از مدل سازی ساختاری-تفسیری روابط بین پیشران های کلیدی تعیین و به صورت یکپارچه تحلیل می شوند و در نهایت مدل یکپارچه پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با تأکید بر نمونه مورد مطالعه طراحی و ارتباطات بین آنها مشخص می شود.

۲- ادبیات موضوعی

۲-۱- ابعاد و چرخه تاب آوری

مفهوم واژه تاب آوری^۲ در واقع از واژه لاتین «Resilio» به معنای «به طور ناگهانی و یکباره عقب نشینی کردن (to jump back)» استخراج شده است؛ این کلمه را نخستین بار هولینگ^۳ در سال ۱۹۷۳ در مطالعات اکولوژیکی بکار گرفت (داداش پور و عادلی، ۱۳۹۴). تاب آوری، اشاره به سازگاری فرایندها به عنوان یک تغییر مستقل از سیستم دارد (رکن الدین افتخاری و صادقلو، ۱۳۹۷) و باید به گونه ای باشد که پیش بینی درستی در مورد توانایی جامعه برای بهبود پس از وقوع بحران ارائه دهد (فتوفیلوس و رومانولی^۴، ۲۰۲۰)، از این رو تاب آوری رویکردی است که در ابعاد گوناگون به بررسی بروز بحران می پردازد (لنگرنشین و همکاران، ۱۳۹۸). بعد اجتماعی^۵ تاب آوری بر ظرفیت جوامع در بازیابی خود پس از وقوع بحران تأکید دارد. در بعد اقتصادی^۶، تاب آوری به نیاز سیستم اقتصادی به سیستم پشتیبان برای حفظ پایداری و تعادل بعد از وقوع بحران می پردازد. بعد نهادی^۷ حاوی ویژگی های مرتبط با تقلیل خطر، برنامه ریزی و تجربه سوانح قبلی است. در بعد کالبدی^۸ تاب آوری که محور پژوهش حاضر است، علاوه بر

1 Interpretive Structural Modeling

2 Resilience

3 Holling

4 Feofilovs & Romagnoli

5 Social Resilience

6 Economic Resilience

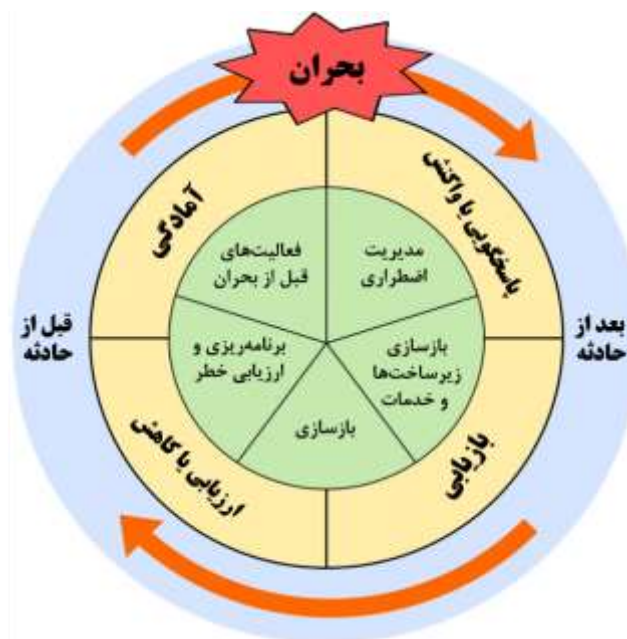
7 Institutional Resilience

8 Physical Resilience

تأمین سرپناه‌هایی برای آسیب‌دیدگان بعد از وقوع بحران، به اصولی برای طراحی کالبد قبل از وقوع بحران و مخاطره پرداخته می‌شود (کاتر و همکاران^۱، ۲۰۱۵).

چرخه تاب‌آوری شامل چهار مرحله است (الکساندر^۲، ۲۰۱۴):

۱. کاهش^۳: فعالیت‌هایی که برای حذف کردن یا کاهش آثار بحران و کاهش آثار زیانبار زلزله انجام می‌شود.
۲. آمادگی^۴: فعالیت‌هایی که برای حفظ جان مردم و کاهش آسیب‌ها با آماده‌سازی مردم برای واکنش مناسب در مواقع ضروری انجام می‌گیرد.
۳. واکنش^۵: فعالیت‌هایی که هنگام زلزله یا بی‌درنگ پس از آن برای فراهم کردن کمک‌های ضروری به آسیب‌دیدگان حادثه و کاهش احتمال حوادث ثانویه و سرعت بخشیدن در عملیات بازیابی انجام می‌شود.
۴. بازیابی^۶: این مرحله شامل برنامه کمک‌های فردی و جمعی است که مسکن موقت و انواع وام‌ها را برای افراد برای سرعت بخشیدن در بازیابی جوامع فراهم می‌کند.



شکل ۱- چارچوب ارزیابی تاب‌آوری

منبع: Adapted from Alexander, 2014

1 Cutter & et.al

2 Alexander

3 Mitigation

4 Preparedness

5 Response

6 Recovery

۲-۲- آینده‌نگاری تاب‌آوری

تلاش‌های علمی بشر برای شناخت آینده نخستین بار با پیش‌بینی شروع شد و در برنامه‌ریزی به کار رفت؛ با مشاهده تکرار در وقوع رویدادها، این پیش‌فرض به وجود آمد که نتایج و تبعات آن را می‌توان به همه رویدادهایی از آن جنس تعمیم داد (البرزی و همکاران، ۱۳۹۱). می‌توان گفت آینده‌نگاری شاخه‌ای از علوم انسانی است که به افراد جامعه مرتبط است. بر این قیاس، آینده‌نگاری دانشی ارزش‌بنیان است. توجه به آینده‌نگاری تاب‌آوری با تأکید بر بعد کالبدی، اولین بار توسط ساموئل تیلورکلرینز^۱ در نیمه اول قرن نوزدهم در مفهوم "تقویت مجدد در آینده" به کار رفت (لطیفی و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات حاکی از آن است که در سال‌های اخیر، آینده‌نگاری سبب ظهور بسیاری از موضوعات مرتبط با تاب‌آوری شده است. این موضوعات شامل تحلیل ریسک مخاطرات طبیعی و انسانی، ظرفیت‌سازی در کاهش تأثیرات مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی پابرجا و راهبردی افزایش تاب‌آوری کالبدی است. اهمیت بحث آینده‌نگاری در موضوعات فضایی و کالبدی باعث شده است که در دهه اخیر از برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو به‌منزله ستون فقرات برنامه‌ریزی ارتقای تاب‌آوری کالبدی در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی یاد کنند (راینسون^۲، ۲۰۲۰).

بیش از یک دهه است که رویکردها و نظریه‌های آینده‌نگاری تاب‌آوری در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیطی، پارادایم خود را از مدل کاهش تلفات و خسارت به یک مدل جامع‌تر تاب‌آوری تغییر داده‌اند. مهم‌ترین رویکردهای تاب‌آوری به چهار گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل رویکرد کنشگر^۳، کنش‌پذیر^۴ و رویکرد سازگار و گسترده است؛ گروه دوم نیز شامل سه رویکرد تاب‌آوری به‌عنوان آمادگی، تاب‌آوری به‌عنوان عملکرد و تاب‌آوری بی‌اثر است؛ گروه سوم رویکردهای تاب‌آوری را به دو رویکرد بخشی و کلی تقسیم می‌کند؛ و گروه چهارم نیز شامل رویکردهای تاب‌آوری و تعادل جهانی، تاب‌آوری و تعادل چندبُعدی است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴). آنچه مسلم است این است که تاب‌آوری معیارهای بلندمدتی را برای برنامه‌ریزی به کار می‌گیرد و این خود یکی از مصادیق آینده‌نگاری است. لذا پر واضح است که در دهه اخیر، نظریه تاب‌آوری از یک شاخص قابل‌اندازه‌گیری و قابل توصیف به یک "شیوه تفکر" تحول یافته است و در تلفیق با آینده‌نگاری این امکان را فراهم ساخته تا بشر بتواند تغییرات را پیش‌بینی و جهت تغییرات را مدیریت کند.

در پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص عوامل و پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر مخاطرات، هر یک از پژوهشگران بر یک یا چند بعد تأثیرگذار تأکید کرده و شاخص‌ها و زیرمعیارهایی را ارائه کرده‌اند. در پژوهش‌های داخلی، لطیفی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان "تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش

1 Samuel Taylor Coleridge

2 Robinson

3 Proactive

4 Reactive

تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (نمونه موردی: منطقه ۱۰)" با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و تکیه بر روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری در نرم‌افزار MicMac از بین ۴۱ متغیر اولیه تأثیرگذار، ۱۱ عامل کلیدی در تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ شهر تهران در برابر زلزله را شناسایی کردند و میزان تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر را مورد سنجش قرار دادند. **نوری و همکاران (۱۳۹۹)** در مطالعه تحقیقی خود با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و نمونه‌گیری هدفمند و بهره‌گیری از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، عوامل مؤثر بر تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی شهر شیراز در برابر مخاطرات طبیعی را سطح‌بندی کردند. بر اساس مطالعات آن‌ها در تحلیل تاب‌آوری سیستم‌های محیطی و انسانی در برابر مخاطرات طبیعی و همین‌طور در تحلیل و کاهش آسیب‌پذیری شهرها و محلات، تأکید بر بعد کالبدی و ویژگی‌های فیزیکی بایستی توأمان با تحلیل ساختارهای اجتماعی صورت پذیرد. **یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۸)** در پژوهشی با عنوان "بررسی میزان تاب‌آوری کالبدی شهر نورآباد ممسنی در برابر زلزله" به بررسی وضعیت تاب‌آوری محلات شهر مورد مطالعه در بعد کالبدی پرداختند. بدین‌صورت که در ابتدا با استفاده از روش‌های تاپسیس، کوپراس و مورا، مؤلفه‌های تاب‌آوری را در بین محلات سطح‌بندی و در نهایت از روش کپلند و تحلیل ساختاری-تفسیری برای تعیین رتبه نهایی عوامل کلیدی استفاده کردند. **حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶)** در پژوهشی تحت عنوان "بررسی ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری-تفسیری (نمونه موردی: شهر اهواز)" ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری در نمونه مورد مطالعه را با استفاده از مدل ISM و روش توصیفی-تحلیلی سطح‌بندی کردند. به استناد این مطالعات، ابعاد اقتصادی، کالبدی-محیطی و نهادی-مدیریتی در بالاترین سطح قرار گرفتند. **رضایی و همکاران (۱۳۹۴)** در پژوهشی تحت عنوان "سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله‌های شهر تهران)" با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی به ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی در محله‌های منتخب شهر تهران و ارائه چارچوبی برای سنجش میزان تاب‌آوری پرداختند و نشان دادند که این محله‌ها به لحاظ تاب‌آوری کالبدی در سطوح متفاوت و در طیفی از بهترین تا بدترین شرایط قرار می‌گیرند. **زالی و منصوری (۱۳۹۳)**، به مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل پایدار در افق ۱۴۰۴ کلانشهر تهران" با روش تحلیل ساختاری پرداختند. برای این منظور، در این پژوهش در مرحله نخست ۱۸ عامل اولیه شناسایی شده و تحلیل در نرم‌افزار میک‌مک انجام شد که عوامل زیرساخت حمل‌ونقل، ساخت فشرده شهری، فرهنگ‌سازی، مدیریت سامانه حمل‌ونقل و فناوری‌های جدید به عنوان عوامل کلیدی مؤثر شناخته شدند. **ربانی (۱۳۹۰)**، در مقاله‌ای تحت عنوان "روش تحلیل ساختاری، ابزاری برای شناخت و تحلیل متغیرهای مؤثر بر آینده موضوعات شهری" به معرفی تحلیل ساختاری-تفسیری در موضوعات و مسائل مربوط به شهر پرداخته و ضمن اشاره به تاریخچه استفاده از روش تحلیلی در مسائل شهری، توانایی این روش را در شناخت متغیرهای پیشران در توسعه یک نظام بیان نموده است.

در پژوهش‌های خارجی، **گونچالوز و ریبریو^۱** (۲۰۲۰)، در تحقیق خود به ارائه نقشه‌برداری از تاب‌آوری شهری در برابر بلایا و مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند. نتایج این مقاله نشان داد که با توجه به تاب‌آوری درونی، الگوها و روش‌های بسیار کمی در مقیاس شهری در این زمینه استفاده شده است و همچنین بیشتر نقشه‌های تاب‌آوری مبتنی بر رویکرد تحلیلی بوده و خاصیت سیستمی تاب‌پذیری را نشان نمی‌دهند. **چارلسون^۲ و همکاران** (۲۰۱۸) در پژوهشی تحت عنوان "سنجش تاب‌آوری مسکن در برابر زلزله در کشورهای در حال توسعه؛ زمانی برای تغییر بخش‌های دولت محلی" با استفاده از رویکرد ساختاری-تفسیری ISM و پس از بازبینی وضعیت فعلی ساختمان‌ها و آسیب‌پذیر بودن آن‌ها در برابر زلزله به این نتیجه رسیدند که اعمال تغییرات مثبت در ساختار دولت‌های محلی بایستی در اولویت قرار گیرد. از نظر آن‌ها نقاط قوت و ضعف سیاست‌ها و پروژه‌ها و در برخی موارد فرآیندهای بالقوه دگرگون شونده، ساخت تاب‌آوری کالبدی-زیست‌محیطی را برای تحقیقات آینده مهیا می‌کند. **بوستون^۳** (۲۰۱۷) در رساله دکتری خود که تحت عنوان "تاب‌آوری ساختمانی از طریق طراحی با رویکرد بهبود کارایی بیمارستان‌ها پس از زلزله" در دانشگاه جانز هاپکینز^۴ انجام داده است، در نتایج نهایی پژوهش با بهره‌گیری از روش ساختاری-تفسیری ISM به کدبندی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری ساختمان‌های بیمارستانی پرداخت. از نظر وی با رتبه‌بندی این عوامل می‌توان مدیریت عملکرد ساختمان‌ها در برابر زلزله را بهبود و ارتقا بخشید. **یوشیهیرو کانو^۵ و همکاران** (۲۰۱۷)، در پژوهشی تحت عنوان "طراحی ساختاری جوامع به‌منظور تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت شکاف‌های ناشی از عدم قطعیت‌ها" با استفاده از روش کیفی و بر اساس تئوری شکاف اطلاعاتی، به بررسی تاب‌آوری لرزه‌ای سازه‌ها در محیط‌های شهری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که به دلیل وجود عدم قطعیت‌های فراوان در هنگام وقوع مخاطرات طبیعی همچون زلزله، اقدامات از پیش برنامه‌ریزی شده در حوزه تاب‌آوری از مهم‌ترین ملزومات اجتناب‌ناپذیر در مواقع بروز بحران است. **مارتینلی و همکاران^۶** (۲۰۱۴) در پژوهش خود با عنوان "بررسی تاب‌آوری اقتصادی اجتماعات محلی متأثر از بلایای طبیعی در منطقه خلیج سانفرانسیسکو با استفاده از مدل ساختاری-تفسیری ISM" نشان دادند که مهم‌ترین عامل برای ارتقای تاب‌آوری اقتصادی سرمایه‌گذاری روی صنایع فردی در منطقه است.

1 Gonçalves & Ribeiro

2 Charleson

3 Boston

4 Johns Hopkins University

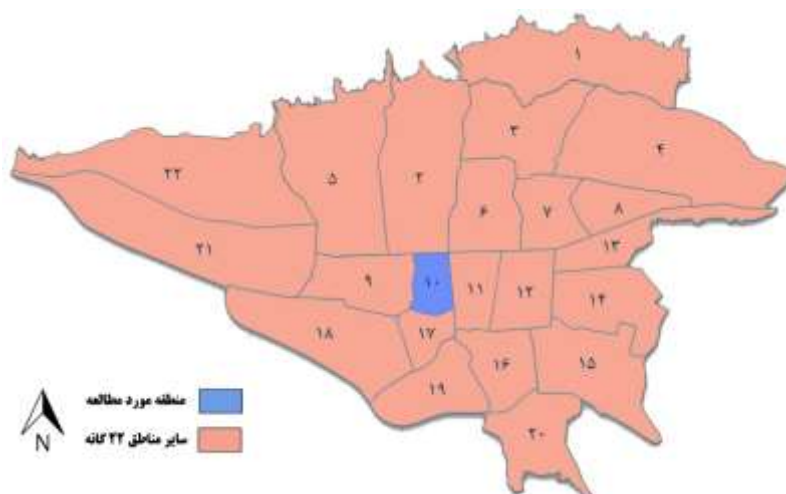
5 Yoshihiro Kanno, Shinnosuke Fujita & Yakov Ben-Haim

6 Martinelli & et.al

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه ۱۰ شهرداری تهران از شمال به خیابان آزادی واقع در جنوب منطقه ۲، از شرق به بزرگراه شهید نواب صفوی واقع در غرب منطقه ۱۱، از جنوب به خیابان قزوین واقع در شمال منطقه ۱۷ و از غرب به بزرگراه یادگار امام (ره) واقع در شرق منطقه ۹، محدود می‌شود (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۸). این منطقه با ۳ ناحیه شهری و ۱۰ محله قدیمی، پرجمعیت‌ترین منطقه تهران است. مساحت منطقه معادل ۸،۱۸۵،۴۸۷ مترمربع می‌باشد و در حدود ۳۲۷ هزار نفر (بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵) را در خود جای داده است که با تراکم ۴۲۰ نفر در هکتار جزء پر تراکم‌ترین مناطق شهر تهران می‌باشد. بافت فشرده با قطعات کوچک، سطح قابل ملاحظه‌ای از منطقه را به زیر اشغال برده است. چشم‌انداز منطقه در طرح جامع شهر تهران بر اساس امکانات، قابلیت‌ها و محدودیت‌های درونی و بیرونی منطقه در گستره شهر تهران تدوین شده است. در چشم‌انداز منطقه ۱۰، این منطقه، محدوده‌ای پیشگام در اجرای برنامه‌های بهسازی و نوسازی شهری و مقاوم‌سازی ساختمان، در نظر گرفته شده است (ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۲- موقعیت منطقه ۱۰ نسبت به سایر مناطق شهر تهران

منبع: طرح جامع تهران (مصوب ۱۳۸۶)

۳-۲- روش‌شناسی پژوهش

هدف از انجام این پژوهش، تحلیل روابط بین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با تأکید بر نمونه مورد مطالعه می‌باشد. روش تحقیق مقاله حاضر، توصیفی-تحلیلی و نتایج آن کاربردی است. پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل

محتوا و دلفی شناسایی شده‌اند. در بخش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری نیز، به کمک روش دلفی از آرای خبرگان دانشگاهی در حوزه تاب‌آوری که جامعه آماری پژوهش هستند استفاده شده است. داده‌ها با ابزار مصاحبه و پرسشنامه دوبه‌دویی جمع‌آوری شده و روایی پرسشنامه و ابزار سنجشی با ملاک روایی صوری ارزیابی شده است. مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM)، روشی نظام‌مند و ساختاریافته برای برقراری و فهم روابط میان عناصر نظامی پیچیده است که وارفیلد^۱ اولین بار در سال ۱۹۷۴ معرفی کرد (آتش‌سوز و همکاران، ۱۳۹۵). مدل‌سازی ساختاری-تفسیری فرایندی متعامل در مجموعه‌ای از عناصر گوناگون و مرتبط با همدیگر است که در مدل نظام‌مند جامعی ساختاربندی می‌شود (آذر و همکاران، ۱۳۹۸). ایده اصلی مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، تجزیه سیستم پیچیده به چند زیرسیستم، با استفاده از تجربه عملی و دانش خبرگان برای ساخت مدل ساختاری چندسطحی است (گاویندن و همکاران^۲، ۲۰۱۲). از آنجاکه در پژوهش حاضر متغیرهای موردبررسی کیفی هستند، به همین منظور برای تحلیل روابط بین آن‌ها از روش ساختاری-تفسیری استفاده شده است. رویکرد مدل‌سازی ساختاری-تفسیری یک متدولوژی مؤثر برای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی در سطوح مختلف اهمیت بر یکدیگر آثار متقابل دارند (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). روش دلفی و روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ایجاب می‌کند که اطلاعات خبرگان و متخصصان دریافت و تحلیل شود. برای انتخاب اعضای دلفی و گروه مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، از روش نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند استفاده شده است. معیارهای انتخاب خبرگان، تسلط نظری، تجربه عملی، تمایل و توانایی مشارکت در پژوهش و دسترسی است. نکته قابل توجه در تعیین تعداد خبرگان، کسب اطمینان از جامعیت دیدگاه‌های گوناگون در پژوهش است. تعداد خبرگان شرکت‌کننده در مدل‌سازی ساختاری-تفسیری مقالات بررسی شده معمولاً بین ۱۴ تا ۲۰ نفر است. درنهایت، در تحقیق حاضر ۲۰ نفر از خبرگان و متخصصان دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی با توجه به معیارهای یاد شده برای شرکت و همکاری در فرایند پژوهش انتخاب شدند. روایی محتوایی پرسشنامه در این پژوهش به حد و میزانی اشاره دارد که یک ابزار منعکس‌کننده محتوای مشخص مدنظر باشد. بر اساس روش لاوشه^۳، برای ایجاد روایی محتوایی در پرسشنامه، ابتدا با مرور ادبیات در حوزه مورد مطالعه، دامنه محتوا و بخش‌های پرسشنامه تدوین می‌شود؛ سپس از اعضای پانل خبرگان خواسته می‌شود با انتخاب یکی از سه گزینه «ضروری»، «مفید، اما نه ضروری» یا «غیرضروری»، به میزان مناسب بودن هر بخش پاسخ دهند. براین اساس، با کمک رابطه یک، نسبت روایی محتوایی محاسبه می‌شود و با توجه به سطح لازم برای معناداری آماری، ($P < 0.5$) کمینه ۰.۷۵، برای پذیرش در هر مرحله به‌دست می‌آید. برای نمونه نسبت روایی محتوایی برای افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله برابر با ۰.۸ و به‌صورت زیر محاسبه شده است.

1 Warfield

2 Govindan & et.al

3 Lawshe

$$CVR = \frac{N_e - N/2}{N/2} = \frac{19 - 20/2}{20/2} = 0.8$$

N_e = تعداد اعضایی که پاسخ ضروری داده‌اند

N = عدد کل اعضای پانل خبرگان

همچنین با استفاده از روش آزمون مجدد پایایی، میزان پایایی پرسشنامه ISM سنجیده شده است. بر این اساس، پرسشنامه مزبور دوباره به سه نفر از خبرگان و متخصصانی ارسال شد که دسترسی مجدد به آن‌ها امکان‌پذیر بود. درنهایت، مجموع همبستگی پاسخ‌های اعلام شده از طرف خبرگان برای هر دو مرحله ۰,۷۸۶ محاسبه شد. این شاخص مؤید آن است که پرسشنامه دارای پایایی قابل قبول است.

۳-۳- فرایند مدل‌سازی ساختاری-تفسیری

مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، فرایند تعاملی است که از طریق تفسیر نظرات گروهی خبرگان به چگونگی ارتباط بین مفاهیم یک مسئله می‌پردازد و ساختاری جامع از مجموعه پیچیده‌ای از مفاهیم ایجاد می‌کند که غالباً دارای شش گام است (ایجابی و همکاران، ۱۳۹۹):

گام اول: شناسایی عوامل (پیشران‌های) مربوط به مسئله: این مرحله با بررسی پژوهش‌های گذشته و دریافت نظر کارشناسان انجام می‌شود.

گام دوم: تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری: در این مرحله پیشران‌ها به صورت دوه‌دو با هم بررسی می‌شوند و پاسخ‌دهنده با استفاده از نمادهای ذیل به تعیین روابط پیشران‌ها می‌پردازد:

- نماد V: یعنی i به j منجر می‌شود.
- نماد A: یعنی j به i منجر می‌شود.
- نماد X: ارتباط دو سویه از i به j و برعکس.
- نماد O: هیچ ارتباطی بین i و j وجود ندارد.

گام سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه: در این مرحله از تبدیل نمادهای A و O به صفر و X و V به یک، ماتریس خودتعاملی ساختاری به ماتریس دودویی (ماتریس دسترسی اولیه) تبدیل خواهد شد.

گام چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی: پس از آنکه ماتریس دسترسی اولیه به دست آمد، با وارد کردن انتقال‌پذیری در روابط پیشران‌ها، ماتریس دسترسی نهایی به دست می‌آید.

گام پنجم: بخش‌بندی سطح وارفیلد، که دو قاعده اصلی را برای سطح‌بندی بیان می‌کند.

- قاعده اول: مجموع فراوانی عناصر بر اساس ستون مجموع خروجی و مجموع مشترک معین و به ترتیب از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین فراوانی سطح‌بندی شود.

- قاعده دوم: که به قاعده تکرار معروف است. بر اساس اولین جدول با توجه به کوچک‌ترین مجموع فراوانی در ستون مجموع خروجی و مجموع مشترک، عناصر سطح‌بندی می‌شوند. عناصر سطح‌بندی شده از جدول حذف و دوباره قاعده اجرا می‌شود. فرایند حذف و روابط غیرمستقیم تعمیم می‌یابد.

گام آخر: تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی (نمودار میک‌مک): بر اساس قدرت وابستگی و نفوذ پیشران‌ها، دستگاه مختصاتی به چهار قسمت تقسیم می‌شود. گروه اول، خوشه یا پیشران‌های خودمختار هستند که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. گروه دوم، خوشه یا پیشران‌های وابسته هستند که قدرت نفوذ ضعیفی دارند، اما از وابستگی زیادی برخوردارند. گروه سوم، خوشه یا پیشران‌های پیوندی می‌باشند که قدرت نفوذ و وابستگی زیادی دارند. گروه چهارم، خوشه یا پیشران‌های مستقل (اصلی) هستند که از قدرت نفوذ زیادی برخوردارند و وابستگی کمی دارند. از جمع کردن ورودی‌های یک در هر سطر و ستون، قدرت نفوذ و وابستگی پیشران‌ها به دست می‌آید.

۴- یافته‌های پژوهش

از آنجاکه آینده‌نگاری اساساً مبتنی بر عدم قطعیت‌های محیطی و مطالعه روابط پیچیده و چندگانه است، لذا شناسایی محرک‌ها و پیشران‌های اصلی مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله از اولویت‌های اساسی پژوهش حاضر به حساب می‌آید. به منظور شناسایی عوامل اولیه مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله، در گام نخست با بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیق، مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی در منطقه ۱۰ تهران شناسایی و در قالب پرسشنامه دلفی تهیه و تدوین شدند. در گام بعدی این شاخص‌ها در دو دور دلفی برحسب میانگین، انحراف معیار و ضریب توافق شاخص‌ها جهت حضور در پالایش نهایی، به وسیله اعضای پانل خبرگان و بر مبنای مقیاس پنج گزینه‌ای لیکرت مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، اعضای پانل خبرگان از متخصصان رشته برنامه‌ریزی شهری در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی که دارای شناخت از موضوع تاب‌آوری و بافت شهری تهران بودند انتخاب شدند. در نهایت از مجموع ۴۱ متغیر تأثیرگذار، ۱۱ پیشران به عنوان پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله انتخاب شدند. در این تحقیق پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، پس از شناسایی، با رویکرد ISM سطح‌بندی شده و به تأیید خبرگان رسیدند (جدول ۱) که در ادامه فرایند آن تشریح شده است. باید اذعان داشت که منطق مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM منطبق بر روش‌های ناپارامتریک و بر مبنای مدل در فراوانی‌ها عمل می‌کند. اگر چه در رویکردهای تعدیل شده مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، بکارگیری روش‌های گشتاوری متعارف شده است، اما با وجود مفروضات پارامتریک، همچنان متدولوژی ناپارامتریک آن که در این پژوهش اجرا شده است، روش غالب است.

جدول ۱- پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

پیشران‌ها	مؤلفه
دسترسی به شبکه معابر اصلی	C1
دسترسی به نهادهای امداد رسان (مرکز مدیریت بحران و...)	C2
ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز	C3
دسترسی به آتش‌نشانی	C4
استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)	C5
توزیع خدمات	C6
بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار	C7
کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)	C8
کلاس دانه‌بندی	C9
حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)	C10
نسبت راه به ساختمان در محدوده مورد مطالعه	C11

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

۴-۱- ماتریس خودتعاملی ساختاری^۱ (SSIM)

پس از شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، این پیشران‌ها در ماتریس خودتعاملی ساختاری وارد شدند. خبرگان این ماتریس را در چهار حالت روابط مفهومی تکمیل کرده‌اند. سپس اطلاعات به دست آمده بر اساس روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری جمع‌بندی شده و ماتریس خودتعاملی ساختاری نهایی تشکیل می‌شود. علائم و حالت‌های به کار رفته در این رابطه مفهومی در [جدول ۲](#) ارائه شده است.

1 Structural Self – Interaction Matrix

جدول ۲- ماتریس خودتعاملی ساختاری پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران

در برابر زلزله

i-j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	-	V	A	V	O	V	O	A	X	O	X
C2		-	O	X	O	V	O	O	A	O	V
C3			-	X	V	O	V	V	A	X	O
C4				-	O	V	O	O	A	O	A
C5					-	O	A	O	O	V	O
C6						-	O	A	A	O	A
C7							-	O	V	V	O
C8								-	V	O	O
C9									-	O	X
C10										-	O
C11											-

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

۴-۲- ماتریس دسترسی اولیه^۱

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خودتعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر-یک) به‌دست می‌آید. برای استخراج ماتریس دسترسی، باید در هر سطر عدد ۱ جایگزین علامت‌های V و X و عدد صفر جایگزین علامت‌های A و O در ماتریس دسترسی اولیه شود. پس از تبدیل همه سطرها، نتیجه به‌دست آمده، ماتریس دسترسی اولیه نامیده می‌شود. سپس روابط ثانویه بین بعد/ شاخص‌ها کنترل می‌شود. رابطه ثانویه به‌گونه‌ای است که اگر بُعد j به بُعد i و بُعد k به i منجر شود، بُعد j به بعد k منجر خواهد شد.

جدول ۳- ماتریس دسترسی اولیه پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر

زلزله

i-j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
C2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
C3	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
C4	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
C6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
C8	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
C9	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
C10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
C11	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

۴-۳- ماتریس دسترسی نهایی^۱

پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه، با دخالت دادن انتقال پذیری در روابط پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، ماتریس دسترسی نهایی تشکیل می شود تا ماتریس دسترسی اولیه سازگار شود. بدین صورت که اگر i و j و نیز j و k با هم در ارتباط باشند آنگاه i و k با هم در ارتباط هستند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می شوند. در **جدول زیر** سلول های که به صورت 1^* نشان داده شده روابطی هستند که در ماتریس سازگار شده ایجاد شده اند. در این مرحله کلیه روابط ثانویه بین پیشران های کلیدی بررسی شده است و ماتریس دسترسی نهایی مطابق **جدول زیر** به دست آمده است. در این ماتریس قدرت نفوذ هر پیشران عبارت است از تعداد نهایی پیشران هایی (شامل خودش) که ممکن است در ایجاد آن ها نقش داشته باشند. میزان وابستگی عبارت است از تعداد نهایی پیشران های که موجب ایجاد پیشران مذکور می شوند.

جدول ۴- ماتریس دسترسی نهایی پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر

زلزله

قدرت نفوذ	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	i-j
7	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	دسترسى به شبکه معابر اصلی
6	1*	0	1	0	1	0	0	0	1*	0	1	دسترسى به نهادهای امداد رسان ...
11	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1	1*	1	1*	ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت و ساز
4	1*	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1*	دسترسى به آتش نشانی
3	0	0	1*	0	1	0	0	0	0	1	0	استحکام بناهای با کاربری عمومی ...
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	توزیع خدمات
10	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	0	1	1	1*	بازسازی و بهسازی ساختمان های ناپایدار
8	1	1*	1*	1*	0	1	0	1	1	0	1*	کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)
11	1	1	1	1	1*	1	1*	1*	1	1*	1	کلاس دانه بندی
6	1*	0	1	0	1*	0	1*	1*	0	1	0	حفاظت از امکانات و زیرساخت های عمومی
7	1	1*	1*	1	0	1	0	0	1	0	1	نسبت راه به ساختمان در محدوده ...
	8	8	8	8	5	9	4	4	7	5	8	میزان وابستگی

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۰.

در **جدول ۴**، قدرت نفوذ (میزان تأثیری که هر پیشران بر سایر پیشران ها دارد) ۱۱ پیشران شناسایی شده مؤثر در افزایش تاب آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله مشاهده می شود. نتایج، بیانگر این است که پیشران های

ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز و کلاس دانه‌بندی با میزان قدرت نفوذ ۱۱، بیشترین تأثیر و پیشران‌های توزیع خدمات و استحکام بناهای با کاربری عمومی به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را دارند.

۴-۴- سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله

بعد از تدوین ماتریس دسترسی نهایی، پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، سطح‌بندی می‌شوند. برای تعیین سطح پیشران‌ها در مدل نهایی به ازای هر کدام از آنها سه مجموعه خروجی، ورودی و مشترک تشکیل می‌شود. مجموعه خروجی (دسترسی) هر پیشران شامل پیشران‌هایی می‌شود که از طریق این پیشران می‌توان به آنها رسید و مجموعه ورودی (پیش‌نیاز) شامل پیشران‌هایی می‌شود که از طریق آنها می‌توان به این پیشران رسید. به عبارت دیگر مجموعه خروجی مجموعه‌ای است که در آن سطرها و عدد پیشران‌ها به صورت یک و مجموعه ورودی مجموعه‌ای است که در آن ستون‌ها و عدد پیشران‌ها به صورت یک ظاهر شده باشند. با به‌دست آوردن اشتراک این دو، مجموعه مشترک به دست می‌آید. به عنوان مثال، بر پایه ماتریس نهایی پژوهش حاضر، مجموعه پیش‌نیاز برای پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی یا C1" مجموعه‌ای از پیشران‌ها است که به‌صورت ستونی زیر آن قرار گرفته‌اند و توانسته‌اند در درایه مشترک خود با این پیشران، عدد یک را به دست آورند. همچنین مجموعه دستیابی برای پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی یا C1" مجموعه‌ای از پیشران‌ها است که به‌صورت سطری در مقابل آن قرار گرفته و هر کدام توانسته‌اند در درایه مشترک خود با این پیشران عدد یک را به دست آورند. پیشران‌هایی که مجموعه مشترکشان با مجموعه خروجی‌شان یکی باشد، سطح اول اولویت را به خود اختصاص می‌دهند. با حذف این پیشران‌ها و تکرار این فرایند برای سایر پیشران‌ها، سطوح سایر پیشران‌ها نیز مشخص می‌شود. سپس بر اساس سطوح تعیین شده و ماتریس نهایی، دیاگرام ISM ترسیم می‌شود. نتایج حاکی از آن است که پیشران "کلاس دانه‌بندی"، قوی‌ترین و پرنفوذترین برانگیزاننده افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله است و همانند سنگ زیربنای مدل عمل می‌کند و باید در وهله اول برای افزایش و ارتقای تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد پژوهش در برابر مخاطرات زلزله و دست یافتن به آن در افق ۱۴۰۴ روی آن تأکید کرد (جدول ۵).

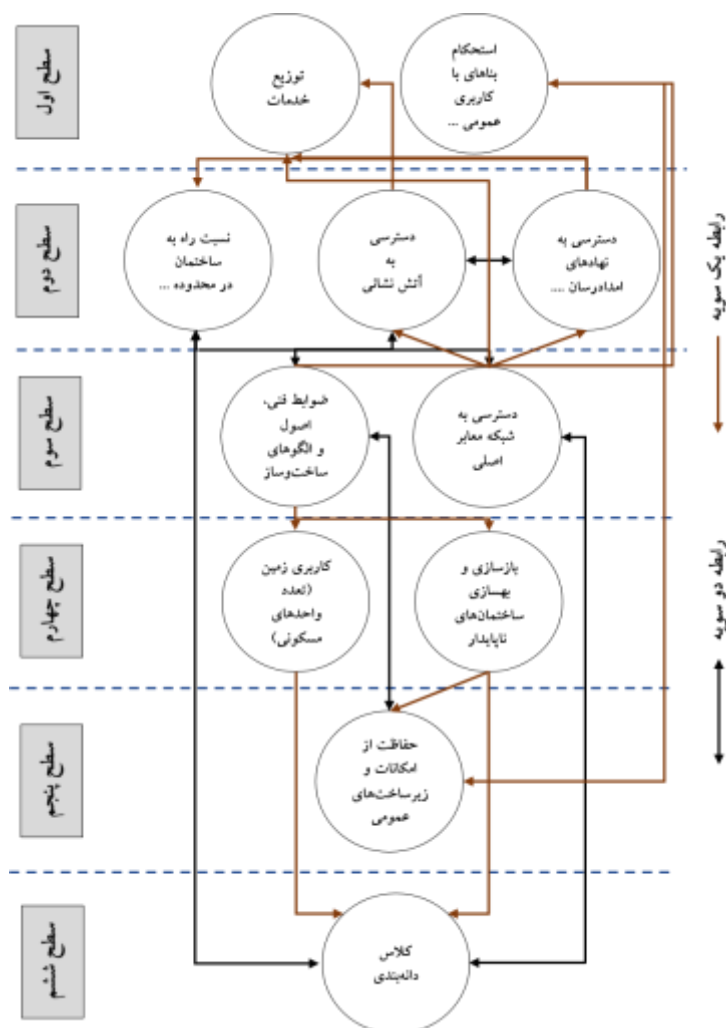
جدول ۵- تعیین سطوح پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

پیشران‌ها	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح
C1	۱۱،۹،۶،۴،۳،۲،۱	۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۳،۲،۱	۱۱،۹،۳،۲،۱	سوم
C2	۱۱،۹،۶،۴،۲،۱	۱۱،۹،۸،۷،۴،۳،۲،۱	۱۱،۹،۴،۲،۱	دوم
C3	۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۵،۳،۱	۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۵،۳،۱	سوم
C4	۱۱،۶،۴،۲	۱۱،۹،۸،۷،۴،۳،۲،۱	۱۱،۴،۲	دوم
C5	۱۰،۵،۳	۱۰،۹،۷،۵،۳	۱۰،۵،۳	اول

پیشران ها	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح
C6	۶	۱۱،۹،۸،۷،۶،۴،۳،۲،۱	۶	اول
C7	۱۱،۱۰،۹،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۱۰،۹،۷،۳	۱۰،۹،۷،۳	چهارم
C8	۱۱،۹،۸،۶،۴،۳،۲،۱	۱۰،۹،۸،۳	۹،۸،۳	چهارم
C9	۱۱،۱۰،۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱	۱۱،۹،۸،۷،۳،۲،۱	۱۱،۹،۸،۷،۳،۲،۱	ششم
C10	۱۰،۸،۷،۵،۳،۱	۱۰،۹،۷،۵،۳	۱۰،۷،۵،۳	پنجم
C11	۱۱،۹،۶،۴،۳،۲،۱	۱۱،۹،۸،۷،۴،۳،۲،۱	۱۱،۹،۴،۳،۲،۱	دوم

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۰.

همانطور که در **جدول ۵** ملاحظه می شود، پیشران های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله با رویکرد آینده نگاری برای افق ۱۴۰۴ در شش سطح طبقه بندی شده اند. بدین ترتیب که پیشران های C5 و C6 در سطح اول، پیشران های C2 و C4 و C11 در سطح دوم، پیشران های C1 و C3 در سطح سوم، پیشران های C7 و C8 در سطح چهارم، پیشران C10 در سطح پنجم و پیشران C6 در سطح ششم قرار گرفته اند. سپس با استفاده از جدول تعیین سطوح و ماتریس دستیابی نهایی نمودار نمایشی پیشران ها رسم می گردد. در دیاگرام ISM، روابط متقابل و تأثیر گذاری بین پیشران های سطوح مختلف آشکار است و همانگونه که مشاهده می شود، برخی از پیشران ها ارتباط یک سویه با سایر پیشران ها دارند، به این معنی که یا روی پیشران دیگر تأثیر می گذارند یا از پیشران دیگر تأثیر می پذیرند. برخی از پیشران ها نیز ارتباط دوسویه با سایر پیشران ها دارند به این معنی که هم از پیشران دیگر تأثیر می پذیرند و هم بر آن تأثیر می گذارند و در نهایت برخی پیشران ها نیز هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. برای مثال، پیشران C8 روی پیشران C9 تأثیر می گذارد اما از آن تأثیر نمی پذیرد (ارتباط یک سویه). پیشران های C2 و C4 ارتباط دوسویه دارند و پیشران های C6 و C10 هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. سپس در مرحله آخر با استفاده از تحلیل میک مک درجه اهمیت پیشران ها تعیین می گردد. بدیهی است تعیین سطوح پیشران ها و ترسیم روابط بین آن ها موجب درک بهتر فضای تصمیم گیری می شود (**شکل ۳**).



شکل ۳- مدل‌سازی (سطح‌بندی) ساختاری-تفسیری پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با تأکید بر منطقه ۱۰
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

۴-۵- تحلیل میک‌مک

در این مرحله، با استفاده از ابزار میک‌مک، نوع پیشران‌ها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها بر سایر پیشران‌ها مشخص خواهد شد و پس از تعیین قدرت نفوذ یا اثرگذاری و قدرت وابستگی، تمام پیشران‌های مؤثر در ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، با رویکرد آینده‌نگاری در یکی از خوشه‌های چهارگانه با بهره‌گیری از ماتریس اثرات متقابل^۱ پیشران‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. در آنالیز این روش باید خطوط مرزی نمودار

1 Cross Impact Analysis

مشخص شود. معمولاً برای تعیین این خطوط از رابطه $(N/2)+1$ استفاده می‌کنند که در آن N تعداد مؤلفه‌ها می‌باشد و چنانچه عدد بدست آمده، اعشاری باشد به سمت بالا گرد می‌شود. در نهایت عدد به‌دست آمده، خطوط مرزی محورهای افقی و عمودی را مشخص می‌کند. در پژوهش حاضر بر طبق فرمول و برای ۱۱ پیشران موجود، عدد ۶٫۵ بدست می‌آید که با گرد کردن به سمت بالا، عدد ۷ انتخاب می‌شود. همچنین قبل از خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی، بایستی تابلوی میزان وابستگی و قدرت نفوذ پیشران‌ها ترسیم گردد.

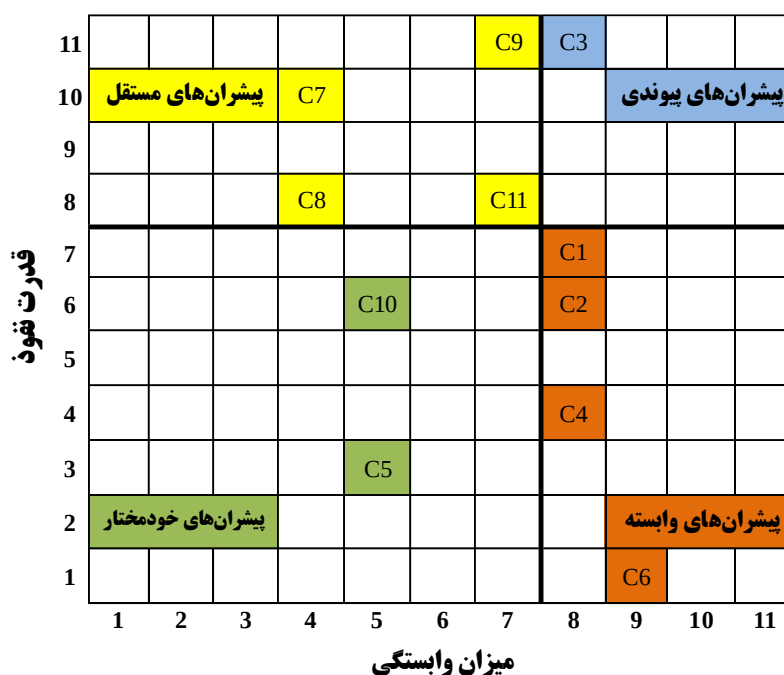
جدول ۶- تابلوی میزان وابستگی و قدرت نفوذ پیشران‌ها

پیشران	Driving forces قدرت نفوذ	Dependent forces میزان وابستگی
C1	 7	 8
C2	 6	 8
C3	 11	 8
C4	 4	 8
C5	 3	 5
C6	 1	 9
C7	 10	 4
C8	 8	 4
C9	 11	 7
C10	 6	 5
C11	 7	 8

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

با ترسیم نمودار خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی، پرواضح است که پیشران‌های (۱) ایجاد دسترسی به شبکه معابر اصلی، (۲) دسترسی به نهادهای امدادرسان (مرکز مدیریت بحران و...، ۴) دسترسی به آتش‌نشانی و (۶) توزیع خدمات بیشتر از سایر پیشران‌ها متأثر بوده و از لحاظ سیستمی جزو عناصر اثرپذیر و وابسته هستند. پیشران‌هایی نظیر (۷) بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار، (۸) کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)، (۹) کلاس دانه‌بندی و (۱۱) نسبت راه به ساختمان در محدوده مورد مطالعه جزو پیشران‌های مستقل (اصلی) برای افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله به‌شمار می‌روند که قدرت نفوذ زیادی دارند. پیشران‌های (۵) استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان) و (۱۰) حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی) در گروه پیشران‌های خودمختار قرار گرفتند که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف‌تری دارند. همچنین پیشران (۳) ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز، پیشران پیوندی محسوب می‌شود و از قدرت نفوذ و وابستگی زیادی برخوردار است. قدرت

نفوذ و میزان وابستگی هر یک از پیشران‌های مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی = نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله با رویکرد آینده‌نگاری به روش میک‌مک
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰.

۵- بحث و جمع‌بندی

ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها با رویکرد آینده‌نگارانه نیازمند تبیین پیشران‌های کلیدی، بنیادی و اثرگذار و کشف ارتباط بین آن‌هاست. این پژوهش بینش و شناختی جدید از ماهیت تاب‌آوری کالبدی بافت متراکم شهری در برابر مخاطرات زلزله ارائه کرده است که موجب تشخیص اولویت‌های اقدام در فضای تصمیم‌گیری می‌شود. سؤال اصلی این پژوهش آن بود که مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله در شرایط عدم قطعیت محیطی چیست و روابط بین آن‌ها چگونه تبیین و تحلیل می‌گردد؟ در این پژوهش، با استفاده از نظر متخصصان (۲۰ نفر از خبرگان دانشگاهی که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شده‌اند) و مرور ادبیات نظری و همچنین با استفاده از تکنیک دلفی، ۱۱ پیشران مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله شناسایی شدند. سپس پیشران‌ها با استفاده از میزان قدرت نفوذشان بر یکدیگر، در شش عرصه سطح‌بندی شدند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پیشران "کلاس دانه‌بندی" با میزان قدرت نفوذ ۱۱

بیشترین تأثیر و پیشران‌های "توزیع خدمات" و "استحکام بناهای با کاربری عمومی" به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را در آینده تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله دارند. البته شایان ذکر است که بالا بودن قدرت نفوذ یک پیشران به تنهایی نمی‌تواند نشان از تأثیرگذاری صرف آن بر سایر پیشران‌ها باشد، بلکه در کنار قدرت نفوذ می‌بایست روابط یک‌سویه و دوسویه پیشران‌ها نیز مورد توجه قرار گیرند. نتایج حاصل از جدول سطح‌بندی نشان می‌دهد که پیشران‌هایی که با سایر پیشران‌ها ارتباط بیشتری دارند و روی آن‌ها تأثیر می‌گذارند، از اهمیت بیشتری برخوردارند. پیشران "کلاس دانه‌بندی" به علت اینکه از سایر پیشران‌ها تأثیرپذیری کمتری دارد؛ (تأثیرپذیری کمتر به این معنی است که پیشران مورد نظر از سایر پیشران‌ها در ارتباط با موضوع تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله کمتر مؤثر می‌شود)؛ لذا به همین خاطر در سطح ششم قرار می‌گیرد. در سطح پنجم پیشران "حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)" قرار دارد که با یک پیشران در سطح سوم رابطه دوسویه دارد. در سطح چهارم پیشران‌های "بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار" و "کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)" قرار گرفته‌اند که هیچ رابطه متقابلی بین این دو پیشران وجود ندارد. در سطح سوم دو پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی" و "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" قرار دارند که اگرچه بین این دو پیشران رابطه متقابلی وجود ندارد اما پیشران "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" از قدرت نفوذ قابل توجهی برخوردار است. در سطح دوم سه پیشران "دسترسی به نهادهای امداد رسان (مرکز مدیریت بحران و...)"، "دسترسی به آتش‌نشانی" و "نسبت راه به ساختمان در محدوده مورد مطالعه" قرار گرفته‌اند که بین دو پیشران با موضوع دسترسی رابطه متقابل وجود دارد. پیشران‌های سطح اول که بالاترین قسمت نمودار را تشکیل می‌دهند و شامل "استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)" و "توزیع خدمات" هستند، به سایر پیشران‌های کلیدی وابسته هستند و از اثرگذاری کمتری برخوردارند. در نهایت مبتنی بر تحلیل میک‌مک نیز خوشه‌بندی پیشران‌ها تعیین گردید. پیشران‌های خوشه مستقل شامل پیشران‌های "بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار"، "کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)"، "کلاس دانه‌بندی" و "نسبت راه به ساختمان در محدوده مورد مطالعه" اثرگذاری بالایی دارند و کمترین اثر را از سایر پیشران‌ها می‌پذیرند، به همین دلیل هرگونه اقدام برای افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله، مستلزم توجه بسیار زیاد به این نوع از پیشران‌ها است. پیشران‌های خوشه پیوندی فقط شامل پیشران "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" است که دارای قدرت نفوذ با وابستگی زیادی است که علاوه بر تأثیر بر سایر پیشران‌ها از آن‌ها نیز متأثر می‌شود. پیشران‌های خوشه وابسته شامل "دسترسی به شبکه معابر اصلی"، "دسترسی به نهادهای امداد رسان (مرکز مدیریت بحران و...)"، "دسترسی به آتش‌نشانی" و "توزیع خدمات" دارای قدرت نفوذ کم، ولی وابستگی زیادی هستند که نشان‌دهنده این است که بیشتر به سایر پیشران‌ها وابسته‌اند و بنابراین، انتخاب آن‌ها تحت تأثیر سایر پیشران‌هاست. در نهایت پیشران‌های خوشه خودمختار

شامل پیشران‌های "استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)" و "حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)" هستند که توأمان میزان وابستگی و قدرت نفوذ کمی دارند. این پیشران‌ها عموماً از سیستم جدا می‌شوند زیرا دارای اتصالات و روابط ضعیفی با سایر پیشران‌ها هستند.

با مقایسه نتایج و پیشینه پژوهش، روابط مبهم بین پیشران‌های مؤثر جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد مطالعه در برابر زلزله مشخص گردید و مدلی جامع و متمایز با مدل‌های موجود در زمینه آمادگی مواجهه با مخاطرات محیطی همچون زلزله با سلسله مراتب و همچنین روابط مشخص، ارائه شد. مدل ارائه شده خلاء موجود در زمینه پژوهش را که ناشی از ابهام روابط بین پیشران‌ها و نیز مشخص نبودن سلسله مراتب بین پیشران‌ها است، مرتفع نمود. در پایان بر اساس یافته‌های پژوهش و روابط بین پیشران‌ها، اقدامات زیر به‌عنوان تصمیمات مؤثر در جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی محدوده مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد:

- برنامه‌ریزی صحیح کاربری زمین از قبیل ضوابط تفکیک به‌منظور کاهش شدت آسیب‌های ساختمانی و تلفات در مواقع بروز بحران؛
- استفاده بهینه از ابزار کارآمد "کلاس دانه‌بندی" در برنامه‌ریزی تغییرات کاربری زمین برای به حداقل رساندن آسی‌بهای ناشی از مخاطرات زلزله؛
- خلق و تولید الگو در تمام ابعاد مقاوم‌سازی بناها نظیر؛ تولید طرح، تولید زمین، تولید سرمایه و تولید ساختمان؛
- افزایش استحکام بناها و نفوذپذیری به بافت به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری منطقه در مقابل خطرات تخریب و اثرات جانبی زلزله؛
- بالا بردن ظرفیت انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری تأسیسات منطقه و تجهیزات امداد و نجات در کنار توجه به تغییر کالبد.

کتابنامه

- آتش‌سوز، علی؛ فیضی، کامران؛ کزازی، ابوالفضل؛ الفت، لعیاء؛ ۱۳۹۵. مدل سازی تفسیری-ساختمانی ریسک‌های زنجیره تأمین صنعت پتروشیمی. نشریه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی. دوره ۱۴. شماره ۴۱. صص ۳۹-۶۳. <https://doi.org/10.22054/jims.2016.4168>
- آذر، عادل؛ خسروانی، فرزانه؛ جلالی، رضا؛ ۱۳۹۸. تحقیق در عملیات نرم رویکردهای ساختاردهی مسئله. چاپ چهارم. انتشارات سازمان مدیریت صنعتی. تهران.
- البرزی، هادی؛ علی‌عسکری، عبدالعلی؛ صلواتیان، سیاوش؛ ۱۳۹۱. آینده‌پژوهی راهبردی صداوسیما جمهوری اسلامی ایران در فضای اینترنت، نخستین همایش ملی آینده‌پژوهی جمهوری اسلامی ایران با رویکرد تمدن‌سازی نوین

اسلامی، تهران. <https://civilica.com/doc/242386>

ایجابی، ابراهیم؛ درویشی سه تلانی، فرهاد؛ مینایی، حسین؛ فضلی، صفر؛ کشاورز، عین اله؛ ۱۳۹۹. طراحی چارچوب آینده نگاری راهبردی فناوری های دفاعی در حوزه پدافند هوایی به روش مدل سازی ساختاری- تفسیری. فصلنامه علمی پژوهشی آینده پژوهی دفاعی. دوره ۵. شماره ۱۶. صص ۱۴۳-۱۶۹.

<https://doi.org/10.22034/DFSR.2020.39784>

پوراحمد، احمد؛ زیاری، کرامت اله؛ ابدالی، یعقوب؛ اله قلی پور، سارا؛ ۱۳۹۸. تحلیل معیارهای تاب آوری در بافت فرسوده شهری در برابر زلزله با تأکید بر تاب آوری. فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری. شماره ۳۶. صص ۱-۲۱.

http://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3408.html

حاتمی نژاد، حسین؛ فرهادی خواه، حسین؛ آروین، محمود؛ رحیم پور، نگار؛ ۱۳۹۶. بررسی ابعاد مؤثر بر تاب آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری-تفسیری (نمونه موردی: شهر اهواز). فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران. دوره ۷. شماره ۱. صص ۳۵-۴۵.

<http://dpmk.ir/article-1-112-fa.html>

داداش پور، هاشم؛ عادل، زینب؛ ۱۳۹۴. سنجش ظرفیت های تاب آوری در مجموعه شهری قزوین. دو فصلنامه علمی - پژوهشی مدیریت بحران. دوره ۴. شماره ۲. صص ۷۳-۸۴.

http://www.joem.ir/article_18579.html

ربانی، طاهار؛ ۱۳۹۰. روش تحلیل ساختاری، ابزاری برای شناخت و تحلیل متغیرهای مؤثر بر آینده موضوعات شهری. اولین همایش ملی آینده پژوهی. تهران.

<https://civilica.com/doc/242374>

رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی؛ حسینی، سید مصطفی؛ ۱۳۹۴. سنجش و ارزیابی میزان تاب آوری کالبدی اجتماع های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله های شهر تهران). فصلنامه پژوهش های جغرافیای انسانی.

دوره ۴۷، شماره ۴. صص ۶۰۹-۶۲۳. <https://doi.org/10.22059/JHGR.2015.51228>

رفیعیان، مجتبی؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزکار، اکبر؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. تبیین مفهومی تاب آوری و شاخص سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع محور (CBDM). فصلنامه علمی پژوهشی برنامه ریزی و آمایش

فضا. دوره ۱۵، شماره ۴. صص ۱۹-۴۱. <https://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-9255-fa.html>

رکن الدین افتخاری، عبدالرضا و صادق، طاهره؛ ۱۳۹۷. تاب آوری اجتماعات محلی در برابر مخاطرات محیطی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

زالی، نادر؛ منصوری، سارا؛ ۱۳۹۳. تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل و نقل پایدار در افق ۱۴۰۴ کلانشهر تهران (روش تحلیل ساختاری). فصلنامه علمی برنامه ریزی و آمایش فضا. شماره ۲. صص ۱-۳۲.

<https://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-8161-fa.html>

ساسان پور، فرزانه؛ سلیمانی، محمد؛ ضیائی، پرویز؛ دلفان آذری، زهرا؛ ۱۳۹۴. جایگاه محله در توسعه پایدار شهر (مطالعه موردی: محله های منطقه ۱۰ شهرداری تهران). فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش های جغرافیایی انسانی.

دوره ۴۷، شماره ۱. صص ۱۵۹-۱۷۶. <https://doi.org/10.22059/JHGR.2015.51280>

سلمانی، محمد؛ بدری، سیدعلی؛ مطوف، شریف؛ کاظمی ثانی عطاالله، نسرين؛ ۱۳۹۴. ارزیابی رویکرد تاب آوری

- جامعه در برابر مخاطرات طبیعی مورد مطالعه: شهرستان دماوند. فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت مخاطرات محیطی. دوره ۲. شماره ۴. صص ۳۹۳-۴۰۹. <https://doi.org/10.22059/JHSCI.2015.58266>
- صفاری، حمید؛ پولادوند، محمدحسین؛ ۱۳۹۶. ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تهران بر اساس تحلیل خطر قطعی و شاخص‌های لرزه‌ای مناطق همجوار گسل. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت. دوره ۴. شماره ۳. صص ۱۰۹-۱۲۸. <https://doi.org/10.22065/JSCE.2017.79793.1112>
- فتحی، الهام؛ ۱۳۹۷. روند تحولات جمعیت شهر تهران: از گذشته تا آینده. دو ماهنامه تحلیلی-پژوهشی آمار. سال ششم. شماره ۱. صص ۳۲-۳۵. <https://amar.srtc.ac.ir/article-1-349-fa.html>
- غفاری، عطا؛ پاشازاده، اصغر؛ آقایی، واحد؛ ۱۳۹۶. سنجش و اولویت‌بندی تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله (نمونه موردی: شهر اردبیل و مناطق چهارگانه آن). نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۶. شماره ۲۱. صص ۴۵-۶۵. <https://doi.org/10.22067/GEO.V6I1.48413>
- لطیفی، امین؛ ۱۴۰۰. آینده‌نگاری سناریومینا به منظور تبیین مؤلفه‌های افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در مقابله با زلزله (نمونه موردی: منطقه ۱۰). رساله دکتری شهرسازی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب. دانشکده هنر و معماری. گروه شهرسازی. به راهنمایی دکتر کرامت‌اله زیاری.
- لطیفی، امین؛ زیاری، کرامت‌اله؛ نادری، سید مجید؛ ۱۴۰۰. تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (مطالعه موردی: منطقه ۱۰). نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۰. شماره ۱. صص ۱۶۱-۱۸۲.
- <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.69072.1026>
- لنگرشنین، علی؛ ارغان، عباس؛ کرکه آبادی، زینب؛ ۱۳۹۸. سنجش شاخص‌ها و الگوهای اثرگذار در تاب‌آوری بافت‌های شهری (مطالعه موردی محلات تجریش، جنت‌آباد شمالی و فردوسی شهر تهران). فصلنامه علمی پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. دوره ۱۱. شماره ۴۳. صص ۲۴۵-۲۷۰.
- https://geography.garmsar.iau.ir/article_665983.html
- محمدی، سعدی؛ منوچهری، سوران؛ ۱۳۹۷. تحلیلی بر ارتباط زیست‌پذیری و تاب‌آوری جوامع روستایی (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان مریوان). فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی. دوره ۸. شماره ۴. صص ۸۹-۱۱۰. <https://doi.org/10.22108/sppl.2018.110922.1207>
- منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل؛ ۱۳۸۹. آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۲). فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های جغرافیای انسانی. دوره ۴۲. شماره ۷۳. صص ۱-۱۸. https://jhgr.ut.ac.ir/article_24467.html
- مهندسان مشاور بوم سازگان؛ ۱۳۸۵. گزارش طرح جامع (راهبردی- ساختاری) شهر تهران.
- نبوی رضوی، هاله سادات؛ حبیبی، سید محسن؛ طیبیان، منوچهر؛ ۱۳۹۷. نقش ساختار شهر در تاب‌آوری آن در برابر زلزله. فصلنامه علمی پژوهشی هویت شهر. دوره ۱۲. شماره ۳۵. صص ۲۹-۳۸.
- https://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_13395.html

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، ابراهیم؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی ساختاری-تفسیری عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی شهر شیراز در برابر سانحه طبیعی سیل. *دوفصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیای اجتماعی شهری*. دوره ۷. شماره ۱۷. صص ۱۴۹-۱۷۲. https://jusg.uk.ac.ir/article_2695.html

یاراحمدی، منصوره؛ نیک‌پور، عامر؛ لطفی، صدیقه؛ ۱۳۹۸. بررسی میزان تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله (مورد مطالعه: نورآباد ممسنی). *فصلنامه علمی-پژوهشی کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*. دوره ۷. شماره ۲. صص ۱۴۷-۱۷۱. http://grd.yazd.ac.ir/article_1725.html

- Alexander, D., 2014. Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Science*. 1(2):1257-1284. <https://doi.org/10.5194/nhessd-1-1257-2013>
- Boston, M., 2017. Building Resilience Through Design: Improving Post-Earthquake Function of Hospital, Ph.D Thesis, Advisor Judith Mitrani, Department Of Civil Engineering, *Johns Hopkins University*.
- Charleson, A., Kusliansjah, K., Widjaja, P., 2018. Improving the seismic resilience of housing in developing countries: time to transform local government building departments, *MATEC Web of Conferences*, 229, 1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822903017>
- Cutter, S. L., 2015. The Landscape of Disaster Resilience Indicators in the USA. *Natural Hazards*, 80, 741-758. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2>
- Feofilovs, M., & Romagnoli, F., 2020. Assessment of Urban Resilience to Natural Disasters with a System Dynamics Tool: Case Study of Latvian Municipality, *Journal of Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, No. 3, pp. 249-264. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0101>
- Gonçalves, L. A. P. J., & Ribeiro, P. J. G., 2020. Resilience of urban transportation systems. Concept, characteristics, and methods. *Journal of Transport Geography*, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102727>
- Govindan, K., Palaniappan, M., Zhu, Q. and Kannan, D., 2012. Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural, *International Journal of Production Economics*, 140(1): 204- 211. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.043>
- Gunderson, L.H., 2010. Ecological and human community resilience in response to natural disasters. *Ecology and Society*. 15(2): 323-331. <https://doi.org/10.5751/ES-03381-150218>
- Kanno, Y. Fujita, S. & Ben-Haim, Y., 2017. Structural design for earthquake resilience: Info-gap management of uncertainty, *Journal of Structural Safety*, Volume 69, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2017.07.004>
- Martinelli, D., G. P. Cimellaro, V. Terzic, and S. Mahin., 2014. Analysis of economic resiliency of communities affected by natural disasters: the bay area case study. *Procedia Economics and Finance*, 18: 959-968. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)01023-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)01023-5)
- Mitchell, T., Harris, K.(2012), Resilience: a risk management approach, *International Journal of Remote Sensing*, 32: 713-821. <http://cdn-odi-production.s3.amazonaws.com/media/documents/7552.pdf>
- Robinson, T. R., 2020. Scenario ensemble modelling of possible future earthquake impacts in Bhutan, *Journal of Natural Hazards*, Volume 103, 3457-3478. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04138-x>



Explaining the Impact Pattern of Urban Resilience Capacity on Food Security of Urban Households during the Corona Pandemic (Case Study: Masal City)

Yaser Gholipour^{ID}*

PhD Researcher in Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: 8 January 2022

Revised: 16 February 2022

Accepted: 6 March 2022

Abstract

Over the recent years, the corona virus has seriously jeopardized progress in reducing poverty, improving hunger, increasing health care, and improving the quality of education. The outbreak of the virus, according to international organizations, has increased the number of hungry, poor and malnourished people, and has left the world with a wave of food insecurity. In this regard, the role of urban resilience capacity at the household and community level in reducing the impacts of the crisis on the quality of life and restoring the original power and maintaining it during a pandemic is significant. Resilience capacity is a set of conditions, considered to make families resilient enough to deal with shocks. Resilience capacity in this study have absorption, adaptiveness and variability aspects as well as a wide range of specific capacities. This survey is descriptive-analytical. Also, considering the analysis of the relationship between independent variables (resilience capacity) and dependent is also a correlation research. The statistical population of the study included heads of households in Masal city. The sampling method was multi-stage cluster sampling and sample size were determined using Cochran's formula of 384 people. The aim is to explain the capacity of urban resilience to maintain food security during the Corona pandemic in Masal. SPSS and LISREL 8.80 were used for this purpose. Structural equations show that the capacities have been effective in improving food security. The following capacities also reduced Corona's negative impacts on food security: social and human capital, information, assets, livelihood diversity, safety shelters, market access, women's empowerment, governance, and psychological capabilities like trust for adaptation.

Keywords: Resilience Capacity, Food Security, Right to Food, Corona, Masal

*. E-mail: gholipour.yaser@znu.ac.ir

Tel: + 989129628973

How to cite this Article: Gholipour, Y. (2022). Explaining the impact pattern of urban resilience capacity on food security of urban households during the corona pandemic (Case study: Masal city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 311-333.

DOI: 10.22067/geoh.2022.74616.1150



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>



<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74616.1150>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۳۱۱-۳۳۳
مقاله پژوهشی

تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری در دوران پاندمی کرونا (مطالعه موردی: شهر ماسال)

یاسر قلی‌پور^۱ - دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

چکیده

ویروس کرونا سال‌ها پیشرفت در کاهش فقر، بهبود گرسنگی، افزایش مراقبت‌های بهداشتی و کیفیت آموزش را با خطر جدی روبه‌رو کرد. شیوع ویروس کرونا طبق گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی بر شمار گرسنگان، فقرا و افراد دارای سوءتغذیه افزوده است و جهان را با موجی از ناامنی غذایی روبه‌رو کرده است. در همین راستا نقش ظرفیت تاب‌آوری شهری در سطح خانوار و اجتماع، در کاهش اثرات بحران بر کیفیت زندگی و بازیابی توان اولیه و حفظ آن در طول پاندمی قابل‌توجه است. ظرفیت تاب‌آوری مجموعه‌ای از شرایط است که خانواده‌ها را قادر می‌سازد در مواجهه با شوک‌ها به انعطاف‌پذیری لازم دست یابند. ظرفیت تاب‌آوری در این مقاله شامل سه جنبه جذبی، تطبیقی و تغییرپذیری و همچنین طیف وسیعی از ظرفیت‌های خاص می‌شود. تحقیق حاضر توصیفی-تحلیلی، مبتنی بر پیمایش (زمینه‌یاب) است؛ همچنین با توجه به واکاوی ارتباط بین متغیرهای مستقل (ظرفیت تاب‌آوری) و وابسته (شاخص‌های امنیت غذایی) در زمره تحقیقات همبستگی نیز قرار می‌گیرد. جامعه آماری تحقیق شامل سرپرستان خانوار در شهر ماسال، روش نمونه‌گیری، خوشه‌ای چندمرحله‌ای و حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران برابر ۳۸۴

Email: gholipour.yaser@znu.ac.ir

^۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۹۶۲۸۹۷۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

قلی‌پور، یاسر. (۱۴۰۱). تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری در دوران پاندمی
کرونا (مطالعه موردی: شهر ماسال). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳). صص ۳۱۱-۳۳۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74616.1150>

نفر تعیین گردیده است. هدف آن تبیین نقش ظرفیت تاب‌آوری شهری در حفظ وضعیت شاخص‌های امنیت غذایی (موجود بودن غذا، دسترسی به غذا، بهره‌مندی غذایی و پایداری) در طول پاندمی کرونا در شهر ماسال است. برای این کار از نرم‌افزارهای SPSS و LISREL 8.80 استفاده شده است. نتایج معادلات ساختاری می‌دهد ظرفیت‌های سه‌گانه در حفظ و بهبود شاخص‌های امنیت غذایی مؤثر بوده‌اند. همچنین ظرفیت‌های زیر تأثیر منفی کرونا را بر امنیت غذایی خانوار کاهش داده است: سرمایه اجتماعی، سرمایه انسانی، کسب اطلاعات، دارایی‌ها، تنوع معیشتی، شبکه‌های ایمنی، دسترسی به بازارها و خدمات، توانمندسازی زنان، حکمروایی و قابلیت‌های روانی، قابلیت‌های اجتماعی.

واژگان کلیدی: ظرفیت تاب‌آوری، امنیت غذایی، کرونا، ماسال

۱- مقدمه

غذا برای رفاه انسان عاملی اساسی است و توسعه انسانی برای دستیابی به امنیت غذایی نقش اساسی دارد. امنیت غذایی حالتی است که در آن همه افراد در هر زمان، دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به غذای کافی، ایمن و مغذی دارند که هم نیازهای غذایی و هم ترجیحات غذایی آن‌ها را برای یک زندگی فعال و سالم برآورده می‌کند. امنیت غذایی شامل چهار بعد موجود بودن^۱، دسترسی^۲، بهره‌مندی^۳ و ثبات^۴ است (فائو، ۲۰۱۳). در طول چندین دهه، امنیت غذایی جهانی قادر به حل مشکل ساختاری دسترسی اقتصادی به غذا که منجر به تعداد افراد کم‌تغذیه از سال ۲۰۱۴ شده است، نبوده است و ناامنی غذایی به یک چالش بزرگ در سرتاسر جهان تبدیل شده است. بحران اقتصادی سال ۲۰۰۸ و رکود متعاقب آن، ناامنی غذایی و انرژی سال ۲۰۰۷ و پاندمی ۲۰۲۰، شکنندگی و آسیب‌پذیری‌های متعدد و جریانانی را در سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی ما و اشکال متعددی از بی‌عدالتی و نابرابری‌های اکولوژیکی، نژادی، اجتماعی، اقتصادی و جنسیتی را آشکار کرده است (آمادی، ۲۰۲۰). علی‌رغم تلاش‌های جوامع بین‌المللی برای رفع ناامنی غذایی و کاهش مستمر آن در دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ میلادی، شمار افراد دچار سوءتغذیه دوباره از سال ۲۰۱۵ رشد داشته است (اروخین^۵ و جاثو^۶، ۲۰۲۰). سازمان فائو گزارش داده است که بیش از ۸۲۰ میلیون نفر در جهان از گرسنگی رنج می‌برند، درحالی‌که حدود دو میلیارد نفر دچار ناامنی غذایی متوسط یا شدید هستند و پیش‌بینی می‌شود شمار افراد دارای سوءتغذیه تا سال ۲۰۳۰ به ۸۴۰ میلیون نفر برسد (فائو، ۲۰۱۹). در گذشته عامل اصلی کمبود غذا، خشکسالی و سایر بحران‌های طبیعی بوده است. با پیدایش جهانی شدن، امنیت

1 availability

2 access

3 utilization

4 stability

5 Food and Agriculture Organization

6 Amadei

7 Erokhin

8 Gao

غذایی بیشتر از آنکه موضوعی کشاورزی باشد، زمینه‌ای اقتصادی یافته است (فائو، ۱۹۹۲). اخیراً سیستم عرضه غذای جهانی با پدیده نادری به نام کرونا روبه‌رو شده است. ویروسی که از اسلاف خود قوی‌تر و سرعت انتقال بیشتری دارد. در این میان حدسیات فائو نیز درست از آب درنیامد؛ به‌طوری‌که در سال‌های گذشته عامل اصلی تهدیدات علیه امنیت غذایی را درگیری‌های نظامی و تغییرات آب‌وهوایی معرفی کرده بود، در گزارش ۲۰۲۰ خود تأکید کرد که رکود و کاهش اقتصادی ناشی از پاندمی، اقدامات عملی برای پایان‌دادن به گرسنگی را با مشکل روبه‌رو کرده است. علاوه بر این فائو تخمین زده است که همه‌گیری کرونا ۸۲ میلیون تا ۱۳۲ میلیون به افراد دچار سوءتغذیه در سال ۲۰۲۰ افزوده است. برای کاهش این رشد چشمگیر در ناامنی غذایی، درک ماهیت افزایش تعداد مبتلایان به سوءتغذیه در طول همه‌گیری ضروری است (الیاس^۱ و جمبور^۲، ۲۰۲۱).

کرونا اثرات زیادی بر سیستم غذایی جهانی داشته است؛ دلیلش را می‌توان این‌طور عنوان کرد که خود ویروس و واکنش‌های سیاسی، به‌ویژه قرنطینه‌ها و الزامات فاصله اجتماعی باعث رکود بزرگ و اختلالات عمده در زنجیره ارزش غذایی شده است. ترکیب این دو در سرتاسر جهان موجب ناامنی غذایی و سوءتغذیه افراد زیادی شده است. سازمان تجارت جهانی گزارش داده است که از زمان شروع همه‌گیری، قرقیزستان، مقدونیه شمالی، اوکراین، تایلند و مصر ممنوعیت صادرات را در موارد مواد غذایی و محصولات کشاورزی مختلف اعلام کردند و مخصوصاً این اقدامات را به شیوع ویروس نسبت داده‌اند (سازمان تجارت جهانی^۳، ۲۰۲۰). علاوه بر این قیمت مواد غذایی افزایش یافت و این نگرانی به‌وجود آمد که ناامنی غذایی و شمار فقرا افزایش خواهد یافت و همزمان با همه‌گیری ویروس، وضعیت تغذیه گروه‌های آسیب‌پذیر، وخیم‌تر خواهد شد (لابورده^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). در آوریل ۲۰۲۰، برنامه جهانی غذا اعلام کرد که شمار افراد در معرض ناامنی غذایی بدون انجام اقدامات مشترک دو برابر خواهد شد (برنامه جهانی غذا^۵، ۲۰۲۰). دلایل مختلفی وجود دارد که شیوع بیماری کرونا ممکن است ناامنی غذایی را در سطح کشورهای با درآمد متوسط یا پایین افزایش دهد. محدودیت‌های رفت‌وآمد بیشترین تأثیرات را بر ناامنی غذایی داشته‌اند.

دورو^۶ و همکاران بیان می‌کنند که اختلال در سیستم‌های غذایی هم از لحاظ تولید (تولید و فرآوری) و هم از جهت تقاضا (دسترسی اقتصادی و فیزیکی به غذا) قابلیت اثرگذاری بر امنیت غذایی را دارند. در این میان بازارهای غیررسمی بیشتر از بازارهای رسمی آسیب‌پذیرند و درآمد پایین باعث کاهش قدرت خرید غذا در بین گروه‌های آسیب‌پذیر می‌گردد. در واقع جوامع با کاستی‌های اقتصادی و اجتماعی در برابر اختلالات سیستم غذایی، نسبت به

1 Éliás

2 Jámbo

3 World Trade Organisation

4 Laborde

5 World Food Programme

6 Devereux

سایر اجتماعات، بیشتر در معرض خطرند (کاتر^۱، ۲۰۱۷؛ هاتسون^۲، ۲۰۱۴). به عبارت بهتر جوامع با ظرفیت تاب‌آوری کمتر، پایداری و استقامت پایین‌تری در برابر بحران‌های مختلف دارند. درواقع در سال‌های اخیر، گفتمان توسعه دریافته است که ایجاد این ظرفیت‌ها برای مقابله با شوک‌ها، که در سراسر جهان در حال گسترش‌اند، کلید کمک به خانواده‌ها برای خروج از فقر است. علاوه بر این، مداخلات برای افزایش درآمد و رفاه خانوارها به‌طور فزاینده‌ای در اثر شوک‌ها تضعیف می‌شود (اسمیت^۳، ۲۰۱۸). این ظرفیت‌ها در ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، نهادی، مدیریتی و زیرساختی در ابعاد ملی، منطقه‌ای و محلی قابل‌ردیابی است. در همین راستا هزینه‌های رفاهی ناشی از این اختلالات و ظرفیت تاب‌آوری کمتر، اغلب قابل‌توجه است و توجهات سیاسی و انسان‌دوستانه را به خود جلب می‌کند.

پس از مقاله تأثیرگذار هولینگ^۴ (۱۹۷۳) در مورد تاب‌آوری، این مفهوم توسط بسیاری از کنشگران توسعه برای درک بهتر پایداری سیستم‌های غذایی و توانایی آن‌ها برای انطباق در پی شوک‌های بیرونی پذیرفته شده است (پینگالی^۵ و همکاران، ۲۰۰۵؛ کنستاس^۶ و همکاران، ۲۰۱۴؛ کنستاس و همکاران، ۲۰۱۶). هولینگ (۱۹۷۳) تاب‌آوری را به‌مثابه توانایی سیستم برای حفظ عملکردهای اساسی در رویارویی با آشفتگی‌ها، تعریف می‌کند. ریشه لاتین آن به کلمه *Resi-lire* به معنای «جهش به عقب» برمی‌گردد. تاب‌آوری ابتدا در علوم فیزیکی برای تشخیص ویژگی‌های ارتجاعی و توصیف پایداری مواد و مقاومت آن‌ها در برابر شوک‌های خارجی به‌کار رفته است. در دهه ۱۹۶۰ با افزایش تفکر سیستمی، تاب‌آوری وارد رشته اکولوژی شد و معانی مختلفی از این مفهوم ظهور کرد که هرکدام از دیدگاه‌های جهانی و رسوم علمی مختلفی گرفته شده بودند (داوودی^۷، ۲۰۱۲؛ وایت^۸ و اوهار^۹، ۲۰۱۴؛ میرو^{۱۰} و نیویل^{۱۱}، ۲۰۱۶).

در تحقیق حاضر تاب‌آوری خانوار شهری به‌عنوان ظرفیت یک خانوار برای آماده‌سازی، بازیابی و انطباق یا تغییر منبع درآمد یا معیشت خود در صورت نیاز هنگام مواجهه با شوک‌ها و استرس‌های ناشی از شیوع ویروس کرونا تعریف می‌شود. در همین راستا، عوامل تعیین‌کننده تاب‌آوری خانوارها در مناطق شهری نیازمند بررسی برای هدایت

- 1 Cutter
- 2 Hutson
- 3 Smith
- 4 Holling
- 5 Pingali
- 6 Conostas
- 7 Davoodi
- 8 White
- 9 O'Hare
- 10 Meerow
- 11 Newell

اقدامات مناسب است (بوید^۱ و جوهولا^۲، ۲۰۱۴). علاوه، کاربرد مفهوم تاب‌آوری در سیستم‌های غذایی خانوار ممکن است به برنامه‌ریزی بهتر اقدامات عملی سیستم‌های غذایی در مناطق در حال توسعه و مستعد بحران منجر شود (تامپسون و اسکون، ۲۰۰۹؛ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۳، ۲۰۱۳؛ برنامه توسعه ملل متحد^۴، ۲۰۱۲). همچنین، گفتمان اخیر در رسانه‌ها و برنامه‌های سیاسی حکایت از آن دارد که تاب‌آوری در سیستم‌های غذایی می‌تواند نوشتارویی برای امنیت غذایی کشورهای در حال توسعه باشند (اتحادیه اروپا^۵، ۲۰۱۲) و با وجود ادبیات پژوهشی در رابطه با تاب‌آوری کشاورزی و برخی ادبیات در رابطه با خطرات زیرساخت‌های سیستم غذایی در سطح محلی و بین‌المللی، تصمیم‌گیران و محققان در ابتدای یافتن راهکارهایی برای بهبود تاب‌آوری سیستم‌های غذایی و در نتیجه بهبود امنیت غذایی شهری هستند.

ظرفیت تاب‌آوری مجموعه‌ای از شرایط، ویژگی‌ها یا مهارت‌هایی است که خانوارها را قادر می‌سازد تا در مواجهه با شوک‌ها به تاب‌آوری دست یابند. با توجه به پیچیدگی آن‌ها، این مفاهیم را نمی‌توان با استفاده از یک شاخص واحد اندازه‌گیری کرد. اندازه‌گیری آن‌ها مستلزم ترکیب انواع شاخص‌ها در یک اندازه‌گیری کلی است. در این تحقیق از مدل ظرفیت سه‌گانه تاب‌آوری کارگروه فنی اندازه‌گیری تاب‌آوری زیر نظر شبکه اطلاعات غذایی استفاده شده است که در ادامه به‌طور مفصل بررسی خواهد شد.

ماهیت تاب‌آوری به‌گونه‌ای است که تعریف و مفهوم‌سازی آن از منظر امنیت غذایی با توجه به روند تکامل تاریخی کاملاً اجتناب‌ناپذیر بوده است. آلینوی و همکاران (۲۰۰۸، ۲۰۱۰) چارچوب مفهومی ایجاد کردند که به‌منظور پیوند تاب‌آوری و امنیت غذایی در سطح خانوار با رویکرد معیشت پایدار چمبرز^۶ و کانوی^۷ (۱۹۹۲) و بینگتون^۸ (۱۹۹۹) قابل مقایسه بود. مدل‌های مفهومی آن‌ها بعداً به‌عنوان چارچوب اندازه‌گیری و تحلیل شاخص تاب‌آوری^۹ فائو رسمیت یافت (فائو، ۲۰۱۶). از نظر مفهومی، تاب‌آوری یک خانوار از دارایی‌ها، سرمایه‌ها و فرصت‌ها ناشی می‌شود (آلینوی و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰). تاب‌آوری از چهار رکن اصلی تشکیل شده است که عبارتند از درآمد و دسترسی

1 Boyd

2 Juhola

3 OECD

4 UNDP

5 European Union(EU)

6 Chambers

7 Conway

8 Bebbington

9 Resilience Index Measurement and Analysis

به غذا^۱، دارایی‌ها^۲، شبکه‌های ایمنی اجتماعی^۳ و دسترسی به خدمات عمومی^۴. دو بعد دیگر، پایداری^۵ و ظرفیت تطبیقی^۶ برای تقطیع این ارکان تدوین شده است (آنسا^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). فرضیه اساسی این بود که دارایی‌ها، سرمایه‌ها و فرصت‌ها ابعاد تاب‌آوری هستند که میزان ثبات (یعنی درجه‌ای که دارایی‌ها و گزینه‌های موجود برای خانوارها در طول زمان تغییر نمی‌کنند) و سازگاری را منعکس می‌کنند (آمبلو^۸ و همکاران، ۲۰۱۷؛ لوکوسانگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۴). بر این اساس، خانواده‌هایی که دارایی‌های بیشتری دارند یا منابع و گزینه‌های بهتری دارند، تاب‌آورتر هستند و بهتر می‌توانند با بحران‌ها مقابله کرده و با شرایط سازگار شوند. همچنین خانواده‌ای که تاب‌آور است می‌تواند حتی در مواجهه با شوک‌ها و عوامل استرس‌زا نیز رفاه خود را حفظ کند (اسمیت و فرانکنبرگر^{۱۰}، ۲۰۱۸). همان‌طور که **بنه و همکارانش (۲۰۱۲)** اشاره کردند، چالش این چارچوب تاب‌آوری-امنیت غذایی، توجه اندکی است که به عاملیت خانوارها برای یادگیری و انطباق سیستم‌هایشان با شرایط در حال تغییر می‌شود. خانواده‌ها نسبت به بحران‌ها منفعل نیستند، به این معنی که مکانیسم‌های مقابله با شوک قبلی و پس‌از آن وجود دارد که در چارچوب مفهومی اولیه گنجانده نشده است. دو محدودیت دیگر این چارچوب این است که تاب‌آوری را نمی‌توان از امنیت غذایی جدا کرد، زیرا این دو متغیر با هم ترکیب شده‌اند و اینکه شوک‌ها نمی‌توانند به‌طور مجزا تجزیه و تحلیل شوند، زیرا آن‌ها بخشی از مدل هستند. **بنه و همکاران (۲۰۱۲)** استدلال کرده‌اند که مدل‌های مفهومی قبلی عاملیت و قدرت خانوارها را به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیری نادیده می‌گرفتند. برای پرداختن به این محدودیت، آن‌ها چارچوبی برای تاب‌آوری سه‌بعدی را پیشنهاد می‌کنند که در آن تاب‌آوری به‌عنوان ظرفیت، با سه ویژگی کلیدی شناخته می‌شود که شامل مجموعه‌ای از اقدامات ضروری است که هر سیستم در معرض بحران باید آن را سرمشق خود قرار دهد (**بنه و همکاران، ۲۰۱۲**). در واقع درحالی‌که تاب‌آوری خود توانایی مدیریت یا بازیابی است، ظرفیت‌های تاب‌آوری مجموعه‌ای از شرایط هستند که تصور می‌شود خانواده‌ها را قادر می‌سازد تا در مواجهه با شوک‌ها به تاب‌آوری دست یابند (اسمیت . فرانکنبرگر، ۲۰۱۸؛ **بنه و همکاران، ۲۰۱۶**؛ **فرانکنبرگر و همکاران، ۲۰۱۳**). این اقدامات عبارتند از: آنچه باید انجام شود تا به سیستم کمک کند تا شوک را در هنگام وقوع آن جذب کند. چه کاری باید انجام شود تا به سیستم کمک کند به‌گونه‌ای سازگار شود که کمتر در معرض شوک قرار گیرد و چه

1 Income and Food Access

2 Assets

3 Social Safety Nets

4 Access to Public Services

5 Stability

6 Adaptive Capacity

7 Ansah

8 Ambelu

9 Lokosang

10 Frankenberger

کارهایی باید انجام شود تا سیستم متحول شود تا دیگر مستعد شوک‌های مشابه نباشد. بر این اساس، سه ویژگی مشتق شده با ظرفیت جذب، ظرفیت سازگاری و ظرفیت تغییرپذیری مطابقت دارند.

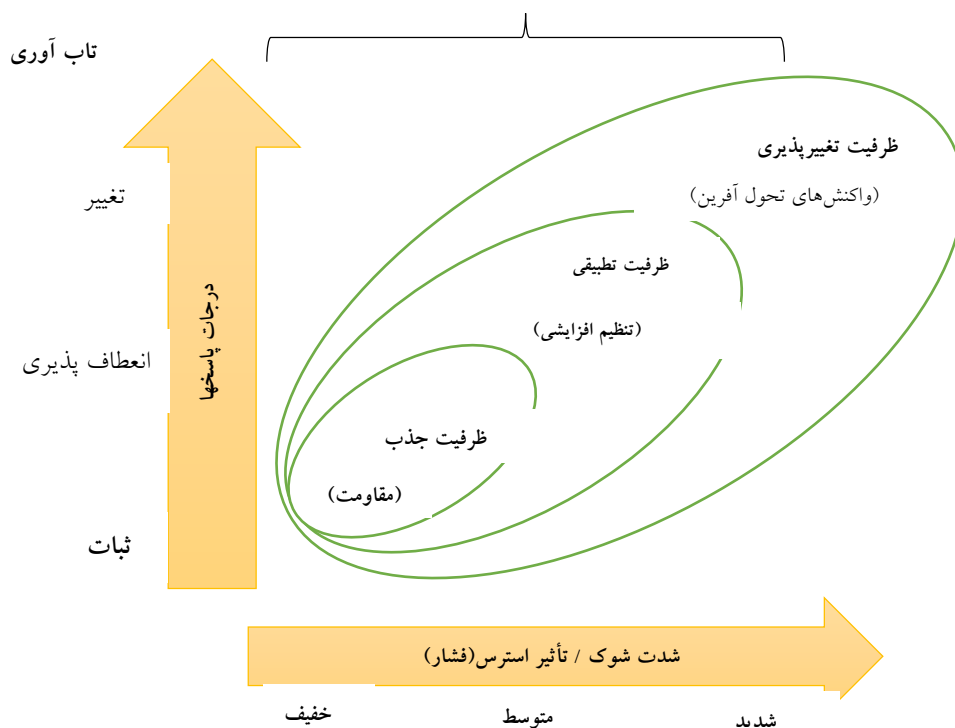
ظرفیت جذب توانایی سیستم را برای به حداقل رساندن قرارگیری در معرض ضربه‌ها و همچنین داشتن مکانیسم‌هایی برای بازیابی سریع هنگام وقوع شوک‌ها مشخص می‌کند. این ظرفیت، تداوم عملکرد سیستم را تضمین می‌کند و عمدتاً استراتژی‌های مقابله‌ای مانند برداشت زودهنگام محصولات برای جلوگیری از سیل، بیرون بردن کودکان از مدرسه یا حتی تأخیر در بازپرداخت بدهی را تشکیل می‌دهد (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۱۴).

ظرفیت سازگاری توانایی انتخاب آگاهانه در مورد استراتژی‌های جایگزین بر اساس شرایط متغیر را نشان می‌دهد (بنه و همکاران، ۲۰۱۲). متنوع‌سازی فعالیت‌های معیشتی، استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی، ازجمله برخی از استراتژی‌های سازگاری کلیدی‌اند که به خانوارها برای مقابله با شوک‌ها کمک می‌کنند (هلتبرگ^۱ و لوند^۲، ۲۰۰۹).

ظرفیت تغییرپذیری به شرایط سطح سیستم اشاره دارد که برای تغییر پیکربندی اساسی سیستم برای ایجاد تاب‌آوری طولانی‌مدت ضروری است. محققان معتقدند که ظرفیت‌های تغییرپذیری و سازگاری برای مقابله با منابع اولیه آسیب‌پذیری ضروری هستند (کارپتر و همکاران، ۲۰۰۵؛ فولک و همکاران، ۲۰۱۰). به عبارت دیگر، ظرفیت‌های تغییرپذیری و سازگار شامل مکانیسم‌های میان‌مدت تا بلندمدت است که به سیستم‌های آسیب‌پذیر کمک می‌کند تا در برابر انواع خاصی از شوک‌ها استحکام ایجاد کنند.

1 Heltberg

2 Lund



شکل ۱- تاب آوری به عنوان نتیجه ظرفیت های جذب، تطبیقی و تغییر پذیری

منبع: برگرفته از بنه و همکاران: ۲۰۱۲

فرانکنبرگر و همکاران (۲۰۱۲) یک چارچوب مفهومی برای تحلیل تاب آوری پیشنهاد کرد که ویژگی هایی را از رویکرد معیشت، کاهش خطر بلایا و ادبیات سازگاری با تغییرات آب و هوایی ادغام می کند. این چارچوب، تاب آوری را متشکل از زمینه، سطح تجمع، اختلال، قرار گرفتن در معرض، ظرفیت سازگاری، حساسیت، انعطاف پذیری و مسیرهای آسیب پذیری، و نتایج معیشتی (مثلاً امنیت غذایی) مفهوم سازی می کند. این چارچوب مسیرهای تاب آوری را به امنیت غذایی در یک زمینه معین از طریق آمادگی و پیشگیری از قبل و همچنین مکانیسم های واکنش و بازیابی پس از آن پیوند می دهد. با توجه به آمادگی قبلی مناسب، خانوارها در هنگام وقوع شوک کمتر در معرض خطر ناامنی غذایی قرار می گیرند. وایتلا^۱ و همکاران (۲۰۱۲) همچنین مدل مفهومی تاب آوری را در زمینه امنیت غذایی بر اساس چارچوب تغییر معیشت توسعه داد. این چارچوب دارایی های خانوار و فعالیت ها و استراتژی های مختلف را به درآمد مرتبط می کند و پیشنهاد می کند که خانوارها دارایی های خود را به کار گیرند و آن ها را با فعالیت های خود ترکیب

1 Vaitla

کنند تا درآمد ایجاد شود. با توجه به درآمد به‌دست‌آمده، هدف این مدل درک توزیع آن بر مصرف، پس‌انداز و سرمایه‌گذاری است. خانواری که سرمایه‌گذاری می‌کند و پس‌انداز می‌کند، می‌تواند دارایی‌ها و درآمد بیشتری ایجاد کند که این امر تضمین می‌کند شوک‌ها تأثیر مخربی بر امنیت غذایی (مصرف غذای کافی) نداشته باشد. برعکس، مصرف کافی غذا سلامت و توانایی کار را تضمین می‌کند و منجر به درآمد بیشتر و انباشت دارایی برای مقابله با ناسازگاری‌ها می‌شود. به‌طور غیرمستقیم، این چارچوب تاب‌آوری را به داشتن سطوح کافی از دارایی و درآمد مرتبط می‌کند. ویژگی تعیین‌کننده این چارچوب، تطبیق اثرات بازخورد در سیستم است و فرمول پویایی را معرفی می‌کند که آن را کاملاً از مدل‌های تغییر معیشت خطی و ایستا متمایز می‌کند. در سال ۲۰۱۴، کارگروه فنی اندازه‌گیری تاب‌آوری زیر نظر شبکه اطلاعات امنیت غذایی، با تکیه بر درس‌های مطالعات قبلی، چارچوب تاب‌آوری مبتنی بر اهداف امنیت غذایی را پیشنهاد کرد (کنستاس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). این کارگروه که متشکل از کارشناسان برجسته جهانی در اندازه‌گیری تاب‌آوری است، به تقویت درک مشترک در مورد تعریف تاب‌آوری، اصول اندازه‌گیری و یک چارچوب تحلیلی مشترک برای اندازه‌گیری‌ها کمک کرد (فرانکنبرگر و همکاران، ۲۰۱۲). انجام این کار به دست‌اندرکاران امکان می‌دهد که مفهوم ظرفیت تاب‌آوری را به‌صورت رسمی و کمی بررسی کنند تا بتوان از آن در نظارت و ارزیابی پروژه، برنامه‌ریزی اقدامات و برای تحقیق در مورد چگونگی کمک به خانوارهایی که در معرض شوک هستند، استفاده کرد. این نظر آن‌ها مفهوم‌سازی تاب‌آوری **بنه و همکاران (۲۰۱۲)** را تأیید کرد که تاب‌آوری ظرفیتی با ویژگی‌های پیشین کاملاً تعریف شده است. این چارچوب برای برخی از مطالعات اخیر که تاب‌آوری و امنیت غذایی خانوار را ارزیابی می‌کنند، راهنمایی تجربی ارائه می‌کند (دی‌اریکو^۲ و پیترلی^۳، ۲۰۱۸). کارگروه فنی اندازه‌گیری تاب‌آوری، تاب‌آوری را این‌گونه تعریف می‌کند: «ظرفیتی که تضمین می‌کند عوامل استرس‌زا و شوک‌های نامطلوب پیامدهای نامطلوب رشدی طولانی‌مدت نداشته باشند. چشم‌انداز تاریخی ارائه شده در بالا نشان می‌دهد که بهبود مستمری در نحوه مفهوم‌سازی تاب‌آوری در رابطه با امنیت غذایی وجود دارد. مطالعات اولیه توجه زیادی به عاملیت و آزادی خانوارها نداشتند، اما مفهوم‌سازی‌های فعلی یا عاملیت را در نظر می‌گیرند یا اذعان می‌کنند که خانوارها عوامل منطقی هستند که از طریق مدیریت ریسک قبلی یا اقدامات مقابله‌ای پس از شوک تصمیم می‌گیرند و گزینه‌هایی را برای معیشت بهتر انتخاب می‌کنند. علاوه بر این، چارچوب اولیه **آلینوی و همکاران (۲۰۰۸، ۲۰۱۰)** تمایل به انتخاب خودسرانه ارکان تاب‌آوری (ویژگی‌ها) داشتند. در نتیجه، بسیاری از مطالعات تمایل دارند با مدل مفهومی پیشنهاد شده توسط **بنه و همکاران (۲۰۱۲)** موافق باشند که ظرفیت جذب، ظرفیت سازگاری و ظرفیت تغییرپذیری نمایش مناسبی از ویژگی‌های تاب‌آوری هستند (فائو، ۲۰۱۶؛ اسمیت و فرانکنبرگر، ۲۰۱۸).

1 Constas

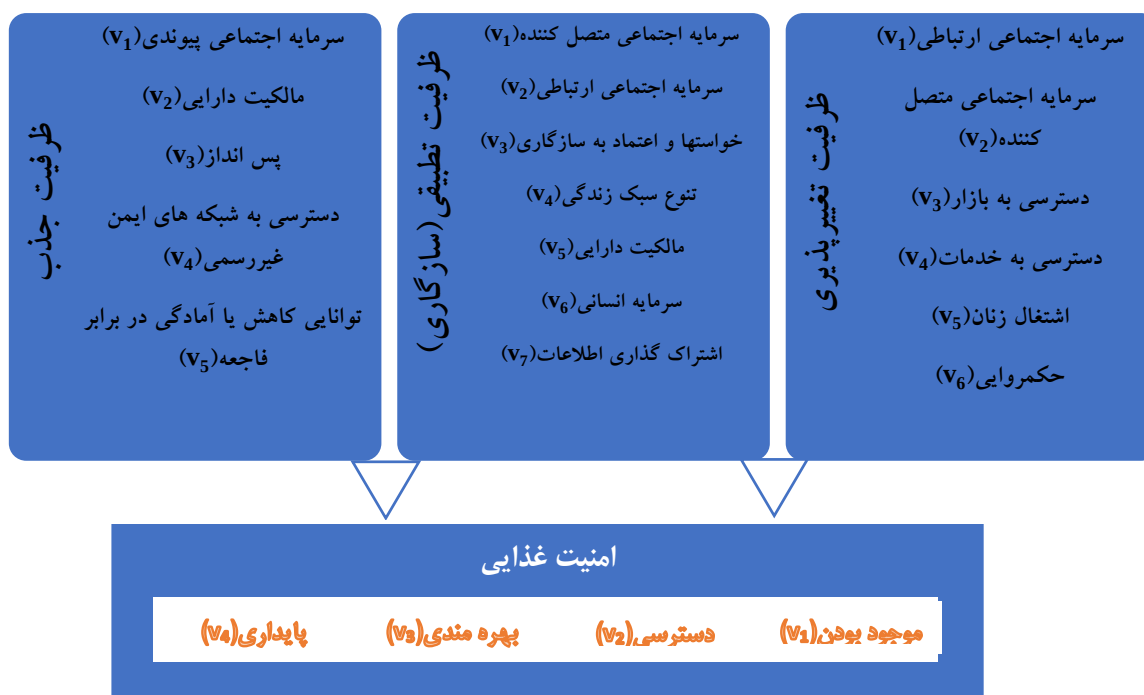
2 D'Errico

3 Pietrelli

کرونا در ایران نیز اثرات قابل توجهی بر وضعیت غذایی خانوارهای شهری داشته است. محدودیت‌های رفت‌وآمد و اعمال قرنطینه‌های طولانی، تعطیلی مراکز کسب‌وکار به‌طور کلی طبقات پایین جامعه را با مشکلات عدیده اقتصادی-اجتماعی روبه‌رو کرده بود. در همین راستا شهر ماسال نیز با اقتصادی معیشت‌محور مبتنی بر دامداری و کشاورزی و تا اندازه‌ای (البته در سال‌های اخیر) خدمات گردشگری استوار است. شیوع کرونا گردشگری و خدمات مرتبط با آن را در این شهر با مشکل جدی روبه‌رو کرد. هتل‌ها، خانه‌های مخصوص اجاره به گردشگر، کلبه‌های بین راهی و ... به‌طور کامل تعطیل شد. این امر جامعه نوپای گردشگرپذیر را با چالشی اساسی مواجه ساخت. درآمد سرانه خانوار کاهش یافت و از همان رهیافت امنیت غذایی آن به خطر افتاد. در واقع دسترسی اقتصادی و پایداری در این نوع دسترسی، بهره‌مندی از غذای باکیفیت در بین خانوارهای شهری با چالش‌های جدی مواجه گردید. تعطیلی بازارهای هفتگی در دو شهر ماسال و شاندرمن که در روزهای شنبه و پنجشنبه برپا می‌شد، بر مشکلات درآمدی کاسبان محلی افزود و دسترسی به مواد غذایی مورد نیاز و مقرون‌به‌صرفه را تا حدود زیادی کاهش داد. در ادامه این محدودیت‌ها، تعطیلی بازار خرید و فروش دام و طیور محلی نیز از چالش‌های عمده دیگر هم در بخش کسب درآمد و هم در بخش دسترسی به مواد پروتئینی لازم بوده است. به‌طور کلی می‌توان گفت اصلی‌ترین اثرات کرونا در شهرستان ماسال متوجه کسب درآمد خانوار بوده است که ارتباط مستقیمی با قدرت خرید خانوار و دسترسی اقتصادی به مواد غذایی مورد نیاز است. در بخش کشاورزی نیز وضعیت دسترسی به نیروی انسانی (به دلیل محدودیت تحرک، افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل عمومی یا ترس از قرار گرفتن در معرض ویروس)، دسترسی به خدمات کشاورزی و نهاده‌ها از جمله مشکلاتی بود که تولید محصولات باغی و برنج را با مشکل روبه‌رو کرد و به تبع آن با کاهش تولید محصولات کشاورزی در برخی از مزارع محلی (در سطح واحد) و افزایش قیمت آن‌ها مواجه بوده‌ایم. مسأله بعدی افزایش هزینه تولید محصولات اعم از هزینه‌های نیروی انسانی در دسترس و هزینه‌های مربوط به برداشت و فرآوری برنج بوده است. برنج به‌عنوان غذای اصلی مردم منطقه نقش به‌سزایی در سبد غذایی خانوار دارد. بنابراین با توجه به شاخص‌های ظرفیت تاب‌آوری و بررسی نقش این ظرفیت‌ها بر پایداری امنیت غذایی، کمک شایانی به جامعه در راستای بهبود عملکرد خود می‌کند.

در همین راستا، تحقیق حاضر به بررسی نقش ظرفیت تاب‌آوری شهری بر امنیت غذایی خانوارهای شهری ماسال در طول پاندمی کرونا می‌پردازد. به‌عبارت دیگر هدف اصلی آن در ابتدا بررسی ظرفیت تاب‌آوری شهری در

بین شهروندان ماسالی و سپس اثرگذاری آن بر شاخص‌های امنیت غذایی شهری است. در همین راستا تحقیق در پی پاسخ به این سؤال است که الگوی اثرگذاری ظرفیت‌های تاب‌آوری در محیط‌های شهری بر امنیت غذایی پایدار چگونه الگویی است؟ درنهایت مدل مفهومی تحقیق به شرح **شکل ۲** طراحی گردید تا اساس فرآیند مدلیابی معادلات ساختاری در محدوده مورد مطالعه قرار گیرد.



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق برگرفته از (اسمیت و فرانکنبرگر، ۲۰۱۸؛ فائو، ۲۰۱۳)

۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر، از لحاظ هدف، کاربردی و نوع روش توصیفی-تحلیلی مبتنی بر توزیع پرسشنامه (پیمایشی-زمینه‌یاب) است. جامعه آماری تحقیق شامل سرپرستان خانوار در شهر ماسال بوده است. در این تحقیق از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای استفاده شده است. حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران برابر ۳۸۴ نفر تعیین گردید و طی یک ماه در آبان ۱۴۰۰ بین شهروندان توزیع گردید. روایی ابزار پرسشنامه از طریق روایی محتوایی (صوری) و پایایی آن از طریق آماره آلفای کرونباخ محاسبه شد. مقدار آلفا برای ظرفیت تغییرپذیری برابر ۰/۷۷۸؛

ظرفیت جذب برابر ۰/۸۱۵؛ ظرفیت تطبیقی برابر ۰/۷۸۶ و برای شاخص‌های امنیت غذایی برابر ۰/۶۹۸ مصاحبه گردید. امنیت غذایی با چهار شاخص موجود بودن، دسترسی، بهره‌مندی و پایداری مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌ها در چند مرحله تحلیل شده‌اند: ابتدا با توجه بر اساس ادبیات پژوهش و به روش اسنادی شاخص‌های تحقیق شناسایی شده و گویه‌های مرتبط برای سنجش آن‌ها طراحی گردید. پس از آن برای تعیین روایی، پرسشنامه در اختیار کارشناسان خبره قرار گرفته و عملیات روایی صورتی انجام شد. سپس برای سنجش پایایی سؤالات، پرسشنامه با یک نمونه ۴۵ نفره از سرپرستان خانوار اجرا شده و پس از حذف سؤالات غیرمرتبط پرسشنامه نهایی بین نمونه آماری توزیع گردید. در ادامه پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها تعداد ۳۷۵ عدد با اطلاعات درست ارزیابی و وارد نرم‌افزار SPSS شد، پس از تحلیل داده‌های جمعیت‌شناختی، داده‌ها وارد نرم‌افزار لیزرل شده و عملیات مدل اندازه‌گیری اجرا شد. نتایج این مدل بیانگر کفایت متغیرهای مشاهده شده برای سنجش متغیرهای مکنون تحقیق بوده است. به عبارت دیگر مقادیر بارهای عاملی گویه‌ها بیشتر از ۰/۴ به دست آمده است. پس از آن مدل ساختاری تحقیق متشکل از متغیرهای مستقل (ظرفیت‌های تاب‌آوری) و وابسته (شاخص‌های امنیت غذایی) اجرا گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- یافته‌های توصیفی

از مجموع ۳۷۵ نفر پاسخگوی تحقیق، ۲۶۸ نفر مرد و ۱۰۷ نفر زن هستند. از لحاظ تحصیلات، بیشترین تعداد (۲۷۰ نفر) مربوط به گروه تحصیلی لیسانس بوده‌اند. نتایج مربوط به درآمد نشان می‌دهد بیشتر افراد نمونه (۲۸۶ نفر)، ماهیانه کمتر از ۴ میلیون تومان درآمد داشته‌اند. با توجه به تورم موجود در جامعه، می‌توان حدس زد که این امر بر قدرت خرید خانوار و کیفیت مواد غذایی خانوار تأثیر منفی داشته باشد. اشتغال بیشتر افراد نیز در بخش زنان، خانه‌دار (۸۲ نفر) و در بخش مردان شغل آزاد (۲۲۱ نفر) عنوان شده است.

۳-۲- نقش ظرفیت تاب‌آوری در کاهش اثرات کرونا بر امنیت غذایی

همه‌گیری جدید کروناویروس نشان داده است که چگونه سیستم‌های غذایی جهانی می‌توانند آسیب‌پذیر شوند و منجر به افزایش ناامنی غذایی، سوءتغذیه و فقر به‌ویژه در میان گروه‌های حاشیه‌نشین شوند (بانک جهانی، ۲۰۲۰). این در حالی است که شیوع ویروس به سویه‌های مختلف، همچنان در سراسر جهان گسترش می‌یابد و نگرانی‌ها را در مورد خطرات امنیت غذایی جهانی افزایش داده است. در سرتاسر جهان، بسیاری از کشورها سیاست‌های سختگیرانه‌ای را برای مهار شیوع ویروس شامل قرنطینه و تعطیلی مشاغل را اعمال کرده‌اند که این امر چالش‌های بی‌سابقه‌ای را برای اقتصاد کشورها ایجاد کرده است. بر اساس چشم‌انداز اقتصادی صندوق بین‌المللی پول در ماه

ژوئن، پیش‌بینی شد که اقتصاد جهانی در سال ۲۰۲۰ به میزان ۴/۹ درصد کاهش یابد که بسیار بدتر از بحران مالی ۲۰۰۸-۲۰۰۹ بوده است (صندوق بین‌المللی پول^۱، ۲۰۲۰). اثرات ترکیبی کرونا، اقدامات کنترل آن و رکود اقتصادی بعدی در مقیاس جهانی، می‌تواند عملکرد سیستم‌های غذایی را مختل کند و در نتیجه تعداد افراد گرسنه و فقیر افزایش یابد و خطرات قابل توجهی برای امنیت غذایی و تغذیه ایجاد نماید (فائو، ۲۰۲۰). در همین راستا در شهر ماسال برای جلوگیری از اثرات مخرب ابربحران کرونا بر امنیت غذایی خانوارهای شهری، به نقش ظرفیت تاب‌آوری توجه شده است. برای اندازه‌گیری ظرفیت تاب‌آوری از مدل **اسمیت و فرانکنبرگر (۲۰۱۸)** استفاده شده است. در این مدل (شکل ۱) ظرفیت جذب شامل ظرفیت‌های فرعی مانند سرمایه اجتماعی پیوندی، مالکیت دارایی، پس‌انداز، دسترسی به شبکه‌های ایمن غیررسمی و توانایی کاهش یا آمادگی در برابر فاجعه است. در گام اول اثر این نوع ظرفیت بر امنیت غذایی خانوارهای شهر ماسال ارزیابی شده است. نتایج مدلیابی معادلات ساختاری نشان می‌دهد که این نوع از ظرفیت تاب‌آوری اثر مستقیم و معناداری بر امنیت غذایی داشته است (شکل ۲ و ۳). بر اساس مدل اسمیت و فرانکنبرگر (۲۰۱۸) ظرفیت سازگاری (تطبیقی) شامل ظرفیت‌های فرعی سرمایه اجتماعی متصل‌کننده، سرمایه اجتماعی ارتباطی، خواست و اعتماد به سازگاری، تنوع سبک زندگی، مالکیت دارایی، سرمایه انسانی و اشتراک گذاری اطلاعات است. نتایج معادلات ساختاری نشان می‌دهد ظرفیت سازگاری بر شاخص‌های امنیت غذایی در شهر ماسال تأثیر مثبت و معناداری داشته است؛ به‌طوری‌که مقادیر تی (۱۱/۳۶) و ضریب استاندارد (۰/۹۴) این ارتباط را تأیید می‌کند. ظرفیت تغییرپذیری هم شامل ظرفیت‌های فرعی سرمایه اجتماعی ارتباطی، سرمایه اجتماعی متصل‌کننده، دسترسی به بازار، دسترسی به خدمات، اشتغال زنان و حکمروایی است. این متغیر مستقل با مقدار تی (۸/۳۱) و مقدار ضریب استاندارد (۰/۷۸) بر امنیت غذایی خانوارهای شهری ماسال تأثیر مثبت و مستقیمی داشته است. اسمیت و فرانکنبرگر (۲۰۱۸) این ظرفیت‌های فرعی را تحت عنوان هفت عامل مکنون و مهم دسته‌بندی کرده‌اند که عبارتند از: سرمایه اجتماعی؛ خواست‌ها و اعتماد به سازگاری؛ منابع اقتصادی ظرفیت تاب‌آوری؛ دسترسی به خدمات؛ سرمایه انسانی، دسترسی به اطلاعات و توانمندسازی زنان؛ حکمرانی در سطح روستا؛ و شبکه‌های ایمنی و کاهش خطر بلایا. در این تحقیق نیز برای تبیین نقش این ظرفیت‌ها در کاهش اثرات بحران کرونا بر امنیت غذایی شهروندان ماسالی، از این دسته‌بندی با اندکی تغییرات استفاده خواهد شد. اولین عامل سرمایه اجتماعی است که شامل اطلاعات، اعتماد و هنجارهای روابط متقابل است که ذاتی شبکه‌های اجتماعی است. سرمایه اجتماعی ایده‌هایی را در بر می‌گیرد که در آن‌ها روابط اجتماعی و هنجارهای اجتماعی بنیان جوامع پایدار را شکل می‌دهند. سرمایه اجتماعی در طی فرآیندهای کنش‌های اجتماعی با نهادها و شبکه‌های اجتماعی در ابعاد رسمی و غیررسمی با ارائه

1 IMF

۲ در تحقیق حاضر نظریه حکمروایی شهری مورد نظر می‌باشد.

منافع اقتصادی و اجتماعی ایجاد شده، افزایش می‌یابد. بطور کلی سرمایه اجتماعی به سه نوع تقسیم شده است: ۱- سرمایه اجتماعی پیونددهنده؛ مشخصه این نوع سرمایه اجتماعی، وجود پیوندهای قوی میان اعضای یک گروه مثل خانواده است. این نوع سرمایه را می‌توان سرمایه اجتماعی درون‌گروهی دانست؛ ۲- سرمایه اجتماعی متصل‌کننده؛ در این نوع، پیوندهای بین مقولات اجتماعی قوی است، اما به قوت گروه خانواده نمی‌رسد، از این رو می‌توان آن را سرمایه اجتماعی برون‌گروهی تلقی کرد. پوتنام سرمایه اجتماعی برون‌گروهی را به عنوان پل ارتباطی گروه‌های اجتماعی گوناگون تعریف می‌کند؛ درحالی‌که سرمایه اجتماعی درون‌گروهی تنها گروه‌های هم‌جنس را پیوند می‌زند؛ ۳- سرمایه اجتماعی ارتباطی؛ مثل رابطه بین خانواده و جامعه، گروه و یک سازمان غیردولتی (وودهاز^۱، ۲۰۰۶). همان‌طوری که یافته‌های مدل ساختاری نشان می‌دهد ابعاد سه‌گانه سرمایه اجتماعی نقش مهمی در بهبود یا حفظ شاخص‌های امنیت غذایی در شهر ماسال ایفا کرده‌اند. مرور ادبیات پیشین نیز نشان می‌دهد شبکه‌های اجتماعی متشکل از اقوام، دوستان، سازمان‌های غیردولتی (NGO) و دولت به‌عنوان اولین نیروهای امداد رسان در مواقع شوک و بحران عمل می‌کنند (آلدريج^۲ و مایر، ۲۰۱۴؛ تاوودزرا^۳، ۲۰۱۲؛ تپینز^۴، ۲۰۱۶). چرا که شبکه‌های اجتماعی می‌توانند از نظر ارائه وام، هدایا، حمایت عاطفی و هشدارهای اولیه که برای افزایش تاب‌آوری مهم هستند، کمک کنند (آلدريج و مایر، ۲۰۱۴). برای توضیح بیشتر، تاوودزرا (۲۰۱۲) گزارش داد که نقش شبکه‌های دوستان و اقوام در افزایش تاب‌آوری خانوار در برابر ناامنی غذایی در هراره قابل توجه بوده است. به‌طور مشابه، تپینز (۲۰۱۶) نشان داد که تاب‌آوری پناهندگان شهری در برابر استرس روانی در نایروبی با ایجاد شبکه‌هایی با سازمان‌های غیردولتی افزایش یافته است. فشار ناشی از کرونا و دوری از جو تاریکی که در دوره شیوع ویروس بر جامعه جهانی و ایرانی حکمفرما بود، در اثر پیوند روابط اجتماعی قوی می‌تواند راهگشای مسائل گوناگون در عرصه زندگی شهری ماسال و علی‌الخصوص مسائل ناامنی غذایی باشد. عامل دوم خواست‌ها و اعتماد برای سازگاری است. تحقیقات اخیر در آفریقای شرقی (اتیوپی) به اعتماد به نفس پایین، آرزوهای کم و دیدگاه سرنوشت‌ساز در میان فقرا اشاره کرده است که با ناتوانی آن‌ها در انجام اقداماتی برای بهبود رفاه مادی مرتبط است (برنارد^۵ و همکاران، ۲۰۱۲). به‌ویژه آرزوها و خواست‌ها که عبارتند از باورها، ترجیحات، و ظرفیت‌های مربوط به آینده و رفتار آینده‌نگر (بنه و همکاران: ۲۰۱۶)، در تأثیرگذاری بر اینکه آیا خانواده‌ها اقدامات لازم را انجام خواهند داد و همچنین بر سرمایه‌گذاری در آینده و سازگاری سریع به‌منظور مقابله موفقیت‌آمیز با شوک‌ها اثرگذار هستند. اینکه یک جامعه تا چه اندازه به آینده امیدوار است و تا چه اندازه خود و نقش خود را در این آینده‌سازی مؤثر می‌داند، قطعاً در نوع رفتار آن جامعه در برابر

1 Woodhouse

2 Aldrich

3 Tawodzera

4 Tippens

5 Bernard

بحران‌ها اثرگذار است. همچنین توجه به روابط جنسیتی، تبعیض جنسیتی، آزادی زنان برای حضور در جامعه و توانایی اعضای خانواده برای انطباق یا عبور از باورهای عمیقاً ریشه‌دار نقش موثری بر بهبود تاب‌آوری، بازگشت به شرایط قبل از بحران و عبور از شرایط بحرانی دارد. عامل سوم منابع اقتصادی ظرفیت تاب‌آوری است. منابع اقتصادی ظرفیت تاب‌آوری مورد استفاده در این تحقیق شامل مالکیت دارایی‌ها، تنوع سبک زندگی، پس‌انداز و دسترسی به بازارها است. البته عدم دسترسی به خدمات مالی از جمله میزان اعتبارات و پس‌انداز مردم مورد مطالعه را از محدودیت‌های تحقیق دانست؛ با آنکه برای اندازه‌گیری عامل سوم از موارد اساسی به‌شمار می‌رود. آنچه از نتایج تحقیق به‌دست آمده است، نشان می‌دهد خانوارهایی که مالک خانه، مغازه و محل کسب‌وکارهای خود بوده‌اند، از اعتماد به نفس بیشتری در رفع مشکلات کرونا برخوردار بوده‌اند. از نظر سرپرستان پاسخگوی تحقیق، مالکیت مستغلات نوعی پس‌انداز به حساب می‌آید که در مواقع ضروری می‌تواند از فروش یا اجاره آن‌ها در صورت لزوم و از درآمد به‌دست‌آمده برای مقابله با کرونا استفاده کنند. همچنین خانوارهایی که از سبک‌های زندگی متنوع و مشاغل مختلفی بهره‌مند بوده‌اند، تاب‌آوری بیشتری در برابر اثرات کرونا داشته‌اند. به‌طور مثال خانوارهایی که سرپرست خانوار در بخش‌های مختلف دامداری، کشاورزی و خدمات فعالیت داشته، از وضعیت بهتری در زمان پاندمی کرونا برخوردار بوده است. **نلسون^۱ و همکاران (۲۰۱۶)** معتقد بودند که سبک‌های زندگی مختلف، تاب‌آوری متفاوتی نسبت به خطرات بحران دارند و این امر غیرقابل پیش‌بینی بودن اثرات بحران را در بازه‌های زمانی مختلف، تا حدودی بی‌اثر می‌کند. دسترسی به خدمات چهارمین عامل مکنون در این تحقیق است. دسترسی به خدمات، خانوارهای شهری را در پاسخگویی سریع به بحرانها، بازیابی سریع از اثرات بحران و حفظ وضعیت ایده‌آل کمک می‌کند. برای اندازه‌گیری این عامل از میانگین خدماتی مانند خدمات بهداشتی، درمانی، خدمات دولتی، بیمه درمانی، خدمات آموزشی، مراکز خرید روزانه و هفتگی، بهداشت محیط و ... استفاده شده است. نتایج مدلیابی معادلات ساختاری نشان می‌دهد دسترسی به خدمات در بهبود شاخصهای امنیت غذایی مؤثر بوده است. در همین راستا می‌توان گفت دسترسی به خدمات خانوارها را قادر می‌سازد تا سرمایه انسانی خود را حفظ کرده و تعدادی از نیازهای دیگر مانند خدمات کاهش تعارض و دسترسی به زیرساخت‌ها را برآورده سازند (**فرانکنبرگر و همکاران، ۲۰۱۳**). سرمایه انسانی، دسترسی به اطلاعات و توانمندسازی زنان عامل دیگری است که در فرآیند تبیین نقش ظرفیت تاب‌آوری بررسی خواهد شد. نتایج تحقیق نشان از اثرگذاری مستقیم این عوامل بر امنیت غذایی خانوار دارد. سرمایه انسانی امکان استفاده از اطلاعات و داده‌های در دسترس را به شهروندان می‌دهد و این امر قدرت پاسخگویی سریع را به خانوار می‌دهد. نوع دسترسی به غذا و خرید آنلاین، بدون حضور فیزیکی در اجتماع شهری نمونه بارزی از نقش سرمایه انسانی در بهبود شرایط بحران کروناست. همچنین دسترسی به اطلاعات و داده‌ها، در اسرع وقت امکان واکنش سریع

را فرد در معرض بحران می‌دهد. زنان به‌عنوان بخش مهمی از جامعه، تأثیرگذاری زیادی در خانواده ایرانی دارند. قدرت تصمیم‌گیری، آزادی حضور در جامعه و دوری از نظام مردسالارانه به زنان این امکان را می‌دهد که به‌عنوان رهبر خانواده عمل کنند، بخصوص در پاندمی کرونا که رعایت نکات بهداشتی و نظارت منظم بر رفتار اعضای خانواده و شستشوی وسایل خریداری شده، نقش بی‌بدیل زنان را در کاهش اثرات کرونا نشان می‌دهد. حکمروایی شهری و از آن رهیافت حکمروایی خوب شهری در مواقع بحران همیشه به‌عنوان عاملی اثرگذار بوده است. حکومت پاسخگو، شفاف، قانونمند، مشارکت‌جو و کارا در اطلاع‌رسانی به موقع، وضع قوانین و دستورالعمل‌های ضروری، می‌تواند نقش یک منجی را در شرایط بحرانی ایفا کند. این عامل نیز از نظر شهروندان بر امنیت غذایی تأثیر داشته است. اطلاع‌رسانی شرایط قرنطینه، مراکز درمانی و بهداشتی، پیگیری مطالبات مردم از مراجع بالاتر، نظارت بر قیمت مواد غذایی در سطح ملی و محلی، فراهم کردن اقلام غذایی موردنیاز جامعه شهری ماسال، نظارت بر کیفیت مواد غذایی فاسدشدنی و سایر اقلام نمونه‌هایی از کارهایی است که یک حکومت محلی با رویکرد حکمروایی خوب می‌باید سرلوحه کار خود قرار دهد.

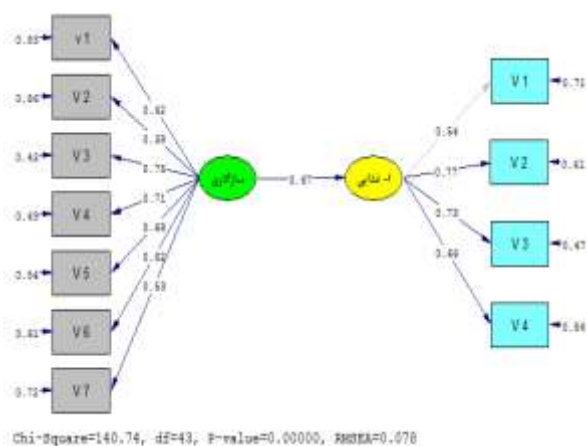
شبکه‌های ایمنی و کاهش خطر بلایا از زیرشاخص‌های ظرفیت جذب به‌عنوان آخرین عامل در این بخش بررسی خواهد شد. شبکه‌های ایمنی اجتماعی رسمی به‌عنوان وسیله‌ای برای ایجاد تاب‌آوری شناخته می‌شوند که از طریق ارائه پول نقد، غذا، بیمه و سایر منابع برای کمک به خانواده‌ها و با توسعه سرمایه انسانی و فعالیت‌های درآمدزا به تاب‌آوری خانوارها کمک می‌کنند (بانک جهانی، ۲۰۱۶). علاوه بر آن شبکه‌های ایمنی غیررسمی مانند اتکا بر سایر خانوارها یا گروه‌های حمایتی محلی برای دریافت غذا یا وام‌های نقدی، می‌توانند حائل‌های مهمی در برابر تأثیرات منفی شوک‌ها باشند (اسکوفیاس^۱، ۲۰۰۳؛ اسکوفیاس و کویزومبینگ^۲، ۲۰۰۵). توزیع بسته‌های کمک-معیشتی توسط سازمانهای دولتی و غیردولتی در دوران کرونا در بهبود امنیت غذایی بی‌تأثیر نبوده است. هرچند به دلیل شیوع سریع و غیرقابل پیش‌بینی سویه‌های مختلف، خدمات‌رسانی تاحدود زیادی مشکل بوده است؛ تأمین منابع از منابع رسمی و غیررسمی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. نقش نیروهای هلال احمر، سپاه و بسیج و سایر سازمانهای خیریه نمونه‌ای از این نوع شبکه‌های ایمنی غذایی در برابر ویروس کرونا در شهر ماسال بوده است که البته با توجه به یافته‌های تحقیق، بر بهبود عملکرد شاخص‌های امنیت غذایی تأثیرگذار بوده است^۳.

1 Skoufias

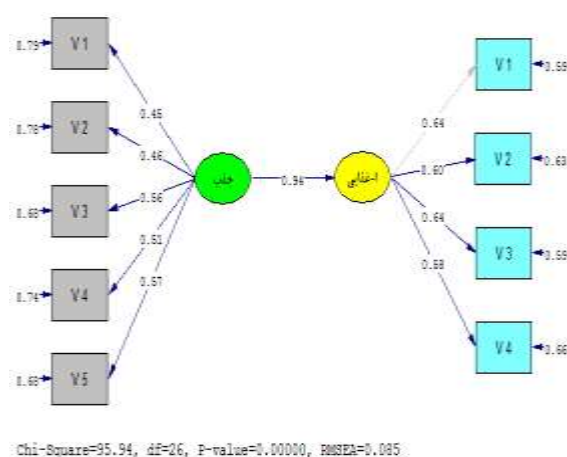
2 Quisumbing

۳ در مدل‌های ساختاری تحقیق هر یک از کدها (V1, V2,...) به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مشاهده شده در مدل مفهومی تحقیق (شکل

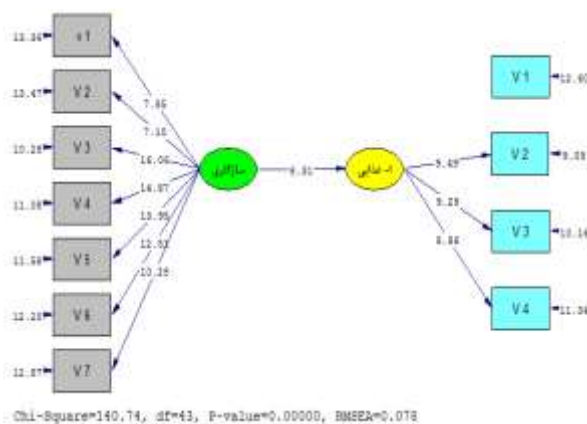
شماره ۲) است.



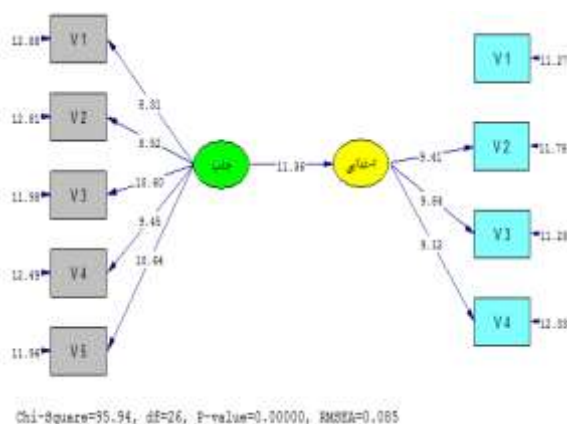
شکل ۵- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت سازگاری و امنیت غذایی) در حالت تخمین استاندارد



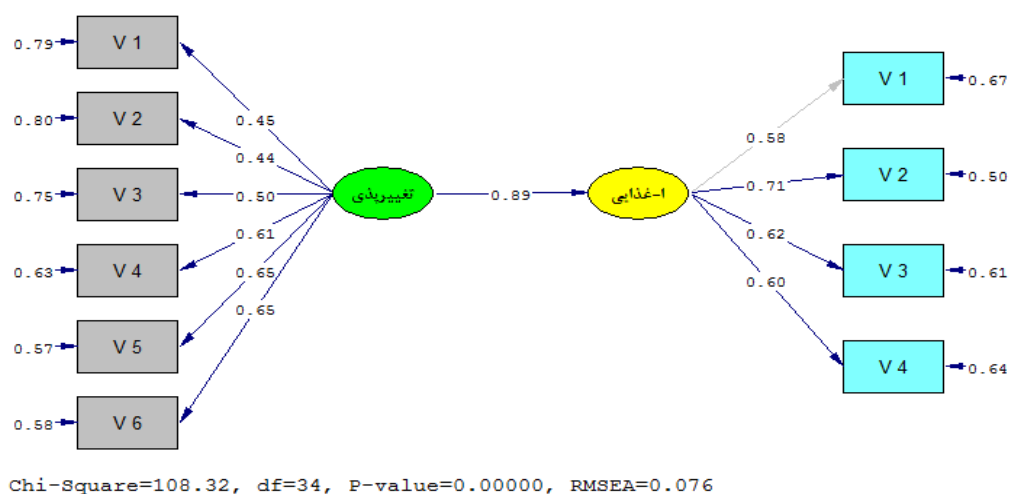
شکل ۳- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت جذب و امنیت غذایی) در حالت تخمین استاندارد



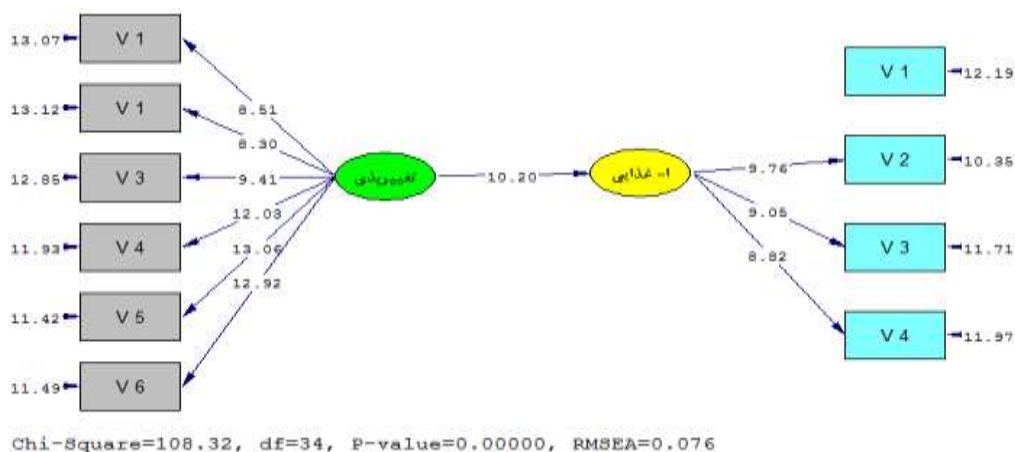
شکل ۶- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت سازگاری و امنیت غذایی) در حالت اعداد معناداری



شکل ۴- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت جذب و امنیت غذایی) در حالت اعداد معناداری



شکل ۷- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت تغییرپذیری و امنیت غذایی) در حالت تخمین استاندارد



شکل ۸- نتایج مدلیابی معادلات ساختاری (ارتباط ظرفیت سازگاری و امنیت غذایی) در حالت اعداد معناداری

۴-جمع‌بندی

از زمان شیوع ویروس کرونا در جهان سیستم‌های غذایی با چالش‌های اساسی روبه‌رو شده است. این ویروس، مانند سایر بیماری‌های همه‌گیر، می‌تواند تغییرات قابل توجهی را در سراسر جهان ایجاد کند که همه کشورهای، شهرها و روستاها را تحت تأثیر قرار دهد، همچنین ممکن است منجر به تغییر در سبک زندگی و گزینش‌های غذایی گردد و امنیت غذایی و دسترسی به غذا را برای گروه‌های مختلف جامعه با مشکل مواجه کند. در این میان جوامع با نظام‌های برنامه‌ریزی مختلف اثرات متفاوتی از این همه‌گیری متحمل می‌شوند. درواقع اجتماعات با ظرفیت تاب‌آوری مختلف، دامنه آسیب‌پذیری و اثرپذیری متفاوتی خواهند داشت. در این تحقیق به تبیین الگوی اثرگذاری ظرفیت تاب‌آوری بر تأمین شاخص‌های امنیت غذایی پرداخته شده است. نتایج مدلیابی معادلات ساختاری در شهر ماسال نشان از ارتباط مؤثر ظرفیت تاب‌آوری و میزان امنیت غذایی خانوار دارد. ظرفیت تاب‌آوری در سه بعد ظرفیت جذب، ظرفیت تطبیقی و ظرفیت سازگاری می‌تواند اثر مهمی بر امنیت غذایی داشته باشد. در تحقیق حاضر ظرفیت جذب با ظرفیت‌های فرعی سرمایه اجتماعی پیوندی، مالکیت دارایی، پس‌انداز، دسترسی به شبکه‌های ایمن غیررسمی و توانایی کاهش یا آمادگی در برابر فاجعه مورد ارزیابی قرار گرفته است. اثرات این ظرفیت‌ها بر امنیت غذایی خانوار مثبت و مستقیم بوده است. همچنین ظرفیت‌هایی فرعی زیرمجموعه ظرفیت تطبیقی شامل سرمایه اجتماعی ارتباطی، سرمایه اجتماعی متصل‌کننده، دسترسی به بازار، دسترسی به خدمات، اشتغال زنان و حکمروایی بر میزان امنیت غذایی مؤثر بوده است. ظرفیت تغییرپذیری نیز با زیرمجموعه‌های خود شاخص‌های امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. نتایج تحقیق با درجات مختلف با یافته‌های محققانی چون (فرانکنبرگر و همکاران، ۲۰۱۲؛ آناش و همکاران، ۲۰۱۹؛ پارتلو، ۲۰۲۱؛ دورو و همکاران، ۲۰۲۰؛ الیاس و جمبور، ۲۰۲۱؛ اسمیت و فرانکنبرگر، ۲۰۱۸ و ...) همسو بوده است. تفاوت یافته‌های تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین بیشتر در مقیاس و مکان مورد مطالعه با سطح فرهنگ، هویت و سطح دموکراسی مختلف است. جامعه ایرانی با فرهنگ ایرانی-اسلامی و وجود نهادهای مذهبی و وجود فرهنگ کمک و اهدای هدیه، تا حدود زیادی بر میزان رفع مشکلات در بحران اثرگذار است. جامعه مورد مطالعه تحقیق هم شهر کوچک ماسال در استان گیلان است. شهری با فرهنگ سنتی همسایگی که شهروندان تا حدود زیادی با اصول همسایه‌داری و کمک به هم‌نوع آشنایی دارند. این امر کفه ترازوی سرمایه اجتماعی و سایر ظرفیت‌های اجتماعی را در تأمین امنیت غذایی، سنگین‌تر خواهد کرد. در نهایت آنچه می‌توان گفت ابربحران کرونا به جهان و جامعه ایرانی نشان داد باید بر اصول تاب‌آوری و مدیریت سرمایه و دارایی توجه کرده و به‌عنوان یک عامل مهم در مدیریت بحران شهری سرلوحه زندگی قرار داد.

کتابنامه

- Aldrich, P.D. & Meyer, M., 2014. "Social capital and community resilience", *American Behavioral Scientist*, Vol. 59 No. 2, pp. 254-269. <https://doi.org/10.1177/0002764214550299>
- Alinovi, L., Mane, E., and Romano, D., 2008. Towards the Measurement of Household Resilience to Food Insecurity: Applying a Model to Palestinian Household Data, In Sibrian, R., (ed.). *Deriving Food Security Information From National Household Budget Surveys. Experiences, Achievement, Challenges*. FAO. Rome: 137-52. <http://www.stats.gov.cn/english/ICAS/papers/P020071017475481721768.pdf>
- Amadei, B., 2020. A Systems Approach to Building Community Capacity and Resilience, *Challenges*, 11, 28; <https://doi.org/10.3390/challe11020028>
- Ambelu, A., Birhanu, Z., Tesfaye, A., Berhanu, N., Muhumuza, C., Kassahun, W., Daba, T., & Woldemichael, K., 2017. Intervention pathways towards improving the resilience of pastoralists: A study from Borana communities, southern Ethiopia. *Weather and Climate Extremes*, 17, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.06.001>
- Ansah, I.G.K., Gardebroek, C. & Ihle, R., 2019. Resilience and household food security: a review of concepts, methodological approaches and empirical evidence. *Food Security*, 11, 1187–1203. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00968-1>.
- Barthel S, Parker J, Ernstson H., 2015. Food and green space in cities: A resilience lens on gardens and urban environmental movements. *Urban Stud*; 52(7):1321-1338. <https://doi.org/10.1177/0042098012472744>
- Bebbington, A. 1999. Capitals and capabilities: A framework for analyzing peasant viability, rural livelihoods and poverty. *World Development*, 27, 2021-2044
- Béné, C., Wood, R. G., Newsham, A., & Davies, M., 2012. Resilience: New utopia or new tyranny? Reflection about the potentials and limits of the concept of resilience in relation to vulnerability reduction Programmes. *IDS Working*, pp, 1–61. https://www.researchgate.net/publication/260415951_Resilience_New_Utopia_or_New_Tyranny_Reflection_About_the_Potentials_and_Limits_of_the_Concept_of_Resilience_in_Relation_to_Vulnerability_Reduction_Programmes
- Béné, Christophe, Headey, Derek, Haddad, Lawrence, & von Grebmer, Klaus., 2016. Is resilience a useful concept in the context of food security and nutrition programmes? Some conceptual and practical considerations. *Food Security*, 8(1), 123–138. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0526-x>
- Bernard, T., Dercon, S., Krishnan, P., Krutikova, S., & Taffesse, A. S., 2012. Aspirations matter: Shaping aspirations can play a crucial role in enabling people to pull themselves out of poverty. *Improving Institutions for Pro-Poor Growth (IIG) Briefing Paper No. 19*. CSAE Economics Department, University of Oxford, United Kingdom. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08a7ee5274a31e0000624/iig-briefingpaper-19-aspirations-matter.pdf>
- Boyd, E. and Juhola, S., 2014. Adaptive climate change governance for urban resilience, *Urban Studies*, Vol. 52 No. 7, pp. 1234-1264. <https://doi.org/10.1177/0042098014527483>
- Carpenter, S. R., Westley, F., & Turner, M. G., 2005. Surrogates for resilience of social-ecological systems. *Ecosystems*, 8, 941–944. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0170-y>
- Chambers, R., & Conway, G. (1992). *Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century*. Institute of Development Studies (UK)
- Constas, M., d'Errico, M., & Garbero, A., 2016. Quantitative analyses for resilience measurement. Guidance for constructing variables and exploring relationships among variables: Resilience measurement technical working group. Technical series no. 7. Food security information

- network. https://www.researchgate.net/publication/329873211_Quantitative_Analyses_for_Resilience_Measurement_Guidance_for_constructing_variables_and_exploring_relationships_among_variables_technical_series_no_7_Food_Security_Information_Network_FSIN_Food_Security
- Constas, M., Frankenberger, T., & Hoddinott, J., 2014. Resilience measurement principles: Toward an agenda for measurement design. Resilience Measurement Technical Working Group, Technical Series: Food Security Information Network. <https://www.fsinplatform.org/resilience-measurement>
- Cutter SL., 2017. The perilous nature of food supplies: Natural hazards, social vulnerability, and disaster resilience. *Environ Sci Policy Sustain Dev*;59(1):4-15. <https://doi.org/10.1080/00139157.2017.1252603>
- D'Errico, M., Romano, D., & Pietrelli, R., 2018. Household resilience to food insecurity: Evidence from Tanzania and Uganda. *Food Security*, 10, 1033–1054. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0820-5>
- Davoudi, S., 2012. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End ?, *Planning Theory & Practice*, 13 (2), 299-333. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Devereux, S., Béné, C. & Hoddinott, J., 2020. Conceptualising COVID-19's impacts on household food security. *Food Sec.* 12, 769–772. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01085-0>
- Éliás, B.A.; Jámbo, A., 2021. Food Security and COVID-19: A Systematic Review of the First-Year Experience. *Sustainability*, 13, 5294. <https://doi.org/10.3390/su13095294>
- Erokhin, V & Gao, T., 2020. Impacts of COVID-19 on Trade and Economic Aspects of Food Security: Evidence from 45 Developing Countries, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 5775. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165775>
- EU., 2012. Communication from the commission to the European Parliament and the council. The EU Approach to resilience: Learning from Food Security Crises. <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vj3frr4t4gy9>
- FAO., 2013. Proceedings of the second ministerial meeting on international food prices. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/about/meetings/mm2/en/>
- FAO., 2001. The State Food Insecur. World. *State Food Insecur. World*, 316, 3–8. <https://www.fao.org/agrifood-economics/publications/detail/en/c/122100/>
- FAO., 2016. RIMA-II: Resilience Index Measurement and Analysis II. <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/f86d84f6-def3-46ec-a5da-4ce312f3af7f/>
- FAO; International Fund for Agricultural Development; United Nations Children's Fund; World Food Programme; World Health Organization (2019), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against Economic Slowdowns and Downturns*; FAO: Rome, Italy. <https://www.wfp.org/publications/2019-state-food-security-and-nutrition-world-sofi-safeguarding-against-economic>
- FAO., 2020. Gendered impacts of COVID-19 and equitable policy responses in agriculture, food security and nutrition. Policy brief. <http://www.fao.org/policy-support/toolsand-publications/resources-details/en/c/1276740>
- FM Global., 2018. FM Global Resilience Index. http://www.haitilibre.com/docs/Resilience_Methodology.pdf
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., and Rockstrom, J., 2010. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. https://www.researchgate.net/publication/258374985_Resilience_Thinking_Integrating_Resilience_Adaptability_and_Transformability

- Food and Agriculture Organization of the United Nations ,.1992. Food, Nutrition, and Agriculture; FAO: Rome, Italy. [https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID = XF2016030073](https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016030073)
- Frankenberger, T., Langworthy, M., Spangler, T., Nelson, S., Campbell, J., & Njoka, J.,2012. Enhancing resilience to food security shocks. White Paper (Draft). Tucson: TANGO International. [https:// www.fsnnetwork.org/ sites/ default/ files/ discussion _paper_ usaid_dfid_wb_nov. _8_2012.pdf](https://www.fsnnetwork.org/sites/default/files/discussion_paper_usaid_dfid_wb_nov._8_2012.pdf)
- Frankenberger, Tim, Kimberly Swallow, Monica Mueller, Tom Spangler, Jeanne Downen, and Sara Alexander,. 2013. Feed the Future Learning Agenda Literature Review: Improving Resilience of Vulnerable Populations. Prepared for the Feed the Future FEEDBACK project of the United States Agency for International Development. TANGO, International, Tucson, AZ. [https:// www.advancingnutrition.org/ resources/ feed- future -learning- agenda-literature- review-improving-resilience-vulnerable-populations](https://www.advancingnutrition.org/resources/feed-future-learning-agenda-literature-review-improving-resilience-vulnerable-populations)
- Heltberg, R., & Lund, N,. 2009. Shocks, coping, and outcomes for Pakistan's poor: Health risks predominate. The Journal of Development Studies, 45, 889–910. [https:// doi.org/ 10.1080/ 00220380902802214](https://doi.org/10.1080/00220380902802214)
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological System. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.
- Hutson RA, Trzcinski E, Kolbe AR,.(2014), Features of child food insecurity after the 2010 Haiti Earthquake: Results from longitudinal random survey of households. PLoS ONE;9(9):e104497. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104497>
- International Monetary Fund (IMF). 2020. World Economic Outlook Update, June 2020. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020>
- Laborde, D., Martin, W., Swinnen, J., Vos, R,. 2020. COVID-19 risks to global food security. Science 369, 500–502. <https://doi.org/10.1126/science.abc4765>.
- Lal R,. 2013. Food security in a changing climate. Ecohydrol Hydrobiol;13(1):8-21. [https:// doi.org/ 10.1016/j.ecohyd.2013.03.006](https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.03.006)
- Lokosang, L. B., Ramroop, S., & Zewotir, T,. 2014. Indexing household resilience to food insecurity shocks: The case of South Sudan. Agrekon, 53, 137–159. [https:// doi.org/ 10.1080/03031853.2014.915486](https://doi.org/10.1080/03031853.2014.915486)
- Løvendahl, C.R., Knowles, M., and Horii, N,. 2004. Understanding Vulnerability to Food Insecurity Lessons from Vulnerable Livelihood Profiling. ESA Working Paper No. 04- 18. Agricultural and Development Economics Division. Rome: FAO. October 2004. [https:// www.researchgate.net/publication/5021748_Understanding_Vulnerability_to_Food_Insecurity_Lessons_from_Vulnerable_Livelihood_Profiling](https://www.researchgate.net/publication/5021748_Understanding_Vulnerability_to_Food_Insecurity_Lessons_from_Vulnerable_Livelihood_Profiling)
- Meerow, S., Newell, J. P,. 2016. Urban resilience for whom, what, when, where, and why?. Urban Geography, 1-22. <https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1206395>
- Nelson, S., Frankenberger, T., Langworthy, M., Finan, T. and Bower, T,. 2016. The Effect of Livelihood Diversity on Recovery and Shock Impact in Ethiopia, Kenya and Uganda. Report prepared by The Technical Consortium, a project of the CGIAR. Technical Report Series No 2: Strengthening the Evidence Base for Resilience in the Horn of Africa. Nairobi, Kenya: A joint International Livestock Research Institute (ILRI) and TANGO International publication. <https://www.fsnnetwork.org/resource/effect-livelihood-diversity-recovery-and-shock-impact-ethiopia-kenya-and-uganda>
- OECD,. 2013. Risk and resilience: From good idea to good practice. France: A scoping study for experts on risk and resilience. Organisation for Economic Cooperation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/risk-and-resilience_5k3ttg4cxcbp.pdf

- Partelow, S., 2021. Social capital and community disaster resilience: post-earthquake tourism recovery on Gili Trawangan, Indonesia. *Sustain Sci* 16, 203–220. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00854-2>
- Pingali, P., Alinovi, L., & Sutton, J., 2005. Food security in complex emergencies: Enhancing food system resilience. *Disasters*, 29, S5–S24. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15910676/>
- Skoufias, E., 2003. Economic crises and natural disasters: coping strategies and policy implications. *World Development*, 31(7), 1087–1102. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(03\)00069-X](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(03)00069-X)
- Skoufias, E., & Quisumbing, A. R., 2005. Consumption insurance and vulnerability to poverty: A synthesis of the evidence from Bangladesh, Ethiopia, Mali, Mexico and Russia. *European Journal of Development Research*, 17(1), 24–58. <https://doi.org/10.1080/09578810500066498>
- Smith, L. C., & Frankenberger, T. R., 2018. Does resilience capacity reduce the negative impact of shocks on household food security? Evidence from the 2014 floods in northern Bangladesh. *World Development*, 102, 358–376. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.07.003>
- Tawodzera, G., 2012. Urban household survival and resilience to food insecurity in crisis conditions: the case of Epworth in Harare, Zimbabwe. *Journal of Hunger and Environmental Nutrition*, Vol. 7 Nos 2/3, pp. 293–320. <https://doi.org/10.1080/19320248.2012.702469>
- Thompson, J., & Scoones, I., 2009. Addressing the dynamics of Agrifood systems: An emerging agenda for social science research. *Environmental Science & Policy*, 12, 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.03.001>
- Tippens, J.A., 2016. Urban Congolese Refugees in Kenya: The Contingencies of Coping and Resilience in a Context Marked by Structural Vulnerability, Faculty publication, Department of Child, Youth and Family studies, University of Nebraska-Lincoln. <https://doi.org/10.1177/104973231666>
- UNDP, 2012. Towards a food secure future: Empowered lives, resilient nations. United Nations Development Programme: African Human Development Report. <https://hdr.undp.org/content/africa-2012-towards-food-secure-future>
- UNISDR, 2015. Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management, Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Tokyo, Japan. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:78299>
- Vaitla, B., Tesfay, G., Rounseville, M., & Maxwell, D., 2012. Resilience and livelihoods change in Tigray, Ethiopia. Somerville: Tufts University, Feinstein International Center. <https://fic.tufts.edu/assets/Resilience-and-Livelihoods-Change-in-Tigray-FINAL-30-10-12.pdf>
- White, I., O'Hare P., 2014. From rhetoric to reality: which resilience, why resilience, and whose resilience in spatial planning?. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 32 (5), 934–950. <https://doi.org/10.1068/c12117>
- Woodhouse, A., 2006. Social capital and economic development in regional Australia: A case study, *Journal of Rural Studies*, 22(1), 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2005.07.003>
- World Bank, 2016. Closing the gap: building resilience to natural disasters and manmade shocks through social safety nets. Closing the Gap. Washington, D.C.: World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/147221468000306368/pdf/104868-BRI-P154156-PUBLIC-Resilience-Brief-FINAL.pdf>
- World Bank, 2020. Food Security and COVID-19. December 14. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/food-security-update>
- World Trade Organization, 2020. The COVID-19 Pandemic and Trade-Related Developments in LDCs. https://www.wto.org/english/tratop_e/covid19_e/ldcs_report_e.pdf

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)
VOLUME 11, NO 43, Fall 2022



CONTENTS

- **Prioritization of Flood Risk in Ganjvan Watershed of Ilam Province using ELECTRE Model** 1
Fathollah Naderi, Behroz Naseri, Yasem KhanMohamadian, Emad Salamat, MohamadTaqhi Kosha
- **The Evaluation of Flood Zone and Hydrograph using ERA5 Precipitation Data (Case Study: Zoshk Basin)** 2
Saeid Pourentezari, Kazem Esmaili, Alireza FaridHosseini, Elaheh Ghafari
- **Investigating the Relationship between Karst Landforms and Tectonic Structures in the Tamtaman Nazlo Chai Area, Northwest of Urmia** 3
Reza AbbasianValandar, Shahram Roostaei, Davood Mokhtari
- **Predicting Changes in Stream Path and Morphology of Gorganrood River with an Emphasis on Flooding** 4
Hamidreza Masoumi, Alireza Habibi, Mohammadreza Parsamehr
- **The Role of Landform Evolution in the Changes of Pedosphere Carbon Dynamic** 5
Amir Mohseni, Neda Mohseni, Alireza Karimi
- **Evaluation of Dust Emission Potential of Geomorphology Classes in Ilam Province with an Emphasis on Land Use Change** 6
Majid Ahmadi Molaverdi, Iraj Jabbari, Amanollah Fathnia
- **Evaluation of Gully Erosion Sensitivity using Maximum Entropy Model in Shoor River Watershed (Mohr Township)** 7
Aghil Madadi, Sayyad Asghari Saraskanroud, Saeed Negahban, Mehri Marhamat
- **Evaluating the Role of Optimized Land Use in Runoff Generation (Case Study: Nahre Azam Watershed of Shiraz)** 8
Mohammad Taghi Dastorani, Mahmood Reza Barahimi, Ali Akbar Karimian, Amir Esmailpour Zarmehi
- **The Evaluation of Agricultural Water Management Status in the Mountainous Basin of the Kashkan River** 9
Mehrshad Toulabinejad, Mohammad Azadpour, Zeynab Dolatshahi
- **Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces)** 10
Saleh Arekhi, Marzieh Barzegar Savasari, Somia Emadaddian
- **Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province** 11
Koozhad Raispour, Hossein Asakereh
- **Synoptic Aspects of Widespread Snowstorm with Dangerous Blizzard Conditions in the Territory of Iran (February 3-9, 1972)** 12
Mahdi Sedaghat, Hamid Nazaripour, Alireza Sadeghinia
- **The Analysis of Urban Development and Growth Pattern and Distribution using Satellite Images (Study Area: Kashmar City)** 13
Ali Hajizadeh Sheikhanlu, Habib Khavari, Mahnaz Ramezani
- **The Analysis and Leveling of Key Drivers Affecting the Increase of Physical Resilience in Tehran against Earthquakes using Interpretive Structural Modeling (Case Study: District 10)** 14
Amin Latifi, Keramatollah Ziari, Seyyed Majid Nader
- **Explaining the Impact Pattern of Urban Resilience Capacity on Food Security of Urban Households during the Corona Pandemic (Case Study: Masal City)** 15
Yaser Gholipour

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Editor – in – Chief:

Professor M. R. Rahnama
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.

Executive Coordinator:

Sayyed Mohammad Ali Moosavi

English Language Editor:

Abdullah Nowruzy

Director:

Dr. S. R. Hosseinzadeh
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.

Managing Editor:

Dr. Neda Mohseni

Editorial Board:**Prof. Victor R. Baker**

Department of Hydrology and Water Resource,
University of Arizona, USA

Prof. Ziyadin Çakir

Department of Geology, Istanbul Technical University,
Turkey

Prof. Gao-Lin Wu

Institute of Water and Soil Conservation, Chinese
Academy of Sciences

Dr. B. Feizizadeh

Department of Geography, Letters and Humanities
University of Tabriz

Professor Z. B. Hejazizadeh

Department of Geography,
University of Alkharazmi, Tehran, Iran.

Dr. S. R. Hoseinzadeh

Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Professor M. Ghahroudi Tali

Department of Geography,
University of Alkharazmi, Tehran, Iran.

Professor J. Javan

Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Professor A. Masudian

Department of Physical Geography,
University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Dr. M. Minaei

Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Dr. H. Negaresh

Department of Physical Geography,
University of Sistan, Zahedan, Iran.

Professor A. Nohegar

Department of Planning,
management, and education of
environment, University of Tehran,
Tehran, Iran.

Professor B. Sari Sarraf

Department of Physical
Geography University of Tabriz,
Tabriz, Iran.

Dr. Sh. Shataee Joybari

Department of forest sciences
University of Gorgan, Gorgan,
Iran.

Professor S. Velayati

Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran.

Professor M. Yamani

Department of Physical Geography,
University of Tehran, Tehran, 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, Postal Code 9177948883, mashhad-Iran, tel: +98(0) 5138805273

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Notes For Contributors

AIMS AND SCOPE

Geography and environmental Hazards is an Iranian Interdisciplinary research journal devoted to the publication of original scientific and technical papers in natural and technological hazards. The subjects include of full rang of Hazardous events from extreme Geological, Geomorphological, Hydrological, Atmospheric and Biological events such as earthquakes, subsidence, floods, debris flows, landslids, storms, desertification, air pollution and epidemics to technological Impacts and Human malifunction such as industrial explosions, fires, nuclear and toxic waste releases. With an approach to Geography this journal highlightes issues of Geographically risk degree of regions, human exposure, vulnerability, awareness, respons to disasters and planning. The role of hazards in affecting development process particularly in under development countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

NOTES FOR CONTRIBUTORS

Geography and Environmental Hazards is a bilingual Journal in Persian and English languages. Persian authors with papers in their own language must submit an extended abstract in English. authors with English papers must submit the initial electronic manuscript to one of the following Addresses:

Journal website: <http://geoeh.um.ac.ir>

Journal Email: geo.eh@um.ac.ir

The initial manuscript must be sent in two separate files, **word** and **pdf** form.

Manuscript Style

All submissions must be printed on A4 paper size, be double- line spaced and have a margin of 3.5 cm all round.

Illustrations and tables must be printed on separate sheets and not be incorporated into the text.

Title Page must list full title, short title, names and affiliations of author(s), and full address of each author. The precise mailing address, Telephone, Fax, and Email address of the corresponding author.

Supply an abstract of up to 300 words and a keyword list up to 6 words below the abstract. The abstract should precise the paper, giving a clear indication of Its conclusions. It should contain no citation to other published works.

Reference Style

References should be presented in the text as name of author and year within brackets and listeted at the end of the paper alphabetically. All references in the reference list should appear in the text.

Where reference is made to more than one work by the same author published in the same year, identify each citation in the text as follows: (Baker, 1987 a), (Baker 1987b). Where three or more outhors are listed in the reference list, cite in the text as (Baker et al 1998) References should be listed in the following style:

- **Journals:** Baker, V.R., 1994. Geomorphological understanding of floods. *Geomorphology* 10, 139–156.
- **Books:** Huggett, R., 1989. *Cataclysms and Earth history: the Development of Diluvialism*. Clarendon Press, Oxford, 220 pp.
- **Proceedings:** Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood Hydrology. In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Lavish, D.R. (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. Water Science and Application, vol. 5. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1–19.

Illustrations must relate clearly to the section in which appear and sholud be referred to in the text as **figure 1. figure 2**, etc. Illustrations should be supplied as **JPEG** or **TIFF** files, the filename must include the corresponding author, Surname and figure number. This journal is only greyscale so All figures (**Maps, graphs and pictures**) must be comprehensible in black and white, please use patterns to differentiate sections.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents (Abstracts)

VOLUME 11, NO 43, Fall 2022

Pages

- **Prioritization of Flood Risk in Ganjvan Watershed of Ilam Province using ELECTRE Model** 1
Fathollah Naderi, Behroz Naseri, Yasem KhanMohamadian, Emad Salamat, MohamadTaqui Kosha
- **The Evaluation of Flood Zone and Hydrograph using ERA5 Precipitation Data (Case Study: Zoshk Basin)** 2
Saeid Pourentezari, Kazem Esmaili, Alireza FaridHosseini, Elaheh Ghafari
- **Investigating the Relationship between Karst Landforms and Tectonic Structures in the Tamtaman Nazlo Chai Area, Northwest of Urmia** 3
Reza AbbasianValandar, Shahram Roostaei, Davood Mokhtari
- **Predicting Changes in Stream Path and Morphology of Gorganrood River with an Emphasis on Flooding** 4
Hamidreza Masoumi, Alireza Habibi, Mohammadreza Parsamehr
- **The Role of Landform Evolution in the Changes of Pedosphere Carbon Dynamic** 5
Amir Mohseni, Neda Mohseni, Alireza Karimi
- **Evaluation of Dust Emission Potential of Geomorphology Classes in Ilam Province with an Emphasis on Land Use Change** 6
Majid Ahmadi Molaverdi, Iraj Jabbari, Amanollah Fathnia
- **Evaluation of Gully Erosion Sensitivity using Maximum Entropy Model in Shoor River Watershed (Mohr Township)** 7
Aghil Madadi, Sayyad Asghari Saraskanroud, Saeed Negahban, Mehri Marhamat
- **Evaluating the Role of Optimized Land Use in Runoff Generation (Case Study: Nahre Azam Watershed of Shiraz)** 8
Mohammad Taghi Dastorani, Mahmood Reza Barahimi, Ali Akbar Karimian, Amir Esmailpour Zarmehi
- **The Evaluation of Agricultural Water Management Status in the Mountainous Basin of the Kashkan River** 9
Mehrshad Toulabinejad, Mohammad Azadpour, Zeynab Dolatshahi
- **Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces)** 10
Saleh Arekhi, Marzieh Barzegar Savasari, Somia Emadaddian
- **Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province** 11
Koohzad Raispour, Hossein Asakereh
- **Synoptic Aspects of Widespread Snowstorm with Dangerous Blizzard Conditions in the Territory of Iran (February 3-9, 1972)** 12
Mahdi Sedaghat, Hamid Nazaripour, Alireza Sadeghinia
- **The Analysis of Urban Development and Growth Pattern and Distribution using Satellite Images (Study Area: Kashmar City)** 13
Ali Hajizadeh Sheikhanlu, Habib Khavari, Mahnaz Ramezani
- **The Analysis and Leveling of Key Drivers Affecting the Increase of Physical Resilience in Tehran against Earthquakes using Interpretive Structural Modeling (Case Study: District 10)** 14
Amin Latifi, Keramatollah Ziari, Seyyed Majid Nader
- **Explaining the Impact Pattern of Urban Resilience Capacity on Food Security of Urban Households during the Corona Pandemic (Case Study: Masal City)** 15
Yaser Gholipour



JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS



Research Journal

Volume. 11, No. 43, Fall 2022

- **Prioritization of Flood Risk in Ganjvan Watershed of Ilam Province using ELECTRE Model**
Fathollah Naderi, Behroz Naseri, Yasem KhanMohamadian, Emad Salamat, MohamadTaqhi Kosha
- **The Evaluation of Flood Zone and Hydrograph using ERA5 Precipitation Data (Case Study: Zoshk Basin)**
Saeid Pouretezari, Kazem Esmaili, Alireza FaridHosseini, Elaheh Ghafari
- **Investigating the Relationship between Karst Landforms and Tectonic Structures in the Tamtaman Nazlo Chai Area, Northwest of Urmia**
Reza AbbasianValandar, Shahram Roostaei, Davood Mokhtari
- **Predicting Changes in Stream Path and Morphology of Gorganrood River with an Emphasis on Flooding**
Hamidreza Masoumi, Alireza Habibi, Mohammadreza Parsamehr
- **The Role of Landform Evolution in the Changes of Pedosphere Carbon Dynamic**
Amir Mohseni, Neda Mohseni, Alireza Karimi
- **Evaluation of Dust Emission Potential of Geomorphology Classes in Ilam Province with an Emphasis on Land Use Change**
Majid Ahmadi Molaverdi, Iraj Jabbari, Amanollah Fathnia
- **Evaluation of Gully Erosion Sensitivity using Maximum Entropy Model in Shoor River Watershed (Mohr Township)**
Aghil Madadi, Sayyad Asghari Saraskanroud, Saeed Negahban, Mehri Marhamat
- **Evaluating the Role of Optimized Land Use in Runoff Generation (Case Study: Nahre Azam Watershed of Shiraz)**
Mohammad Taghi Dastorani, Mahmood Reza Barahimi, Ali Akbar Karimian, Amir Esmailpour Zarmehi
- **The Evaluation of Agricultural Water Management Status in the Mountainous Basin of the Kashkan River**
Mehrshad Toulabinejad, Mohammad Azadpour, Zeynab Dolatshahi
- **Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces)**
Saleh Arekhi, Marzieh Barzegar Savasari, Somia Emadaddian
- **Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province**
Koohzad Raispour, Hossein Asakereh
- **Synoptic Aspects of Widespread Snowstorm with Dangerous Blizzard Conditions in the Territory of Iran (February 3-9, 1972)**
Mahdi Sedaghat, Hamid Nazaripour, Alireza Sadeghinia
- **The Analysis of Urban Development and Growth Pattern and Distribution using Satellite Images (Study Area: Kashmar City)**
Ali Hajizadeh Sheikhanlu, Habib Khavari, Mahnaz Ramezani
- **The Analysis and Leveling of Key Drivers Affecting the Increase of Physical Resilience in Tehran against Earthquakes using Interpretive Structural Modeling (Case Study: District 10)**
Amin Latifi, Keramatollah Ziari, Seyyed Majid Nader
- **Explaining the Impact Pattern of Urban Resilience Capacity on Food Security of Urban Households during the Corona Pandemic (Case Study: Masal City)**
Yaser Gholipour



دانشگاه هرمزگان



دانشگاه علوم کشاورزی و علوم طبیعی کرمان



دانشگاه سیستان و بلوچستان



دانشگاه خوارزمی تهران



دانشگاه تبریز



دانشگاه اصفهان

ISSN:2322-1682

Published by

Ferdowsi University of Mashhad