

مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی



سال دوازدهم، شماره ۴۵، بهار ۱۴۰۲، شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

(نشریه علمی)

- مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آندچای بر پایه یک رویکرد طبقه بندی ترکیبی نوین ...
توحید رحیم پور، محمدحسین رضائی مقدم، سید اسداله حجازی، خلیل ولیزاده کامران
- ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی رسوبی راوه-راهجرد (سلفچگان)
مصطفی نجفی، سید احمد علوی، محسن احتشامی معین آبادی
- ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت شده کوسالان با استفاده از سنجش ازدور و GIS
زهره جلیلیان، جمیل امان اللهی
- تأثیر انتقال رسوب در عرض پهنه بندی سیلاب رودخانه آجی چای
میثم آژیده، محمدتقی اعلمی، حبیبه عباسی، لیلا ملکانی
- آتش سوزی ها در توده های جنگل کاری تنک شده و تنک نشده در شمال ایران
رقیه جهدی
- ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های نسبت فراوانی و منطق فازی ...
سیامک بهاروند
- بررسی همبندی سیل حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل (مطالعه موردی: ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹)
بهروز سبحانی، مهدی فروتن
- شناسایی مناسب ترین نقاط دیده بانی در پایش عرصه های منابع طبیعی با استفاده از تحلیل های مکانی
محسن مصطفی، شعبان شتایی جویباری
- بررسی داده های مرکز ECMWF در پایش و پیش بینی توفان های گردوغباری جنوب غرب ایران ...
حسن حاجی محمدی، سمیه حاجی وند پایداری
- بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب غرب ایران با استفاده از «واکاوی بارش گرده معاصر»
محمود داودی، محمدامین مرادی مقدم
- بررسی دامنه شبانه روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5
سیده فاطمه اخلاقی حسینی، آذر زرین، عباسعلی داداشی رودباری
- بررسی توزیع زمانی-مکانی و امکان پیش بینی جست باد در ایران
محمد حسام محمدی، امیرحسین مشکوتی، سرمد قادر، مجید آزادی
- ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش های منجر به خسارت بارترین ۱۳۹۸...
سید حسین ثنائی نژاد، خسرو سالاری
- شناسایی و اولویت بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان های نظامی منطقه جنوب شرق
محمد محمدی، محمدحسین ناصرزاده، بهلول علیجانی، حسن قاضی
- شناسایی مؤلفه های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان های نوظهور تاب آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی ...
مریم علیپور شعاری دهقانی، علی پناهی، رضا ولی زاده





فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی نشریه علمی

سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنج، بهار ۱۴۰۲

شاپا الکترونیکی: ۳۰۷۶-۲۳۸۳

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۱۶۸۲

- مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الوندچای بر پایه یک رویکرد طبقه بندی ترکیبی نوین ...
توحید رحیم پور، محمدحسین رضائی مقدم، سید اسداله حجازی، خلیل ولیزاده کامران
- ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی-رسوبی راهه-راهجرد (سلفچگان)
مصطفی نجفی، سید احمد علوی، محسن احتشامی معین آبادی
- ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت شده کوسالان با استفاده از سنجش از دور و GIS
زهره جلیلیان، جمیل امان اللهی
- تأثیر انتقال رسوب در عرض پهنه بندی سیلاب رودخانه آجی چای
میثم آزیده، محمدتقی اعلمی، حبیبه عباسی، لیلا ملکانی
- آتش سوزی ها در توده های جنگل کاری تنک شده و تنک نشده در شمال ایران
رقیه جهدی
- ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های نسبت فراوانی و منطق فازی ...
سیامک بهاروند
- بررسی همبندی سیل حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل (مطالعه موردی: ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹)
بهروز سبحانی، مهدی فروتن
- شناسایی مناسب ترین نقاط دیده بانی در پایش عرصه های منابع طبیعی با استفاده از تحلیل های مکانی
محسن مصطفی، شعبان شتایی جویباری
- بررسی داده های مرکز ECMWF در پایش و پیش بینی توفان های گردوغباری جنوب غرب ایران ...
حسن حاجی محمدی، سمیه حاجیوند پایداری
- بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب غرب ایران با استفاده از «واکاوی بارش گرده معاصر»
محمود داودی، محمدامین مرادی مقدم
- بررسی دامننه شبانه روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5
سیده فاطمه اخلاقی حسینی، آذر زرین، عباسعلی داداشی رودباری
- بررسی توزیع زمانی-مکانی و امکان پیش بینی جست باد در ایران
محمد حسام محمدی، امیرحسین مشکوتی، سرمد قادر، مجید آزادی
- ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش های منجر به خسارت بارترین ۱۳۹۸ ...
سید حسین ثنائی نژاد، خسرو سالاری
- شناسایی و اولویت بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان های نظامی منطقه جنوب شرق
محمد محمدی، محمدحسین ناصرزاده، بهلول علیجانی، حسن قاضی
- شناسایی مؤلفه های تأثیر گذار بر کاربست اصول گفتمان های نوظهور تاب آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی ...
مریم علیپور شعاری دهقانی، علی پناهی، رضا ولیزاده



دانشگاه تهران
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 دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲

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. عبدالمجید احمدی (استادیار گروه جغرافیا دانشگاه بزرگمهر قاینات)
۳. مرتضی اکبری (استادیار بیابان زدایی گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۴. علیرضا انتظاری (دانشیار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری)
۵. محمد باعقیده (دانشیار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری)
۶. شهرام بهرامی (دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی)
۷. فرشاد پژوه (دکتری آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی)
۸. بهرام چوپین (استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی)
۹. فرهاد حمزه (استادیار جغرافیای سیاسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی)
۱۰. محسن حمیدیان پور (دانشیار، جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان)
۱۱. امیدعلی خوارزمی (استادیار مدیریت نوآوری - توسعه ملی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۲. هوشنگ خیری (استادیار زمین شناسی (هیدرولوژی) دانشگاه دامغان)
۱۳. حمید رحیمی (دکتری مخاطرات اقلیمی و اتمسفریک دانشگاه رازی - کرمانشاه)
۱۴. محسن رضائی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری - مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)
۱۵. احمد علی زارع (استادیار مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان یزد)
۱۶. میثم طولابی نژاد (دکترای آب و هواشناسی شهری، دانشگاه خوارزمی تهران)
۱۷. علی فتحزاده (دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان)
۱۸. منوچهر فرج زاده اصل (استاد جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تربیت مدرس تهران)
۱۹. بختیار فیضی زاده (دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS دانشگاه تبریز)
۲۰. جمیله قلی پور (دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی (گروه علوم و مهندسی آب) دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۱. علیرضا کربلایی (دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه خوارزمی تهران)
۲۲. فرانک کرمان (دانشجوی دکتری مدیریت کارآفرینی دانشگاه رازی کرمانشاه)
۲۳. ندا محسنی (دانشیار جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۴. ابوالفضل مساعدی (استاد هیدرولیک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۵. مفیدی، عباس (استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۶. اسماعیل نجفی (استادیار گروه جغرافیای دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان)
۲۷. مجتبی یمانی (استاد ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران)
۲۸. محمدرضا یوسفی روشن (استادیار گروه جغرافیا دانشگاه فرهنگیان تهران)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱	● مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه بندی ترکیبی نوین ... توحید رحیم پور، محمدحسین رضائی مقدم، سید اسداله حجازی، خلیل ولیزاده کامران
۲۵	● ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیکی در گستره آتشفشانی-رسوبی راوه-راهجرد (سلفچگان) مصطفی نجفی، سید احمد علوی، محسن احتشامی معین آبادی
۴۱	● ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت شده کوسالان با استفاده از سنجش ازدور و GIS زهره جلیلیان، جمیل امان اللهی
۶۳	● تأثیر انتقال رسوب در عرض پهنه بندی سیلاب رودخانه آجی چای میثم آژیده، محمدتقی اعلمی، حبیبه عباسی، لیلا ملکائی
۸۷	● آتش سوزی ها در توده های جنگل کاری تنک شده و تنک نشده در شمال ایران رقیه جهدی
۱۰۳	● ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های نسبت فراوانی و منطق فازی ... سیامک بهاروند
۱۱۷	● بررسی همدیدی سیل حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل (مطالعه موردی: ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹) بهروز سبحانی، مهدی فروتن
۱۳۷	● شناسایی مناسب ترین نقاط دیده بانی در پایش عرصه های منابع طبیعی با استفاده از تحلیل های مکانی محسن مصطفی، شعبان شتایی جویباری
۱۵۵	● بررسی داده های مرکز ECMWF در پایش و پیش بینی توفان های گردوغباری جنوب غرب ایران ... حسن حاجی محمدی، سمیه حاجی وند پایداری
۱۷۱	● بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب غرب ایران با استفاده از «واکاوی بارش گرده معاصر» محمود داودی، محمدامین مرادی مقدم
۱۸۹	● بررسی دامنه شبانه روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5 سیده فاطمه اخلاقی حسینی، آذر زرین، عباسعلی داداشی رودباری
۲۰۹	● بررسی توزیع زمانی-مکانی و امکان پیش بینی جست باد در ایران محمد حسام محمدی، امیرحسین مشکوتی، سرمد قادر، مجید آزادی
۲۲۹	● ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش های منجر به خسارت بارترین ۱۳۹۸ ... سید حسین ثنائی نژاد، خسرو سالاری
۲۴۷	● شناسایی و اولویت بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان های نظامی منطقه جنوب شرق محمد محمدی، محمدحسین ناصرزاده، بهلول علیجانی، حسن قاضی
۲۶۹	● شناسایی مؤلفه های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان های نوظهور تاب آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی ... مریم علیپور شعاری دهقانی، علی پناهی، رضا ولی زاده



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 دانشگاه ها 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 خواهد 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 دبیرانجمن یا مدیرمسئول به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور اعلام شود. موسسه متقاضی حداکثر به مدت شش ماه از تاریخ فسخ توافقنامه فرصت دارد تا با تکمیل مدارک و ارسال سه شماره آخر از نشریه به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، تقاضای اعتبار مستقل نماید تا مراحل ارزیابی نشریه صورت گیرد.

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 احمدرضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر فریبرز قریب (رئیس هیأت مدیره انجمن کواترنری ایران) به امضاء رسید.

دکتر احمدرضا بهرامی

معاون پژوهشی و فن آوری دانشگاه فردوسی مشهد

معاونت پژوهش و فناوری



انجمن کواترنری ایران

دکتر فریبرز قریب

رئیس هیأت مدیره انجمن کواترنری ایران

فریبرز قریب



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.

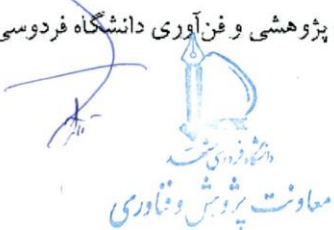
ماده ۷: هزینه‌های لیتوگرافی و چاپ نشریه (فیلم و زینگ، کاغذ، چاپ نشریه و جلد، صحافی) به صورت مشترک و با سهم مساوی توسط انجمن و موسسه متقاضی پرداخت خواهد شد.

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





Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost)

Tohid Rahimpour^{a*}, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^b, S. Asedolah Hejazi^b,
Khalil Valizadeh Kamran^d

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

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

^c Associate Professor in Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^d Professor in RS and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 13 December 2021

Revised: 19 February 2022

Accepted: 27 February 2022

Abstract

In the beginning of spring, floods are the most important geomorphic hazards in Iran, destructing properties and human lives. Aland Chai basin, located in Khoy County (northwest Iran), is also known as one of the basins with high potential for flood hazard due to its special geographical situation. This study tried to model spatial variation in flood hazard susceptibility in this basin using the ensemble model, FURIA-GA-LogitBoost. For this purpose, 13 effective parameters of flooding including lithology, soil hydrological groups, NDVI, land use, slope, aspect, elevation, distance to the river, river density, precipitation, topographic wetness index, stream power index, and sediment transport index were used. WEKA software was used to implement the research model and the final flood hazard susceptibility map was prepared. The study found that downstream areas of the basin have a high flood hazard susceptibility. These areas contain the most important human settlements (Khoy city) and agricultural lands and flood as a geomorphic hazard can seriously damage them. Considering the ROC curve and area under the curve (AUC), it was found that the FURIA-GA-LogitBoost model performed well in the preparation of flood hazard susceptibility map with coefficients of 0.861 and 0.895, respectively, in training and validation data.

Keywords: Flood, FURIA, Genetic Algorithm, LogitBoost Model, Aland Chai Basin

* Corresponding author: Tohid Rahimpour E-mail: Rahimpour1990@gmail.com Tel: + 989362849982

How to cite this Article: Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M. H., Hejazi, S. A., & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood susceptibility modeling in the Aland Chai Basin based on a new ensemble classification approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 1-24.

DOI:10.22067/geoeh.2022.74170.1141



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۴-۱
مقاله پژوهشی

مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost)

توحید رحیم پور^۱ - دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدحسین رضائی مقدم - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
سید اسدالله حجازی - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
خلیل ولیزاده کامران - استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۸

چکیده

با شروع فصل بهار سیلاب ها به عنوان مهم ترین مخاطره ژئومورفیک در سطح کشور مطرح می شوند که خسارت های جانی و مالی فراوانی را به بار می آورند. حوضه آبریز الندچای واقع در شهرستان خوی و شمال غرب کشور نیز به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی جزو حوضه های با پتانسیل بالای خطر وقوع سیل شناخته می شود. هدف از پژوهش حاضر مدل سازی تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل در این حوضه با استفاده از مدل ترکیبی نوین FURIA-GA-LogitBoost می باشد. به همین منظور از ۱۳ پارامتر مؤثر در وقوع سیل شامل لیتولوژی، گروه های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب استفاده شده است. جهت اجرای مدل تحقیق از نرم افزار WEKA استفاده شده و نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل تهیه گردید. یافته های پژوهش نشان

Email: Rahimpour1990@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۶۲۸۴۹۹۸۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

رحیم پور، توحید؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل. ۱۴۰۲. مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۲۴-۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141>

می‌دهد مناطق پایین‌دست حوضه حساسیت بالایی را از نظر خطر وقوع سیل دارند. این مناطق محل تمرکز مهم‌ترین اجتماعات انسانی حوضه آبریز (شهر خوی) و زمین‌های کشاورزی و باغات است که سیلاب به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک، تهدید جدی برای این مناطق محسوب می‌شود. بررسی میزان دقت نقشه نهایی با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که مدل به کار رفته در تحقیق به ترتیب با ضرایب ۰/۸۶۱ و ۰/۸۹۵ از نظر داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی از عملکرد خوبی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل برخوردار بوده است.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، FURIA، الگوریتم ژنتیک، مدل LogitBoost، حوضه آبریز الوندچای.

۱- مقدمه

ارائه تعریفی از سیل با توجه به ماهیت پیچیده آن، کار دشواری است و به همین دلیل تعاریف مختلفی از این پدیده ارائه شده است. چارلتون^۱ در کتاب خود تحت عنوان *مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای* تعریف خود از سیل را به این صورت بیان می‌کند؛ سیل عبارت است از جریان نسبتاً زیادی که بیش از ظرفیت کانال رودخانه است. درحالی‌که جریان‌های عادی درون کانال اتفاق می‌افتند، جریان‌های تند دوره‌ای از سواحل کانال جریان می‌گذرند و روی دشت‌های سیلابی اطراف جریان پیدا می‌کنند (تقفی و رضائی‌مقدم، ۱۳۹۶). در سرتاسر جهان، بیش از یک‌سوم سطح زمین در معرض سیلاب‌ها قرار دارد، جایی که بیش از ۷۰ درصد از جمعیت در آن سکونت دارند (آکسوی و همکاران^۲، ۲۰۱۶). به‌طورکلی سیلاب‌ها بر اساس وقوعشان به ۴ نوع طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: سیلاب‌های ناگهانی، سیلاب‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌های ساحلی و سیلاب‌های شهری (تین بوی و همکاران^۳، ۲۰۱۹؛ کاستاچ و همکاران^۴، ۲۰۲۰). در این طبقه‌بندی سیل‌های ناگهانی از مخرب‌ترین نوع سیلاب‌ها محسوب می‌شوند که خسارات جانی و مالی زیادی را به دنبال دارند. سیلاب‌ها می‌توانند تأثیر عمیقی بر روی اکوسیستم‌ها و زندگی انسان‌ها بگذارند (الکساندر^۵ و همکاران، ۲۰۱۱)؛ به‌طوری‌که بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۵ حدود ۱۰۹ میلیون نفر از سیلاب‌ها متأثر شده‌اند (آلفیری^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). روش‌های کمی و کیفی متعددی در ادبیات علمی برای مدل‌سازی سیلاب در داخل حوضه آبریز وجود دارد (محمود و رحمان، ۲۰۱۹). توفیق‌لو اسلام^۷ و همکاران (۲۰۲۱) مدل‌های به کار رفته جهت تهیه نقشه‌های حساسیت سیل‌خیزی را با بررسی تحقیقات مرتبط با سیل به ۴ دسته طبقه‌بندی کرده‌اند که شامل ۱- مدل‌های مبتنی بر دانش کارشناس مثل مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۲- مدل‌های مبتنی بر آمار

1 Charlton

2 Aksoy et al

3 Tien Bui et al

4 Costache et al

5 Alexander

6 Alfieri

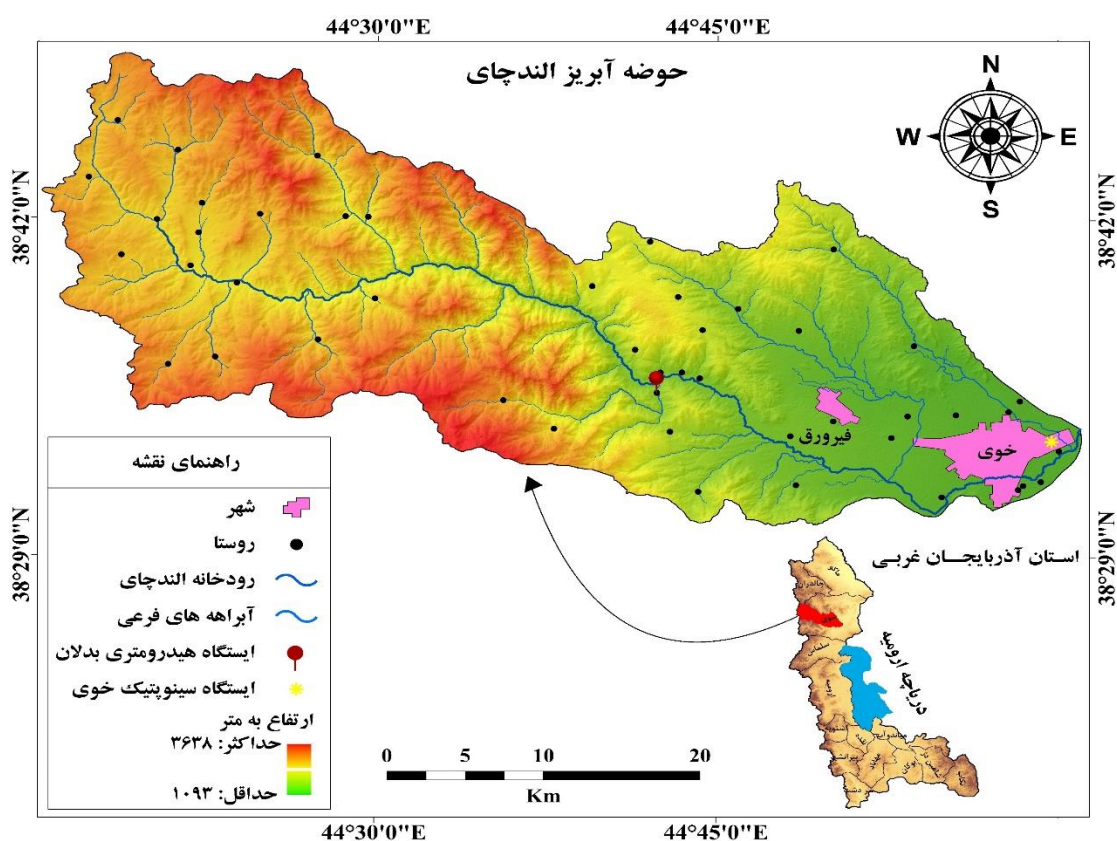
7 Towfiqul Islam

از قبیل نسبت فراوانی (FR)، ارزش اطلاعات، ضریب اطمینان، رگرسیون لجستیک، وزن شواهد، منطق فازی، منطق فازی عصبی ۳- الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ۴- مدل‌های هیدرولوژیکی از قبیل SWAT و HEC-RAS هستند. تحقیقات خوبی در زمینه مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که از جمله تازه‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: [روستایی و همکاران \(۱۳۹۶\)](#)، در تحقیقی به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که نواحی با پوشش گیاهی کم همراه با شیب بالا و کاربری اراضی کشاورزی در دامنه‌های حوضه آبریز، جزو مناطق با سیل‌خیزی خیلی زیاد و زیاد را در بر می‌گیرد. [میرموسوی و اسمعیلی \(۱۴۰۰\)](#)، در تحقیقی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور نواحی سیل‌خیز شهرستان داراب را پهنه‌بندی کردند. در این تحقیق از ۱۲ پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی شامل شیب، جهت شیب، بارش، ارتفاع رواناب، وضعیت شماره منحنی (CN)، جهت جریان تجمعی، وضعیت گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، تراکم شبکه زهکشی، وضعیت ارتفاعی حوضه و فاصله از آبراهه‌ها استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بر اساس نقشه‌های نهایی خطر وقوع سیل با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ ساله، به ترتیب ۹/۲۴، ۱۰/۶۴، ۱۱/۹۰ و ۸/۶۵ درصد از مساحت شهرستان دارای خطر سیل‌خیزی خیلی زیاد می‌باشد. [پانت^۱ و همکاران \(۲۰۲۰\)](#)، با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل و فرسایش خاک در حوضه آبریز آلاک ناندو واقع در کشور هندوستان را تهیه نمودند. در این تحقیق حوضه آبریز به ۱۰ زیرحوضه تقسیم شده و تعداد ۵۰ پارامتر مورفومتریک و ۶ پارامتر مورفوتکتونیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل آماری پارامترهای مورفومتریک و مورفوتکتونیک نشان داد که منطقه از نظر تکتونیک فعال بوده و بسیار مستعد وقوع سیل و متعاقب آن فرسایش خاک می‌باشد. [توفیق‌لو اسلام و همکاران \(۲۰۲۱\)](#)، در پژوهشی با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین اقدام به مدل‌سازی حساسیت سیل در زیرحوضه تیستا واقع در شمال بنگلادش نمودند. در این تحقیق از دو مدل ترکیبی جدید Dagging و Random Subspace همراه با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبانی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل Dagging نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شده است با استفاده از مدل ترکیبی نوین FURIA-GA-LogitBoost نقشه حساسیت خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز الندچای واقع در استان آذربایجان غربی تهیه گردد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبریز الندچای می‌باشد که از نظر موقعیت سیاسی در استان آذربایجان غربی و در شمال غرب ایران واقع شده است. این حوضه با مساحت ۱۱۴۷/۳۰ کیلومتر مربع از نظر موقعیت جغرافیایی بین

مختصات $38^{\circ} 30' 14''$ تا $38^{\circ} 48' 22''$ عرض شمالی و $44^{\circ} 15' 13''$ تا $44^{\circ} 01' 02''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). تغییرات ارتفاعی حوضه از ۱۰۹۳ متر در بستر رودخانه الندچای در خروجی حوضه تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا در کوه اورین می‌باشد. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز رود ارس محسوب می‌شود که آب‌های سطحی آن پس از پیوستن به رودخانه بزرگ قطورچای به رود ارس می‌ریزد (رضائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). حوضه آبریز الندچای ساختاری کوهستانی دارد، به‌طوری‌که بیش از ۶۰ درصد مساحت آن را نواحی کوهستانی و مرتفع تشکیل می‌دهد. کوه اورین با ارتفاعی نزدیک به ۳۶۳۸ متر مهم‌ترین عارضه توپوگرافی در سیمای ناهمواری‌های داخل حوضه آبریز الندچای می‌باشد. آب‌وهوای این حوضه بیشتر تحت تأثیر توده‌های هوای غربی قرار دارد که منشأ رطوبت و بارش در فصول پاییز، زمستان و بهار است.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

۲- مواد و روش‌ها

به‌منظور مدل‌سازی و تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای گام‌های زیر طی شده است که در ادامه به توضیح هر یک از مراحل پرداخته می‌شود:

گام اول: تعیین پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

در گام نخست ابتدا با بررسی پژوهش های انجام گرفته در رابطه با موضوع تحقیق و همچنین داده های موجود در منطقه مورد مطالعه، ۱۳ پارامتر مؤثر در حساسیت خطر وقوع سیل انتخاب شد. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق شامل لیتولوژی، گروه های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب می باشند.

گام دوم: برآورد همبستگی بین متغیرهای سیل

شاخص های عامل تورم واریانس (VIF^1) و تولرانس (TOL^2) به منظور برآورد همبستگی بین متغیرهای سیل استفاده گردید. مقادیر VIF بزرگ تر از ۱۰ و مقادیر TOL کمتر از ۰/۱ نشان دهنده هم خطی شدید است (منارد^۳، ۲۰۰۱؛ هایر^۴ و همکاران، ۲۰۰۹).

$$TOL = 1 - R_V^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$VIF = 1/TOL \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن R_V^2 مقدار ضریب تعیین چندگانه بین متغیرهاست. مقدار ضریب تولرانس بین ۰ و ۱ متغیر است. هرچه مقدار آن بزرگ تر باشد (نزدیک به ۱)، میزان همپوشی با متغیرهای دیگر و در نتیجه هم خطی کمتر است. عامل تورم واریانس با تولرانس نسبت معکوس دارد.

گام سوم: ایجاد مجموعه داده های آموزشی و اعتبارسنجی

در این مرحله به منظور ایجاد مجموعه داده های آموزشی و اعتبارسنجی از روش نمونه برداری استفاده گردید. بدین ترتیب با استفاده از دستگاه GPS و بازدیدهای میدانی و بهره گیری از امکانات سامانه Google Earth و همچنین اطلاعات دبی و بارش شرکت مدیریت منابع آب ایران مناطق درگیر با خطر سیل گرفتگی (۱۹۰ نقطه) و مناطق بدون سیل (۱۹۰ نقطه) تهیه شده و وارد پایگاه داده در محیط نرم افزار ArcGIS شدند. سپس از این مجموعه داده ها، ۷۰ درصد برای آموزش (۱۳۳ نقطه برای سیل گرفتگی و ۱۳۳ مورد برای نقاط بدون سیل) و ۳۰ درصد (۵۷ نقطه برای سیل گرفتگی و ۵۷ مورد برای نقاط بدون سیل) جهت اعتبارسنجی نتایج مدل ها مورد استفاده قرار گرفت.

1 variance inflation factor

2 tolerance

3 Menard

4 Hair

گام چهارم: مدل FURIA

FURIA یک روش طبقه‌بندی فازی مبتنی بر قواعد است. این الگوریتم بر مبنای RIPPER که یک الگوریتم یادگیرنده قواعد یقینی است (کوهن^۱، ۱۹۹۵)، توسعه یافته است. این روش توسط هان و هالرمیر^۲ در سال ۲۰۰۹ معرفی شده است. FURIA قوانین فازی را به جای قوانین مرسوم و مجموعه قوانین بی‌نظم را به جای فهرست قوانین یاد می‌دهد. این مدل به عنوان یک مدل طبقه‌بندی بسیار دقیق به نظر می‌رسد، که امکان تخمین مرزهای تصمیم‌گیری را به روشی انعطاف‌پذیرتر ایجاد می‌کند (هان و هالرمیر، ۲۰۰۹). الگوریتم RIPPER شامل دو مرحله رشد و هرس کردن است. هرس کردن تا زمانی که میزان خطا بیشتر از ۵۰ درصد باشد ادامه می‌یابد (تراوینسکی^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). به عبارت ساده‌تر قوانینی که تأثیری بر روی دقت مدل ندارد ضعیف شناخته شده و حذف می‌شوند. FURIA بازه‌های یقینی به دست آمده از الگوریتم RIPPER را به قوانین فازی که از توابع عضویت دوزنقه‌ای استفاده می‌کنند، تبدیل می‌کند (هان و هالرمیر، ۲۰۰۹). در نتیجه قوانین فازی بر اساس بزرگ‌ترین مقدار V برای کلاس Y_i و درجه اطمینان CD_i ساخته می‌شوند:

$$V = \sum_{i=1}^m \mu_{\text{rule}}(i)(V) \times CD_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام پنجم: الگوریتم ژنتیک

برای روش جستجوی استفاده شده توسط ارزیاب کننده FURIA، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک یک روش فرا اکتشافی است که توسط هالند در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است. GA یک فرآیند مشابه برای انتخاب طبیعی به کار می‌گیرد و عمدتاً به عنوان یک روش جستجو برای یافتن راه‌حل‌های بهینه از طریق نظرسنجی از راه‌حل‌های احتمالی استفاده می‌شود (کازوگلو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). انتخاب، تقاطع و جهش از عملگرهای پایه‌ای الگوریتم ژنتیک برای تکثیر هستند (میشل^۵، ۱۹۹۶). از این فرآیند تکثیر بهترین اعضا، که با عملگر هزینه ارزیابی می‌شوند، به نسل بعدی منتقل می‌شوند. این فرآیند زمانی به پایان می‌رسد که آستانه‌های خاصی برای ارائه بهترین راه‌حل به دست می‌آیند (هپت و هپت^۶، ۲۰۰۴).

1 Cohen

2 Hühn and Hüllermeier

3 Trawinski

4 Kavzoglu

5 Mitchell

6 Haupt and Haupt

گام ششم: الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری (LVQ¹)

بعد از انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده، جهت بررسی رابطه بین خطر سیل با متغیرهای انتخاب شده از روش الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری (LVQ) استفاده گردید. LVQ یکی از انواع شبکه‌های عصبی با الگوی یادگیری نظارت‌شده است که در سال ۱۹۹۶ برای اولین بار توسط کوهن ارائه شده است. این روش یک رویکرد یادگیری الگو را به کار می‌برد که در واقع فاصله اقلیدسی را به عنوان یک قانون اساسی رقابت در نظر می‌گیرد.

گام هفتم: روش ترکیبی LogitBoost

این روش را فریدمان و همکاران در سال ۲۰۰۰ معرفی کردند (فریدمان^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). این الگوریتم، طبقه‌بندی را با استفاده از یک برنامه رگرسیون به عنوان یادگیرنده پایه انجام می‌دهد و می‌تواند مشکلات چند کلاسه را مدیریت کند (weka.classifiers.meta.LogitBoost). در تحقیق حاضر درخت تصمیم‌گیری به عنوان طبقه‌بندی کننده پایه استفاده شده است (ایبا و لانگلی^۳، ۱۹۹۲). در این پژوهش به منظور اجرای مدل ترکیبی از نرم‌افزار داده‌کاوی WEKA استفاده شده است. نرم‌افزار WEKA به عنوان یک نرم‌افزار یادگیری ماشین برای نخستین بار در کشور نیوزیلند و در دانشگاه Waikato معرفی شده است. نام این نرم‌افزار از حروف اول عبارت Waikato Environment for Knowledge Analysis گرفته شده است. این نرم‌افزار مجموعه‌ای از به‌روزترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین را جهت انجام داده‌کاوی ارائه می‌دهد. WEKA شامل ابزارهایی برای آماده‌سازی داده‌ها، طبقه‌بندی، رگرسیون، خوشه‌بندی، ایجاد قوانین انجمنی و تصویرسازی (کار با نمودارهای مختلف) است.

گام هشتم: ارزیابی دقت نقشه حساسیت خطر وقوع سیل

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی دقت نقشه حساسیت خطر وقوع سیل از منحنی مشخصه عملیاتی دریافت‌کننده یا منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC^۴) و سطح زیر منحنی (AUC^۵) استفاده شده است. در منحنی ROC روی محور X مقدار تشخیص‌پذیری یا ویژگی Specificity (نسبت پیکسل‌های بدون سیل که به درستی به عنوان بدون سیل طبقه‌بندی شده‌اند) و روی محور Y مقدار حساسیت Sensitivity (نسبت پیکسل‌های سیل که به درستی به عنوان سیل طبقه‌بندی شده‌اند) مشخص می‌باشد. مقادیر Specificity و Sensitivity با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

1 Learning Vector Quantization

2 Friedman

3 Iba and Langley

4 Receiver Operating Characteristics

5 Area under the ROC curve

$$\text{specificity} = \frac{TN}{FP + TN} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن TN^1 تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ FP^2 تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند؛ TP^3 تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده‌اند و FN^4 تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند. جهت نشان دادن عملکرد هر یک از مدل‌های ترکیبی از شاخص آماری صحت (Accuracy) نیز استفاده شده است. این شاخص نسبت نقاط سیل گیر و بدون سیل که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad \text{رابطه (۶)}$$

منحنی ROC در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی، پزشکی و فیزیک به کار برده شده، اما به طور عمده برای ارزیابی نقشه‌های پیش‌بینی مخاطرات طبیعی استفاده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرادهان و همکاران، ۲۰۱۴؛ روی و ساها؛ ۲۰۱۹). سطح زیر منحنی ROC نشان‌دهنده توانایی یک مدل برای پیش‌بینی پیکسل‌های سیل و بدون سیل می‌باشد. مقدار AUC صفر بیانگر این است که مدل غیرواقعی می‌باشد و هر چقدر مقدار AUC بیشتر باشد عملکرد مدل در پیش‌بینی بهتر خواهد بود (تین بوی و همکاران، ۲۰۱۶).

۳- بحث و نتایج

به‌منظور تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز ال‌دچای ۱۳ پارامتر هیدروژئومورفیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

لیتولوژی: خاک یا سنگ قابل نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه آن را به داخل آبراهه اصلی به تأخیر می‌اندازد؛ از این رو رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیرقابل نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (گرید، ۲۰۰۶). نقشه لیتولوژی منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (برگه خوی و دیزج) و ۱:۲۵۰۰۰۰ برگه خوی برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور و در

1 True Negative

2 False Positive

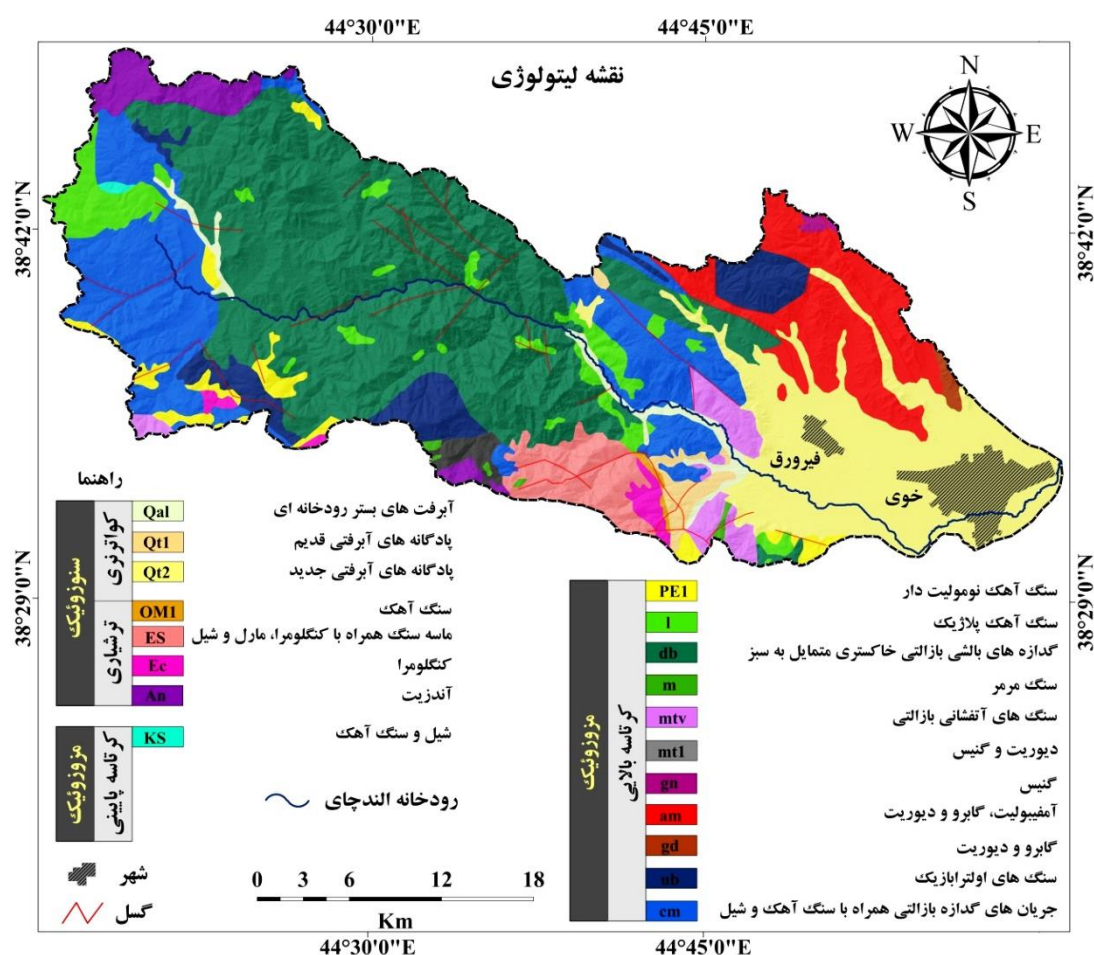
3 True Positive

4 False Negative

5 Roy and Saha

6 Garde

محیط نرم افزار ArcGIS تهیه گردید. بررسی نقشه لیتولوژی نشان می دهد که مناطق کم ارتفاع در قسمت شرقی منطقه را بیشتر سازندهای جوان مثل پادگانه های آبرفتی مربوط به دوره کواترنر و کنگلومرا تشکیل می دهد. عمده فعالیت های انسانی از قبیل شهرسازی و زمین های کشاورزی در این بخش از منطقه متمرکز شده اند. در مقابل ارتفاعات منطقه که بیشتر قسمت غرب و شمال غرب منطقه را دربر گرفته اند از سنگ های آتشفشانی بازالتی و در بخش هایی همراه با سنگ آهک و شیل تشکیل شده اند. به دلیل شیب تقریباً زیاد این بخش ها و نفوذپذیری پایین سازندها، آب های حاصل از بارندگی به صورت رواناب های متعدد شکل گرفته و باعث افزایش ناگهانی دبی رودخانه اندچای می شوند و در نتیجه در پایین دست حوضه، سیل گیری زمین های کشاورزی و مناطق مسکونی را به همراه دارد.



شکل ۲- نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک: این پارامتر کیفیت خاک را بر اساس حداقل میزان نفوذ آب نشان می‌دهند (دپارتمان کشاورزی ایالات متحده، ۱۹۸۶). گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به چهار گروه A، B، C و D طبقه‌بندی می‌شوند. خاک‌های گروه A دارای حداقل پتانسیل جهت تولید رواناب هستند؛ درحالی‌که خاک‌های گروه D دارای حداکثر پتانسیل برای ایجاد رواناب می‌باشند (گیتلمان و همکاران^۱، ۲۰۱۷). جهت تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه آبریز الندچای از نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و همچنین داده‌های جهانی گروه‌های هیدرولوژیک خاک برگرفته از وبسایت ناسا استفاده گردید. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه در سه گروه B، C و D تهیه شده است. گروه B زمین‌هایی را شامل می‌شود که از پادگانه‌ها و آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده‌اند که به جهت نفوذپذیری نسبتاً خوب از پتانسیل کمی جهت تولید رواناب برخوردارند. گروه C که بخش عمده‌ای از منطقه را شامل می‌شود اکثراً زمین‌های مرتفع و کوهستانی را در بر گرفته است. این مناطق به دلیل داشتن سازندهای نفوذناپذیر و همچنین رخنمون‌های سنگی از پتانسیل نسبتاً بالایی جهت تولید رواناب نسبت به گروه B برخوردار می‌باشند. گروه D که پتانسیل بالایی را جهت تولید رواناب نشان می‌دهد، مناطق شهری و روستایی را شامل می‌شود. این مناطق به دلیل داشتن پوشش غیرقابل نفوذ از قبیل آسفالت و بتن شرایط مناسبی را جهت تولید رواناب فراهم می‌آورند.

شاخص پوشش گیاهی: NDVI شاخصی است که خصوصیات پوشش گیاهی یک منطقه را توصیف می‌کند. خصوصیتی که بر رواناب سطحی و قابلیت نفوذپذیری یک منطقه تأثیر می‌گذارد (سویک و توپال^۲، ۲۰۰۳؛ تهرانی، ۲۰۱۳). مقدار آب و بار رسوب، پیک‌های سیلاب و زمان وقوع آن‌ها، و سرعت انتقال پیک جریان به‌شدت توسط ماهیت و گسترش پوشش گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (گرید، ۲۰۰۶). به‌منظور تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده استفاده شده است.

کاربری اراضی: فراوانی وقوع سیل در یک منطقه می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر الگوهای کاربری زمین و سیر تحول زمانی آن قرار گیرد (بنیتو و همکاران^۳، ۲۰۱۰؛ گارسیا رویز و همکاران^۴، ۲۰۰۸). بیکرز و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیق خود نشان دادند که تغییرات در کاربری اراضی می‌تواند احتمال وقوع سیل در یک منطقه را سرعت بخشد. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به خرداد سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. به همین منظور ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم همچون تصحیح اتمسفری و رادیومتریکی روی تصویر اعمال شد. در مرحله بعد با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ۶ کلاس اصلی تهیه شد.

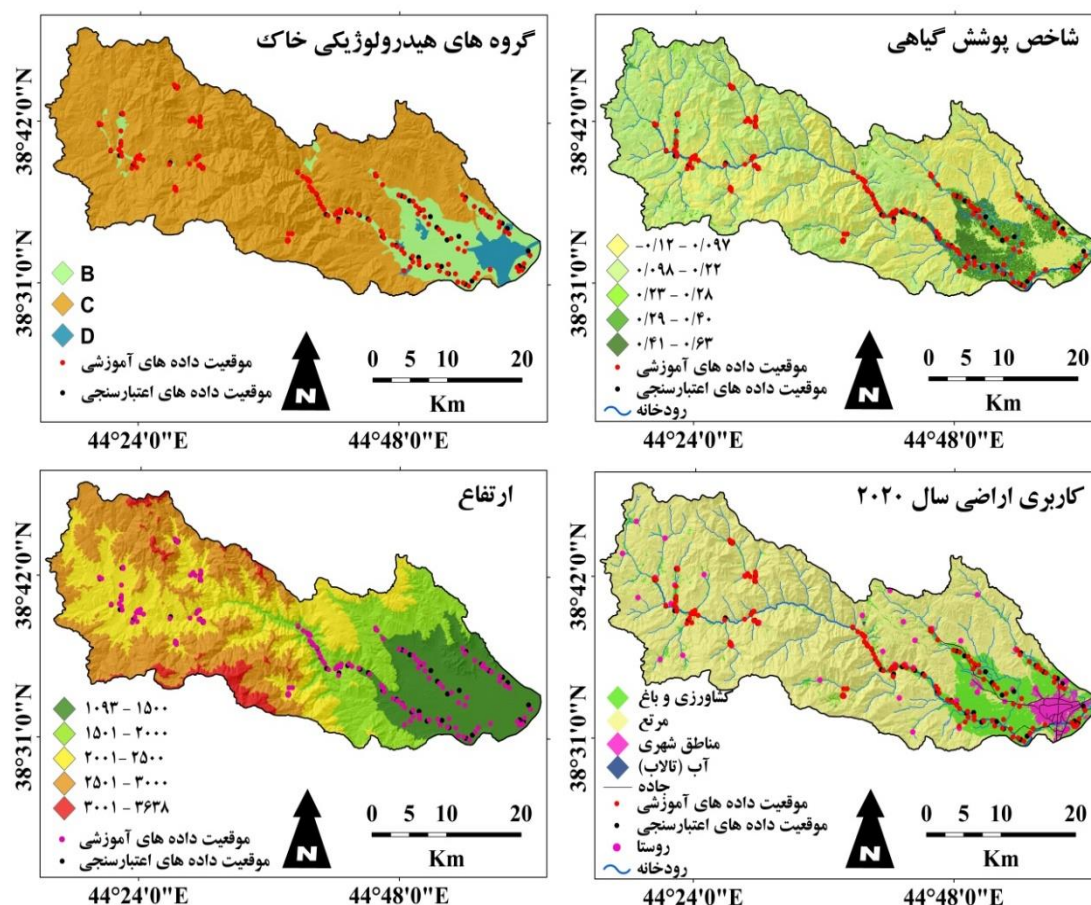
1 Gittleman et al

2 Cevik and Topal

3 Benito et al

4 García-Ruiz et al

ارتفاع: ارتفاع یکی از مهم ترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی سیل می باشد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ بوی و همکاران، ۲۰۱۶). به طور کلی رابطه معکوسی بین خطر وقوع سیل و ارتفاع وجود دارد. فراوانی وقوع سیل با افزایش ارتفاع کاهش می یابد، در نتیجه ارتفاعات پست تر از حساسیت بیشتری برای وقوع سیل برخوردار هستند (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶). نقشه طبقات ارتفاعی منطقه با استفاده مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در ۵ کلاس تهیه شده است. مقادیر ارتفاعی منطقه بین ۱۰۹۳ تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا متغیر است. با توجه به اینکه بیش از ۶۰ درصد از کل مساحت منطقه را نواحی کوهستانی و ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر تشکیل می دهد، سرعت شکل گیری رواناب در این بخش ها بالا بوده و در نتیجه احتمال خطر سیل گیری مناطق پایین دست حوضه بعد از هر بارندگی افزایش می یابد.



شکل ۳- نقشه های گروه های هیدرولوژیکی خاک، شاخص پوشش گیاهی، ارتفاع و کاربری اراضی

شیب: بین شیب یک منطقه و سرعت جریان سطحی یک همبستگی قوی مثبت می‌توان یافت (فرناندز و لوتز، ۲۰۱۰؛ داس، ۲۰۱۸). علاوه بر این، شیب فرآیند نفوذ را کنترل می‌کند. رواناب سطحی با افزایش شیب به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نفوذ کاهش می‌یابد (داس و پردشی، ۲۰۱۸).

جهت شیب: یکی دیگر از پارامترهای اصلی مورفومتریک که با رابطه معکوس در ارتباط با وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود، جهت شیب است. دلیل آن این است که جهت شیب می‌تواند شرایط هیدرولوژیکی یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهد (ارکان اوغلو و گوکچوغللو، ۲۰۰۲؛ کاواک و کوندو، ۲۰۰۸). جهت شیب به‌طور غیرمستقیم در وقوع سیل تأثیر دارد. به‌عنوان مثال مناطق شیب‌دار یک منطقه که در قسمت سایه قرار دارند، رطوبت خاک نسبتاً بالایی داشته و در نتیجه با رواناب زیاد همراه هستند (توفیق لو اسلام و همکاران، ۲۰۲۱). نقشه جهت شیب منطقه در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از لایه DEM تهیه شده است.

فاصله از آبراهه: جریان‌های رودخانه‌ای مسیرهای اصلی برای دبی سیلاب هستند و مناطقی که نزدیک رودخانه‌ها قرار دارند مستعد سیل‌گیری هستند (آپرمان و همکاران، ۲۰۰۹). فاصله از رودخانه یک عامل مهم ژئومورفیک است که جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل باید در نظر گرفته شود. با افزایش فاصله، شیب و ارتفاع بیشتر می‌شود. در نتیجه مناطق دور از کانال رودخانه آسیب‌پذیری کمتری از وقوع سیل دارند (داس، ۲۰۱۸).

تراکم آبراهه: زمانی که در یک حوضه آبریز بارندگی اتفاق می‌افتد، تراکم زهکشی بر روی جریان‌های اوج تأثیر می‌گذارد (چوبین و همکاران، ۲۰۱۹). کومار و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود نشان دادند که در مناطق با تراکم زهکشی بالا در مقایسه با مناطقی که از تراکم زهکشی پایینی برخوردار هستند، رواناب سطحی بالاتری تشکیل می‌شود.

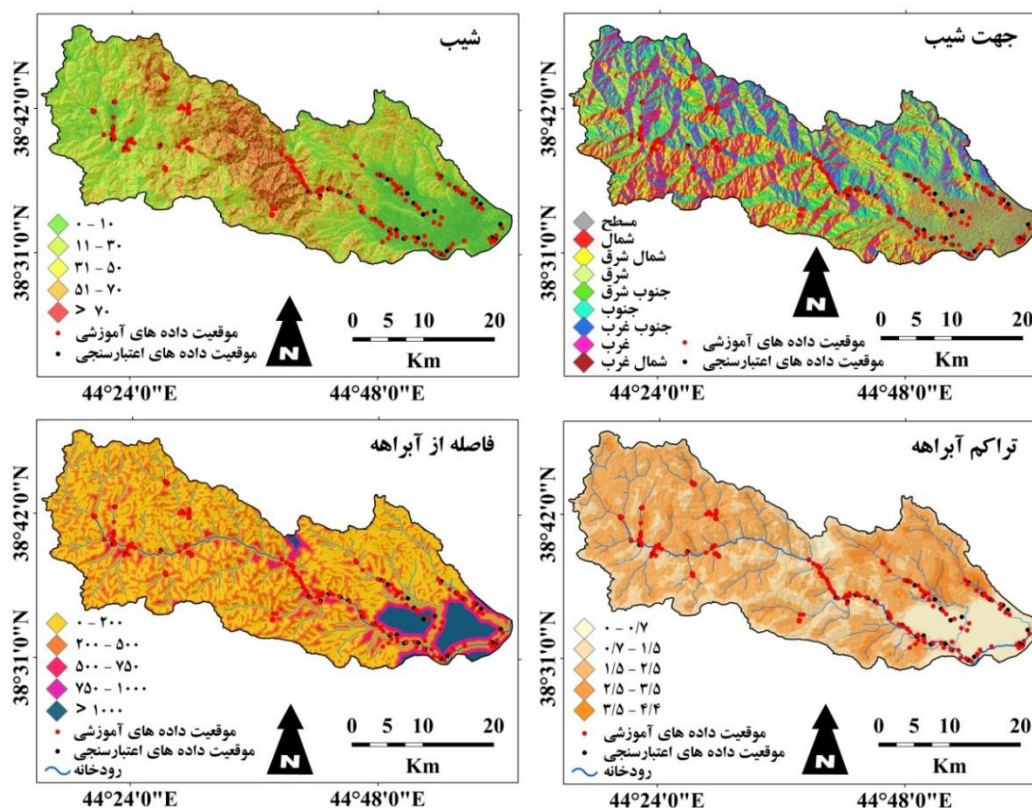
1 Fernandez and Lutz

2 Das and Pardeshi

3 Ercanoglu and Gokceoglu

4 Kwak and Kondoh

5 Opperman et al



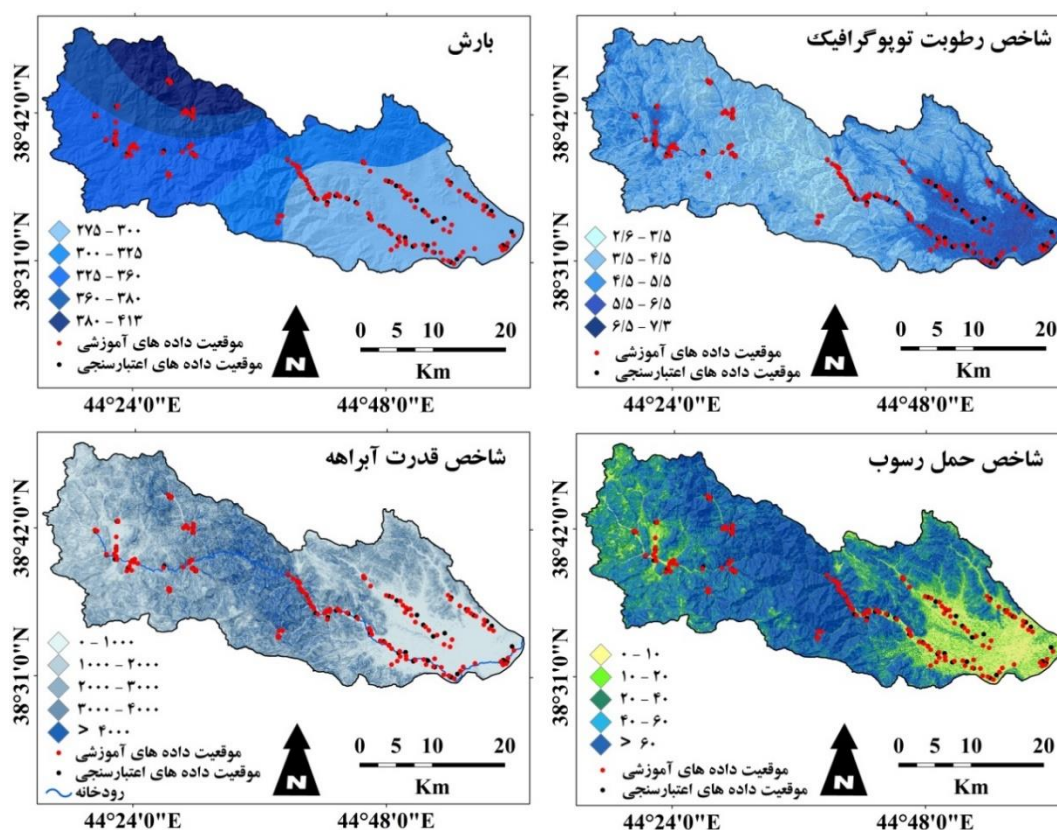
شکل ۴- نقشه های شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه

بارش: بارندگی رابطه معنی داری با دبی رودخانه داشته و به طور مستقیم وقوع سیل را کنترل می کند. بارش های غیرمنتظره در مناطق نیمه خشک می توانند وضعیت سیلابی ایجاد کنند (داس، ۲۰۱۸). بنابراین می توان گفت که یک بارندگی شدید در بازه زمانی کوتاه می تواند باعث وقوع سیل گردد. به منظور تهیه نقشه بارش منطقه از داده های ایستگاه های باران سنجی برای سال های دارای اطلاعات بارش و ایستگاه سینوپتیک خوی برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۹) استفاده شده است.

شاخص رطوبت توپوگرافیک: این پارامتر در سال ۱۹۷۹ توسط بیون و کرکی ا ارائه شده است و نشان دهنده تغییرات فضایی رطوبت در حوضه آبریز است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶). به عبارت دیگر، شاخص رطوبت توپوگرافیک مقدار انباشت آب در هر پیکسل از حوضه آبریز را نشان می دهد (گوکچوغل و همکاران، ۲۰۰۵). به طور کلی مقادیر بالای شاخص رطوبت توپوگرافیک و وقوع سیل همبستگی قوی با یکدیگر دارند (شیت و همکاران، ۲۰۲۰). برعکس، مناطقی که مقادیر کمتری از این شاخص را نشان می دهند از آسیب پذیری کمتری در برابر سیل برخوردار هستند.

شاخص قدرت آبراهه: طبق نظر نایتون^۱ (۱۹۹۹)، شاخص قدرت آبراهه برای بسیاری از فرایندها در محیط‌های رودخانه‌ای از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. این شاخص را می‌توان به‌عنوان یک عملکرد قابل توجه در فرسایش کانال رودخانه و حمل رسوب توصیف کرد (برکر و همکاران^۲، ۲۰۰۹؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

شاخص حمل رسوب: این شاخص نشان‌دهنده قدرت جریان آب از نظر فرسایش است که بر روی شرایط هیدرولوژیکی اثر می‌گذارد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۵). هانگ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود به این نتیجه رسیده‌اند مناطقی که مقادیر STI کمتری دارند اکثراً در زمین‌های مسطح قرار دارند و بنابراین پتانسیل بالایی برای وقوع سیل دارند.



شکل ۵- نقشه‌های بارش، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شاخص قدرت آبراهه و شاخص حمل رسوب

1 Knighton

2 Barker et al

تحلیل عوامل هم خطی سیلاب

در این بخش از تحقیق تجزیه و تحلیل هم خطی چندگانه به منظور بررسی همبستگی داخلی متغیرها انجام شده است که نتایج آن نشان می دهد تقریباً بین هیچ یک از پارامترهای مرتبط با سیل هم خطی چندگانه جدی وجود ندارد (جدول ۱). پارامتر گروه های هیدرولوژیکی خاک کم ترین مقدار تolerانس را داشته است (۰/۱۳۹)، که بیشتر از مقدار بحرانی نظری (۰/۱۰۰) می باشد. پارامترهای شاخص حمل رسوب و شیب در رتبه بعدی قرار دارند. همچنین برای هر یک از پارامترها مقدار عامل تورم واریانس نیز محاسبه گردید که نتایج آن نشان داد پارامتر گروه های هیدرولوژیکی خاک با وجود داشتن بالاترین مقدار یعنی ۷/۱۹، از حد آستانه نظری برای هم خطی چندگانه خیلی فاصله دارد (بیشتر از ۱۰). سایر پارامترها مقادیر پایین تری را نسبت به گروه های هیدرولوژیکی خاک نشان می دهند. بنابراین همه پارامترها در ارتباط با حساسیت خطر وقوع سیل در نظر گرفته شده و در گام بعدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

جدول ۱- نتایج تحلیل هم خطی چندگانه

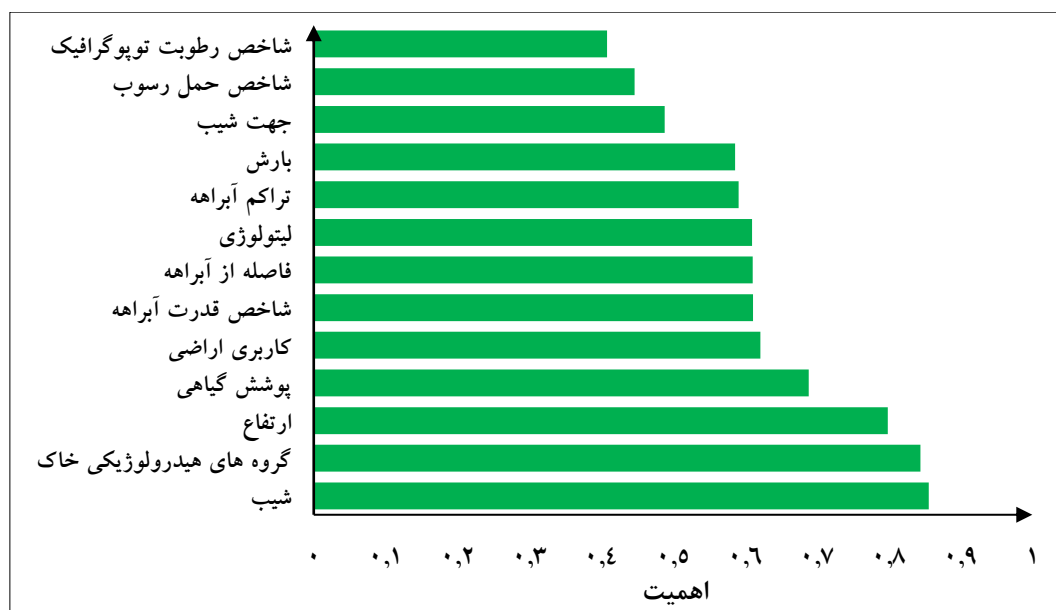
Variance IF (VIF)	Tolerance (TOL)	پارامترهای مرتبط با سیل
۱/۴۲	۰/۷۰۱	لیتولوژی
۷/۱۹	۰/۱۳۹	گروه های هیدرولوژیکی خاک
۴/۶۹	۰/۲۱۳	پوشش گیاهی
۴/۳۲	۰/۲۳۱	کاربری اراضی
۳/۰۱	۰/۳۳۲	ارتفاع
۴/۹۰	۰/۲۰۴	شیب
۱/۰۹	۰/۹۱۱	جهت شیب
۳/۰۱	۰/۳۳۲	فاصله از آبراهه
۱/۱۲	۰/۸۹۰	تراکم آبراهه
۲/۷۶	۰/۳۶۲	بارش
۱/۰۸	۰/۹۱۹	شاخص رطوبت توپوگرافیک
۳/۲۳	۰/۳۰۹	شاخص قدرت آبراهه
۵/۲۹	۰/۱۸۹	شاخص حمل رسوب

اجرای الگوریتم FURIA-GA

جهت اجرای الگوریتم FURIA-GA، خصوصیات زیر که پس از انجام آزمون و خطای گسترده به دست آمده‌اند، تعیین شدند. برای GA، احتمال هم‌گذری^۱ بر روی ۰/۲، احتمال جهش^۲ بر روی ۰/۰۳۵، اندازه جمعیت^۳ ۲۵۰ و تعداد نسل‌ها^۴ بر روی ۵۰ تنظیم شد. برای ارزیابی کننده FURIA یک تکنیک اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری^۵ با product T-Norm به‌عنوان عملگر اجتماع فازی به‌منظور ترکیب قوانین پیشین آموزش داده شد. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی FURIA-GA با مقدار ۸۷/۴۵٪ دقت خیلی خوبی را داشته است.

تعیین اهمیت متغیرها

از روش LVQ جهت تعیین اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل که در مرحله قبل با استفاده از الگوریتم FURIA-GA انتخاب شده‌اند، در نرم‌افزار WEKA استفاده گردید. مقادیر LVQ بین ۰/۴۰۸۰ تا ۰/۸۵۶۰ متغیر بوده است که بالاترین مقدار مربوط به شیب و کمترین مقدار نیز مربوط به شاخص رطوبت توپوگرافیک می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- اهمیت پارامترهای مرتبط با سیل بر اساس روش LVQ

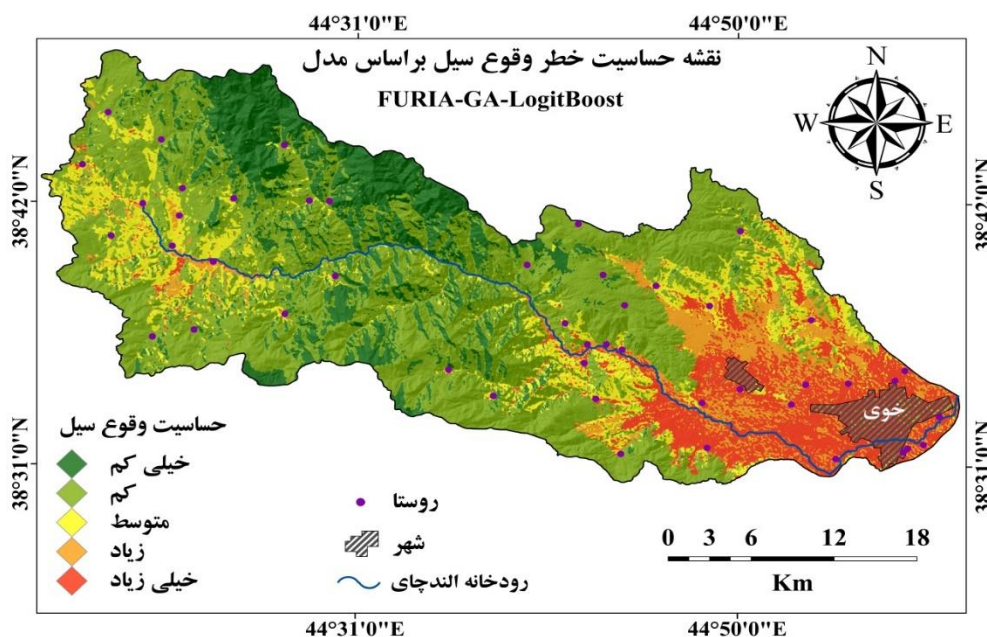
- 1 crossover probability
- 2 mutation probability
- 3 population size
- 4 number of generations
- 5 fold cross-validation technique

اجرای روش ترکیبی LogitBoost

به منظور اجرای الگوریتم LogitBoost در نرم افزار WEKA تنظیمات زیر استفاده شد: اندازه بسته^۱، ۱۰۰؛ تعداد تکرار^۲، ۱۲؛ تعداد بذر یا دانه^۳، ۱. همچنین decision stump tree به عنوان طبقه بندی کننده پایه^۴ انتخاب گردید. با توجه به اینکه فرمت اصلی داده های WEKA به صورت ARFF می باشد، به منظور انتقال لایه های اطلاعاتی به محیط نرم افزار WEKA و اجرای هر یک از مراحل فوق، ابتدا این لایه ها به فرمت ASCII تبدیل شده و سپس با استفاده از نرم افزار SPSS در محیط WEKA بارگذاری شدند.

تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل

در این بخش از تحقیق به منظور تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل، نتایج حاصل از اجرای مراحل ذکر شده در روش تحقیق در نرم افزار WEKA، جهت تبدیل به نقشه مصور به نرم افزار ArcGIS منتقل شدند. نقشه حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الوندچای با استفاده از روش Natural Break در ۵ کلاس تحت عنوان حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید (شکل ۷). نقشه نهایی به صورت پیکسل پایه بوده و حساسیت هر پیکسل را نسبت به خطر وقوع سیل نشان می دهد.



شکل ۷- نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الوندچای

- 1 Batchsize
- 2 number of iterations
- 3 seed
- 4 base classifier

بررسی نقشه نهایی نشان می‌دهد مناطقی که از نظر خطر وقوع سیل حساسیت بالایی را نشان می‌دهند عمدتاً قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی حوضه را شامل می‌شوند. این قسمت‌ها عمدتاً در مناطق پایین‌دست حوضه قرار گرفته‌اند که هم ارتفاع خیلی کم و هم شیب کمی نسبت به ناهمواری‌های اطراف خود دارند. بنابراین رواناب‌هایی که پس از هر بارندگی یا با ذوب برف‌ها شکل می‌گیرند در این مناطق متمرکز می‌شوند که باعث سیل‌گرفتگی مناطق شهری و روستایی و زمین‌های کشاورزی و باغات می‌شود. مهم‌ترین مرکز جمعیتی حوضه یعنی شهر خوی نیز در این قسمت جای گرفته است که آسیب‌پذیری بالای تأسیسات شهری را هنگام وقوع سیلاب‌های شدید و ناگهانی نشان می‌دهد. به‌طورکلی روستاهایی که در مسیر رودخانه ال‌ندچای شکل گرفته‌اند از آسیب‌پذیری بالایی هنگام وقوع سیل برخوردار هستند. پهنه‌هایی که در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر حساسیت خطر وقوع سیل قرار دارند بیش از ۲۰ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می‌شوند. بیشترین مساحت نیز مربوط به کلاس کم می‌باشد که با مقدار ۵۷۳/۱۲ کیلومتر مربع نزدیک به ۵۰ درصد از مساحت کل منطقه را پوشش داده است. مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر وقوع سیل در **جدول ۲** ارائه شده است.

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر وقوع سیل

کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خیلی کم	۲۰۲/۷۸	۱۷/۶۸
کم	۵۷۳/۱۲	۴۹/۹۵
متوسط	۱۳۸/۸۶	۱۲/۱
زیاد	۸۷/۷۰	۷/۷۳
خیلی زیاد	۱۴۳/۸۴	۱۲/۵۳

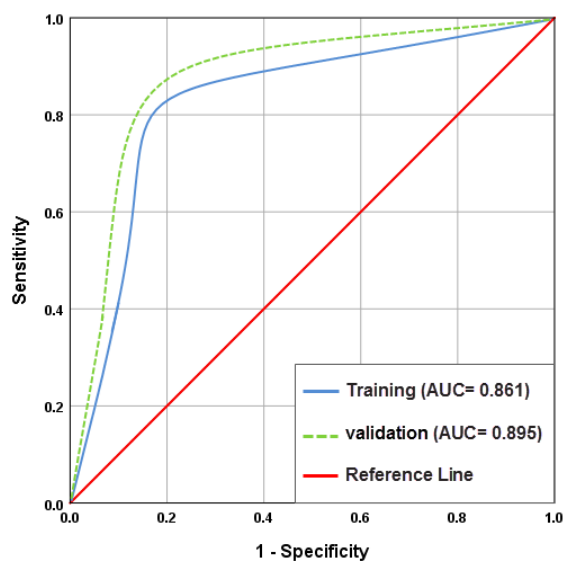
ارزیابی عملکرد و دقت مدل

هدف نهایی در تهیه نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیل، پیش‌بینی مناطقی هست که احتمال دارد در آینده با وقوع بارش‌های شدید تحت تأثیر سیل قرار بگیرند. بنابراین بدون توجه به میزان دقت نقشه‌های نهایی تهیه شده با مدل‌ها و الگوریتم‌های متخلف، استناد به این نقشه‌ها از اعتبار علمی لازم برخوردار نخواهد بود. لذا در این بخش از تحقیق به‌منظور ارزیابی عملکرد و دقت مدل مورد استفاده در تهیه نقشه نهایی حساسیت خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز ال‌ندچای از ۳ شاخص آماری Accuracy, Specificity, Sensitivity، منحنی ROC و همچنین سطح زیر منحنی در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. نتایج بررسی ۳ شاخص آماری نشان می‌دهد که مدل FURIA-GA-LogitBoost با ضریب ۸۶/۰۹ از دقت خوبی بر اساس داده‌های آموزشی برخوردار می‌باشد (**جدول ۳**). منحنی

ROC نیز برای دو گروه داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی ترسیم شد. نتایج نشان داد که در مورد داده‌های آموزشی، مدل FURIA-GA-LogitBoost با سطح زیر منحنی برابر با ۰/۸۶۱ از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

جدول ۳- نتایج عملکرد مدل ترکیبی بر اساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

شاخص آماری	داده‌های آموزشی	داده‌های اعتبارسنجی
True positive	۱۱۵	۵۲
True negative	۱۱۴	۵۰
False positive	۱۸	۵
False negative	۱۹	۷
Sensitivity (%)	۸۵/۸۲	۸۸/۱۳
Specificity (%)	۸۶/۳۶	۹۰/۹۰
Accuracy (%)	۸۶/۰۹	۸۹/۴۷



شکل ۸- منحنی ROC بر اساس داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی

۴- جمع‌بندی

در تحقیق حاضر تلاش شد با استفاده از یک مدل ترکیبی نوین به مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الوندچای پرداخته شود؛ بنابراین ابتدا ۱۳ پارامتر مؤثر جهت تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل انتخاب گردید. بررسی اهمیت پارامترها با استفاده از الگوریتم یادگیری کوانتیزاسیون برداری نشان داد که پارامتر شیب با ضریب ۰/۸۵۶۰ بیشترین اهمیت را نسبت به سایر پارامترها در وقوع سیل در منطقه دارد. نقشه نهایی حساسیت خطر

وقوع سیل در سطح حوضه آبریز الوندچای در ۵ کلاس از خطر خیلی کم تا خیلی زیاد تهیه گردید که بررسی مساحت هر یک از کلاس‌ها نشان داد بیش از ۲۰ درصد از کل مساحت منطقه در پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. این پهنه‌ها که عمدتاً در پایین‌دست حوضه قرار دارند، محل شکل‌گیری اجتماعات انسانی و زمین‌های کشاورزی هستند که با طغیانی شدن رودخانه الوندچای خسارات زیادی به آن‌ها وارد می‌شود. در گام نهایی تحقیق میزان دقت و عملکرد مدل مورد استفاده در تحقیق با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن بیانگر عملکرد خوب مدل FURIA-GA-LogitBoost در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج محققینی مثل **تین بوی و همکاران (۲۰۱۹)** در استان لائو سای واقع در کشور ویتنام مطابقت دارد. محققین مذکور در تحقیق خود به عملکرد خوب مدل‌های ترکیبی نوین جهت مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های حساسیت خطر وقوع سیل اشاره می‌کنند که نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نیز بیانگر تأیید نتایج این محققین است.

قدردانی

تحقیق حاضر برگرفته از نتایج رساله دکتری در دانشگاه تبریز است و از طرف صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) با کد ۹۸۰۲۷۶۵۲ حمایت مالی شده است، که بدین وسیله از آن‌ها قدردانی می‌شود.

کتابنامه

- ثقفی، مهدی؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ ۱۳۹۶. *مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای*. رو چارلتون، تهران: انتشارات سمت. <https://samta.samt.ac.ir/product/14908>
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید؛ ۱۳۹۹. تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الوندچای به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل خیزی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۳. ۸۳-۶۱. <https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.84675>
- روستایی، شهرام؛ موسوی، رمضان؛ علیزاده گرجی، غلامرضا؛ ۱۳۹۶. تهیه نقشه سیلاب حوضه آبریز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. شماره ۱. ۱۱۸-۱۰۸.
- https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html
- میرموسوی، سید حسین؛ اسمعیلی، حسین؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS)، مطالعه موردی: شهرستان داراب. *مخاطرات محیط طبیعی*. دوره ۱۰. شماره ۲۷. ۴۶-۲۱. https://jneh.usb.ac.ir/article_5799.html

- Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., Kellecioglu, D. 2016., Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas, The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS, 373, 137–141.
<https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016>
- Alexander, M., Viavattene, C., Faulkner, H., Priest, S., 2011. A GIS-based flood risk assessment tool: supporting flood incident management at the local scale. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, London. www.floodrisk.org.uk
- Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., Roo, A., Salamon, P., Wyser, K., Feyen, L., 2017. Global projections of river flood risk in a warmer world, *Earth's Future*, 5(2): 171-182.
<https://doi.org/10.1002/2016EF000485>
- Barker, D.M., Lawler, D.M., Knight, D.W., Morris, D.G., Davies, H.N., Stewart, E.J., 2009. Longitudinal distributions of river flood power: the combined automated flood, elevation and stream power (CAFES) methodology. *Earth Surface Processes and Landforms*. 34, 280–290.
<https://doi.org/10.1002/esp.1723>
- Beckers, A., Dewals, B., Erpicum, S., Dujardin, S., Detrembleur, S., Teller, J., 2013. Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 13, 2301–2318.
<https://doi.org/10.5194/nhess-13-2301-2013>
- Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A., Thorndycraft, V.R., Barriendos, M., 2010. The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. *Global and Planetary Change*. 70, 53–63.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.007>
- Bui, D.T., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q.T., Tran, Q.A., Nguyen, Q.P., 2016. Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS. *Journal of Hydrology*. 540, 317–330.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027>
- Cevik, E., Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*. 44 (8), 949–962. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0838-6>
- Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., Mosavi, A., 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. *Science of the Total Environment*, 651, 2087-2096. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.064>
- Cohen, W.W., 1995. Fast effective rule induction. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning*, 115–123. Morgan Kaufmann. <http://citeseer.ist.psu.edu/cohen95fast.html>
- Costache, R., Hong, H., Bao Pham, Q., 2020. Comparative assessment of the flash-flood potential within small mountain catchments using bivariate statistics and their novel hybrid integration with machine learning models, *Science of The Total Environment*, 711, 134514.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134514>
- Das, S., 2018. Geographic information system and AHP based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India, *Arab. J. Geosci*, 11(19): 576.
<https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>
- Das, S., 2018. Geomorphic characteristics of a bedrock river inferred from drainage quantification, longitudinal profile, knickzone identification and concavity analysis: a DEM-based study. *Arab J. Geosci*. 11 (21), 680. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4039-8>

- Das, S., Pardeshi, S.D., 2018. Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*. 8(7), 197. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0848-x>
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*. 41, 720–730. <https://doi.org/10.1007/s00254-001-0454-2>
- Fernandez, D.S., Lutz, M.A., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*. 111, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006>
- Friedman, J.H., Hastie, T.J., Tibshirani, R., 2000. Additive logistic regression: a statistical view of boosting (With discussion and a rejoinder by the authors), *The Annals of Statistics*, 28(2): 337–407. <https://doi.org/10.1214/aos/1016120463>
- García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., NadalRomero, E., 2008. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. *Journal of Hydrology*. 356, 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.04.013>
- Garde R. J., 2006. *River Morphology*. New Delhi: Published by New Age International (P) Ltd.
- Gittleman, M., Farmer, C.J., Kremer, P., McPhearson, T., 2017. Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City, *Urban Ecosystems*. 20(1), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0575-8>
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*. 81, 65–83. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.011>
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., 2009. *Multivariate data analysis*. Prentice Hall, New York.
- Haupt, L.R., Haupt, S.E., 2004. *Practical Genetic Algorithms*. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. <https://www.wiley.com/en-ie/Practical+Genetic+Algorithms%2C+2nd+Edition-p-9780471455653>
- Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor. <https://mitpress.mit.edu/9780262581110/adaptation-in-natural-and-artificial-systems/>
- Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., Kougias, I., Kazakis, N., 2018. Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neurofuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of The Total Environment*. 621, 1124–1141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.114>
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., 2018. Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the Total Environment*, 625, 575–588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.256>
- Hühn, J., Hüllermeier, E., 2009. FURIA: an algorithm for unordered fuzzy rule induction. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 19(3): 293–319. <https://doi.org/10.1007/s10618-009-0131-8>
- Iba, W., Langley, P., 1992. Induction of one-level decision trees. In *ML92: Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning*, Aberdeen, Scotland, 1–3 July 1992, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 233–240. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-247-2.50035-8>

- Kavzoglu, T., Sahin, E.K., Colkesen, I., 2015. Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm, *Engineering Geology*, 192, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.004>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., Pourghasemi, H.R., 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*. 83(2), 947–987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Knighton, A.D., 1999. Downstream variation in stream power. *Geomorphology* 29,293–306. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00015-X)
- Kumar Rai, P., Narayan Mishra, V., Mohan, K., 2017. A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 7, 9-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>
- Kwak, Y., Kondoh, A., 2008. A Study on the Extraction of Multi-Factor Influencing Floods from Remote Sensing Images and GIS Data: A Case Study in Nackdong Basin, South Korea. Centre for Remote Sensing, Chiba. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing 2008.
- Lee, M.J., Kang, J.E., Jeon, S., 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2012 IEEE International, 895–898. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351414>
- Lee, S., Kim, J.-C., Jung, H.-S., Lee, M.J., Lee, S., 2017. Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 1185–1203. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1308971>
- Mahmood, Sh., Rahman, A., 2019. Flash flood susceptibility modeling using geomorphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 78(43): 1-16, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8041-y>
- Menard, S., 2001. *Applied Logistic Regression Analysis*. 2nd ed. Sage Publication, Thousand Oaks, CA, USA. <https://methods.sagepub.com/book/applied-logistic-regression-analysis>
- Mitchell, M. 1996. *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, Cambridge, 221pp. <https://mitpress.mit.edu/9780262631853/an-introduction-to-genetic-algorithms>
- Opperman, J.J., Galloway, G.E., Fargione, J., Mount, J.F., Richter, B.D., Secchi, S., 2009. Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. *Science*. 326(5959), 1487–1488. <https://doi.org/10.1126/science.1178256>
- Pant, N., Kumar Dubey, R., Bhatt, A., Prakash Rai, S., Semwal, P., Mishra, S., 2020. Soil erosion and food hazard zonation using morphometric and morphotectonic parameters in Upper Alaknanda River basin, *Natural Hazards*, 103, 3263–3301. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04129-y>
- Pradhan, B., Abokharima, M.H., Jebur, M.N., Tehrany, M.S., 2014. Land subsidence susceptibility mapping at Kinta Valley (Malaysia) using the evidential belief function model in GIS. *Natural Hazards*. 73(2), 1019–1042. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-014-1128-1>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H.R., Zeinivand, H., 2016. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*. 31(1), 42–70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- Roy, J., Saha, S., 2019. GIS-based gully erosion susceptibility evaluation using frequency ratio, cosine amplitude and logistic regression ensembled with fuzzy logic in Hinglo River basin,

- India. Remote Sensing Applications: Society and Environment 15, 100247. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100247>
- Shit, P. K., Bhunia, G. S., Pourghasemi, H. R., 2020. Gully Erosion Susceptibility Mapping Based on Bayesian Weight of Evidence. In Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions (pp. 133-146). Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_8
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., 2013. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical model in GIS. Journal of Hydrology. 504, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology. 512, 332–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S., Ahmad, N., 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. Catena. 125, 91–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.017>
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q.T., Tran, Q.A., Nguyen, Q.P., 2016. Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS, Journal of Hydrology, 540, 317–330. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027>
- Tien Bui, D., Shirzad, A., Shahabi, H., Chapi, K., Omidvar, E., Thai Pham, B., Talebpour Asl, D., Khaledian, H., Pradhan, B., Panahi, M., Bin Ahmad, B., Rahmani, H., Grof, G., Kee, S., 2019. A Novel Ensemble Artificial Intelligence Approach for Gully Erosion Mapping in a Semi-Arid Watershed (Iran), Sensors, 19(11): 2444. <https://doi.org/10.3390/s19112444>
- Tien Bui, D., Tsangaratos, P., Thi Ngo, P. T., Dat Pham, T., Thai Pham, B., 2019. Flash flood susceptibility modeling using an optimized fuzzy rule based feature selection technique and tree based ensemble methods, Science of the Total Environment, 668, 1038–1054. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.422>
- Towfiqul Islam, A.B., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Uddin Eibek, K., BaoPham, Q., Kuriqi, A., ThuyLinh, N.T., 2021. Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models, Geoscience Frontiers, 12(3): 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- Trawinski, K., Cordon, O., Quirin, A., 2011. On designing fuzzy rule-based multiclassification systems by combining furia with bagging and feature selection, International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 19(4): 589–633. <https://doi.org/10.1142/S0218488511007155>
- USDA, S.C.S., 1986. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release. 55, pp. 2–6.



The Assessment of Neotectonic Activity in Raveh-Rahjerd Volcano-Sedimentary Area (Salafchegan)

Mostafa Najafi^{a*}, Seyed Ahmad Alavi^b, Mohsen Ehteshami-Moinabadi^c

^a Msc in Tectonics, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^c Associate Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 23 November 2021

Revised: 31 January 2022

Accepted: 5 March 2022

Abstract

Tectonics geomorphology is one of the most important modern scientific disciplines. Quantitative analysis based on defined morphometric indices is an available and relatively low-cost and fast method that is used to understand the differences in the amount of tectonic activities in young landscapes. These indices are used as a basic identification tool to detect tectonic deformations or to estimate the relative variations of tectonic activity in a particular area. However, these studies are more sensitive in areas consisting of volcanic rocks, especially for the precise definition of sub-basin boundaries. The study area that consists of outcrops of volcanic rock and young deposits is located in the south of Salafchegan; on the border of Qom-Markazi provinces. Six morphometric indices were measured to determine neotectonic activity: Stream length gradient index (SL), Ratio of valley Floor width to valley height (Vf), hypsometric integral (Hi), drainage basin shape (Bs), drainage basin asymmetry (Af), and transverse topographic symmetry (T) for each sub-basins. After calculating the indices, averages of them, and the relative active tectonic index (Iat), the area was divided into four different tectonic zones based on activity ratio. In this categorization, category 1 to 4 respectively represent the highest to lowest tectonic activity. It was also found that 2.86% of the basins are in category 2, 51.43% in category 3, class and 45.71% in category 4.

Keywords: Salafchegan, Neotectonic, Morphotectonic Indices, Relative Activity Index, Morphometry

* Corresponding author: Mostafa Najafi

Email: mostafanajafi83@gmail.com

Tel: +989372196151

How to cite this Article: Najafi, M., Alavi, S. A., & Ehteshami-Moinabadi, M. (2023). The assessment of neotectonic activity in Raveh-Rahjerd volcano-sedimentary area (Salafchegan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 25-39.

DOI:10.22067/GEOEH.2022.73218.1124



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73218.1124>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۳۹-۲۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی-رسوبی راه-راهجرد (سلفچگان)

مصطفی نجفی^۱- کارشناسی ارشد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سید احمد علوی - استاد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
محسن احتشامی معین‌آبادی- استادیار، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

چکیده

تکتونیک ژئومورفولوژی یکی از دانش‌های مورد استفاده مهم در بررسی زمین‌ساخت جنبا است. تحلیل‌های کمی مبتنی بر شاخص‌های مورفومتری تعریف شده از روش‌های در دسترس و نسبتاً ارزان محسوب می‌شود که برای درک تفاوت‌ها در میزان فعالیت زمین‌ساختی در چشم‌اندازهای جوان کاربرد دارد و با توجه به سرعت بالا و هزینه پایین در استفاده از این گونه روش‌ها، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این شاخص‌ها به صورت ابزار شناسایی پایه برای تشخیص تغییر شکل‌های تکتونیک یا تخمین ناپایداری نسبی فعالیت‌های تکتونیک در منطقه‌ای ویژه به کار می‌روند. البته این بررسی‌ها در مناطق متشکل از سنگ‌های آتشفشانی از حساسیت بیشتری به‌ویژه در تعریف دقیق مرز زیرحوضه‌ها برخوردار است. در این مطالعه گستره‌ای متشکل از رخنمون سنگ‌های آتشفشانی و نهشته‌های جوان که در جنوب سلفچگان و در مرز استان‌های قم-مرکزی قرار دارد، برای مشخص کردن فعالیت‌های نئوتکتونیک بر اساس شش شاخص مورفومتری گرادیان طولی رودخانه (SL)، نسبت پهنای کف دره به عمق (Vf)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، شکل حوضه آبریز (Bs)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) و تقارن توپوگرافی

Email: mostafanajafi83@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۲۱۹۶۱۵۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

نجفی، مصطفی؛ علوی، سید احمد؛ احتشامی معین‌آبادی، محسن؛ ۱۴۰۲. ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی-رسوبی راه-راهجرد (سلفچگان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۳۹-۲۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73218.1124>

عرضی (T) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پس از محاسبه شاخص‌ها با میانگین گرفتن از آن‌ها و محاسبه شاخص فعالیت نسبی (Iat) گستره از لحاظ فعالیت به چهار رده تقسیم شد که در این تقسیم‌بندی رده‌های ۱ تا ۴ به ترتیب بیانگر بیشترین تا کمترین فعالیت زمین‌ساختی است که بر این اساس مشخص شد که ۲/۸۶ درصد حوضه‌ها در رده ۲، ۵۱/۴۳ درصد حوضه‌ها در رده ۳ و ۴۵/۷۱ درصد حوضه‌ها در رده ۴ جای می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: سلفچگان، نئوتکتونیک، شاخص‌های مورفوتکتونیک، شاخص فعالیت نسبی، مورفومتری.

۱- مقدمه

اندرکنش زمین‌ساخت فعال، فرایندهای ژئومورفولوژیکی سطحی و اقلیم اساس تغییر و تحولات در چشم‌انداز کواترنری مناطق پویا را تشکیل می‌دهد که فضای زندگی انسان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. با افزایش فعالیت کمربندهای اصلی لرزه‌ای اهمیت این گرایش‌ها بیش از پیش بروز می‌یابد. با توجه به افزایش سریع توسعه اقتصادی و اجتماعی، ارزیابی خطرات لرزه‌ای بیش‌ازپیش مورد نیاز است تا امکان پیشگیری از زلزله شهری و روستایی و کاهش بلایا فراهم شود (وو و هوو^۱، ۲۰۱۹). در رابطه با تعریف و بازه زمانی نئوتکتونیک نظرات متعددی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد. تحقیقات مربوط به حرکت نئوتکتونیک باید به آب‌وهوای کواترنری و تغییر سطح دریا، زمین‌لرزه و آتشفشان، رشد و کاهش صفحات یخ و سایر عوامل تغییر جهانی مرتبط باشد (استیوارت و همکاران^۲، ۲۰۰۸). فعالیت‌های نئوتکتونیک به‌طور خاص به تغییر شکل در طول نئوژن، یا حرکت تکتونیک پس از میوسن اشاره دارد، به‌طوری‌که از حرکت تکتونیک پلیستوسن یا حتی دوران هولوسن باید تمیز یابد. مرحله نئوتکتونیک کل زمان سنوزوئیک پسین است (پانیزا و همکاران^۳، ۱۹۸۷). فعالیت حاشیه ورقه‌ای امروزی مناسب‌ترین نشانه حرکت نئوتکتونیک است و شروع مرحله نئوتکتونیک یک منطقه را نشان می‌دهد (هانکوک و همکاران^۴، ۱۹۸۶)؛ بنابراین تعاریف مطالعه تکتونیک جنبه با نئوتکتونیک ارتباط تنگاتنگی دارد. یکی از روش‌های در دسترس و ارزان‌قیمت برای برآورد اولیه وضعیت تکتونیک فعال در یک گستره استفاده از مطالعات مورفوتکتونیک است (جین و سینا^۵، ۲۰۰۵؛ توروسکی و همکاران^۶، ۲۰۰۶؛ آموس و بروبنک^۷، ۲۰۰۷). از آنجاکه مطالعات مورفوتکتونیک اغلب مبتنی بر داده‌های میان‌رشته‌ای و نیازمند داده‌های سن سنجی کواترنری است، پژوهشگران روش‌های کم‌هزینه‌تر بر پایه اندازه‌گیری‌های کمی تغییرات ریخت و هندسه لندفرم‌های سطح زمین را در پاسخ به نئوتکتونیک ابداع کرده‌اند

1 Wu & Hu

2 Stewart et al

3 Panizza et al

4 Hancock et al

5 Jain and Sinh

6 Turowski et al

7 Amos and Burbank

که تحت عنوان ریخت‌سنجی (مورفومتری) بررسی می‌شود. استفاده از مورفومتری برای عوارض با استفاده از داده‌های رقومی دارای دقت بسیار بالایی است و به‌عنوان بخشی از ژئومورفومتری کمی از آن یاد می‌شود (ثورن^۱، ۱۹۸۸؛ شیدگر^۲، ۱۹۹۱؛ رودز و ثورن^۳، ۱۹۹۶). برخی از شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان ابزارهای اولیه شناسایی، برای شناسایی مناطقی که دچار تغییر شکل سریع زمین ساختی می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند (کلر^۴، ۱۹۸۶). سایر شاخص‌ها برای کمی کردن توصیف چشم‌انداز توسعه داده شده‌اند (استرالر^۵، ۱۹۵۲). شاخص‌های ژئومورفیک به‌ویژه در مطالعات زمین ساختی مفید هستند زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق بزرگ مورد استفاده قرار گیرند و داده‌های لازم را اغلب می‌توان به‌راحتی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به دست آورد (کلر و پیتر^۶، ۲۰۰۲). استفاده از شاخص‌های مورفومتری در تشخیص حرکات فعال و جوان در ایران و جهان سابقه چندانی نداشته و سابقه آن در جهان به دهه ۱۹۶۰ میلادی برمی‌گردد (هک^۷، ۱۹۶۰). هرچند طی سال‌های اخیر مطالعات مورفوتکتونیک متعدد با هدف بررسی فعالیت زمین ساختی در گستره ایران زمین انجام شده است (مددی و همکاران^۱، ۱۳۸۳؛ شفیع و همکاران^۲، ۱۳۸۸؛ سمندر و روستایی^۳، ۱۳۹۵ و سامانی و همکاران^۴، ۱۴۰۰)؛ اما در این میان اندازه‌گیری‌های مورفوتکتونیک در نواحی با سنگ‌بستر آتشفشانی، آذرآواری و یا لندفرم‌های باقی‌مانده از فعالیت آتشفشانی نئوژن با چالش‌های بیشتری به‌ویژه در زمینه تعریف محدوده زیر حوضه‌ها و اندازه‌گیری‌های کمی مواجه است. در این مقاله، گستره با استفاده از شش شاخص: گرادیان طولی رودخانه، انتگرال هیپسومتری، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به عمق، تقارن توپوگرافی عرضی و شکل نسبی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از این شش شاخص، شاخص فعالیت نسبی تکتونیک محاسبه شد. استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی به‌عنوان فعالیت‌های نسبی تکتونیک، اهمیت آن‌ها را در مطالعات مربوط به فعالیت تکتونیک جوان در یک گستره مشخص می‌کند. مهم‌ترین ویژگی استفاده از این شاخص‌ها، سادگی نسبی روش محاسبه و همچنین سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آن‌ها در بررسی میزان فعالیت تکتونیک مناطق بزرگ است. هدف اصلی به‌کارگیری شاخص‌های ریخت‌سنجی در مورفوتکتونیک، خارج کردن مطالعه لندفرم‌های زمین از حالت کیفی و توصیفی و عددی نمودن آن‌ها است.

- 1 Thorn
- 2 Scheidegger
- 3 Rhoads & Thorn
- 4 Keller
- 5 Strahler
- 6 Keller & Pinter
- 7 Hack

۲- منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه مورد بررسی در جنوب سلفچگان و در استان مرکزی است (شکل ۱). این گستره از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در محدوده ایران مرکزی قرار دارد و بخشی از نوار ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می‌شود (شکل ۲). مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر یک مجموعه از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی است که در امتداد کمربند کوهزایی زاگرس با روند خطی مشخص می‌شود و کمان ماگمایی وابسته به فروانش را در حاشیه فعال صفحه ایرانی تشکیل می‌دهد (علوی^۱، ۲۰۰۴). مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر شامل بخش‌های سنگ‌شناسی متنوعی مانند توده‌های گابرو-دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت با اندازه‌های مختلف است. این مجموعه همچنین حاوی توزیع گسترده‌ای از جریان گدازه‌های بازالتی، تراکی‌بازالت، ایگنمبریت و سنگ‌های آذرآواری می‌باشد که بیشتر توف و آگلومرا هستند (علوی^۲، ۱۹۹۴). سنگ‌های ائوسن در این مجموعه با ناپیوستگی زاویه دار بر روی سازندهای قدیمی تر قرار گرفته‌اند (اشتوکلین^۳، ۱۹۶۸). به نظر می‌رسد با این که فروانش فعال بین ورقه‌های ایران-عربستان تمام شده، اما فعالیت ماگمایی متوقف نشده است (بربریان و کینگ^۴، ۱۹۸۱؛ قاسمی و تالبوت^۵، ۲۰۰۶). تکین (تکین^۶، ۱۹۷۲) ضمن همسو بودن با نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای، بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ایران را مربوط به زمان توقف و یا به حداقل رسیدن گسترش بستر اقیانوس هند می‌داند. بر اساس بررسی‌های قاسمی و تالبوت (قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶) منشاء فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر همراه با فعالیت پلوتونیکی و بالاآمدگی زون سنندج-سیرجان، شکستگی قطعه فرورونده می‌باشد و این شکستگی منجر به بروز اوج فعالیت ماگمایی در امتداد مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر در ائوسن میانی شده است. فوران‌های اولیه ائوسن ایران مرکزی از نوع کلسیمی-قلیایی و زیردریایی بوده و سپس انواع سنگ‌های آتشفشانی که به‌طور متناوب کلسیمی-قلیایی بوده‌اند، با حجم‌های مختلف و بدون نظم و ترتیب خارج شده‌اند. در ائوسن پسین ترکیب گدازه‌ها به طرف قلیایی (سدیمی و یا پتاسیمی) و به شدت قلیایی گرایش پیدا کرده‌اند (آقا نباتی^{۱۳۸۳}). در کمان ماگمایی ارومیه-دختر، در بیشتر جاها فعالیت آتشفشانی پلیوسن با تکاپوهای انفجاری آغاز شده که با خروج مقدار قابل توجهی خاکستر آتشفشانی و همچنین لایلی و بمب آتشفشانی همراه بوده است. پس از گام انفجاری، با کاهش گاز موجود، قطعات آتشفشانی در حد بمب دوکی شکل و کروی پرتاب شده‌اند که بر روی هم مخروط‌های آذرآواری گنبدی شکل را به وجود آورده‌اند که ترکیب سنگ‌شناسی و شیمیایی آن‌ها ریولیتی-داسیتی و گاه آندزیتی-تراکی آندزیت است که از آن جمله می‌توان به گنبد‌های خروجی مناطق سولقان، شکر بند، راهجرد و راونج در جنوب باختری قم اشاره کرد.

1 Alavi

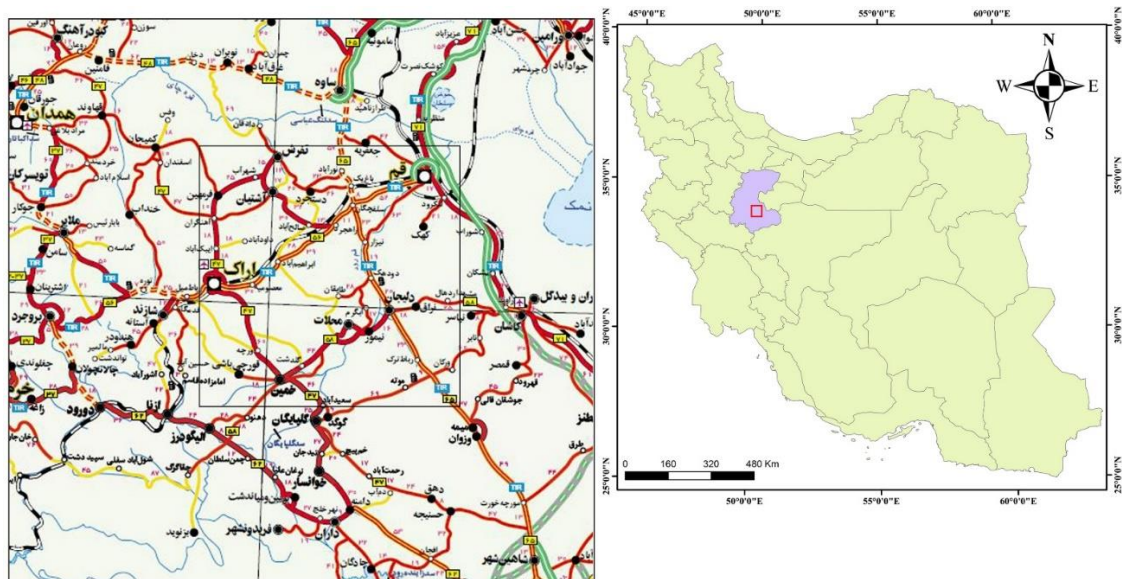
2 Alavi

3 Stocklin

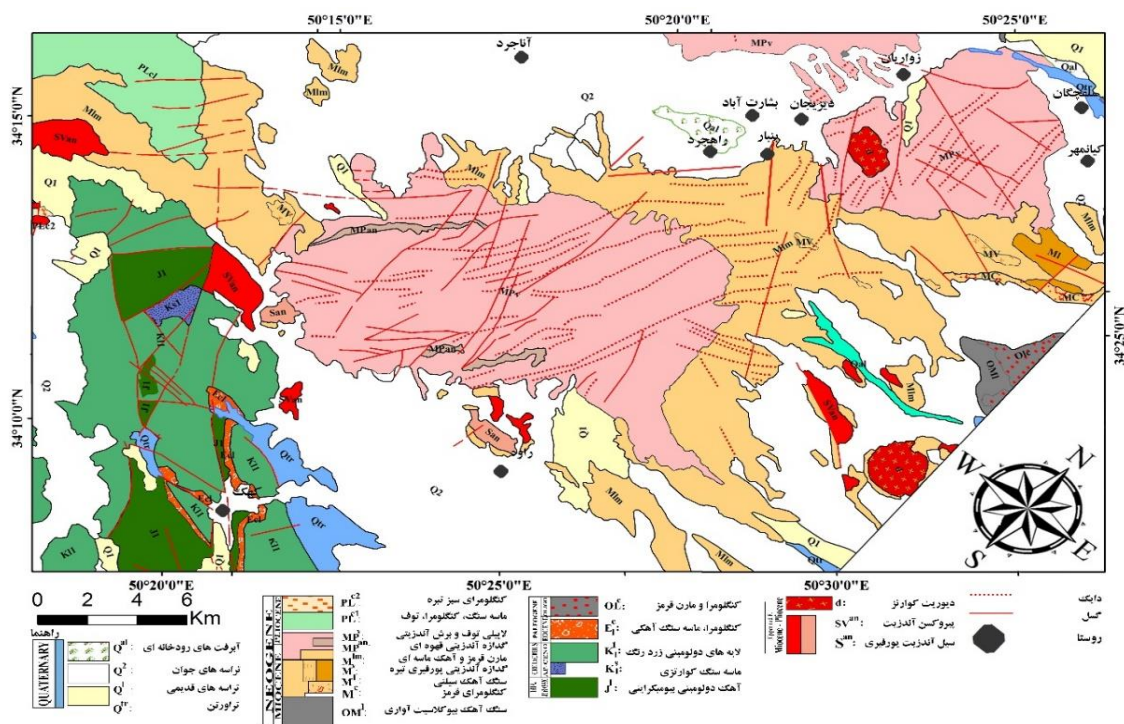
4 Berberian & King

5 Ghasemi & Talbot

6 Takin



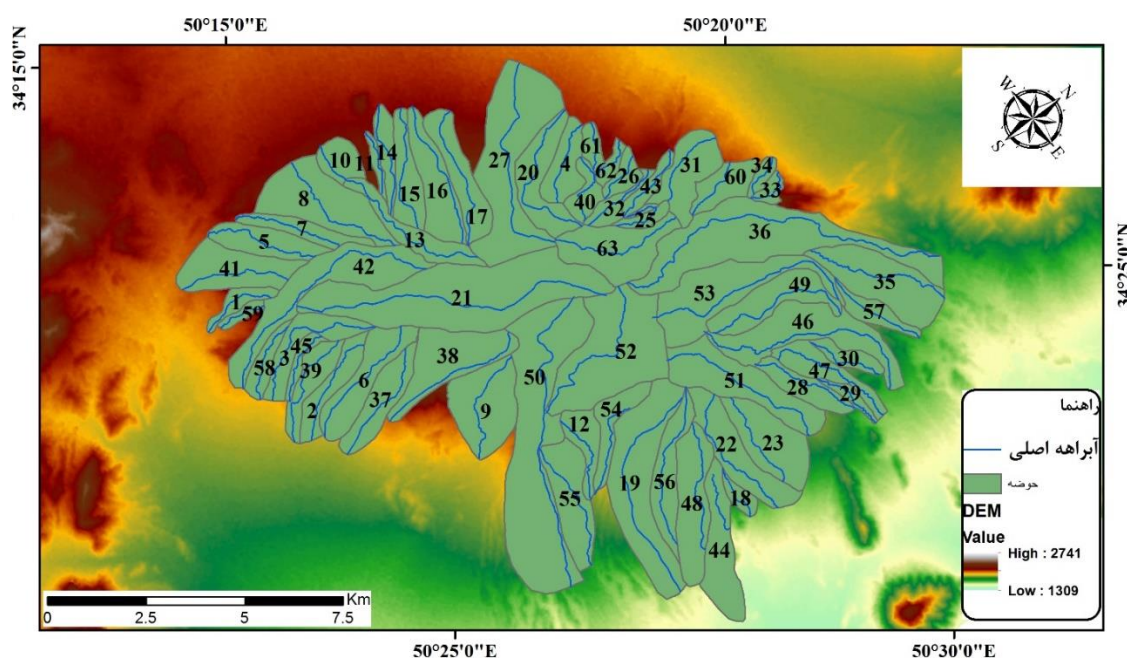
شکل ۱- راه‌های دسترسی برگرفته از نقشه گیتا شناسی



شکل ۲- نقشه زمین شناسی گستره با تغییر از علایی مهابادی و همکاران ۱۳۷۹

۳- روش مطالعه

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور، مدل ارتفاعی رقومی (SRTM) و نرم‌افزارهای Arc GIS 10.7.1، Global Mapper 20.1 و Google Earth برای تجزیه و تحلیل‌های توپوگرافی و محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیکی موردنیاز، استفاده شده است. برای اینکه امکان تفکیک و درجه‌بندی نسبی میزان فعالیت تکتونیکی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه فراهم شود، ۶۳ زیرحوضه آبریز را که از اطراف به خط‌الرأس‌های توپوگرافی محدود می‌شوند، با توجه به مدل ارتفاعی و شبکه زهکشی انتخاب شد (شکل ۳). بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار GIS، زیر حوضه‌ها بر مبنای مدل ارتفاعی تعریف شده است. از آنجاکه گستره مورد مطالعه متشکل از سنگ‌بستر آتشفشانی و آذر آواری است، زیرحوضه‌هایی که به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار ترسیم می‌شوند از دقت و اعتبار کافی برخوردار نبودند بنابراین با صرف وقت بسیار و بررسی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Google Earth فرایند اصلاح زیر حوضه‌ها به دلیل تغییرات شدید توپوگرافی به صورت تک تک صورت گرفته است.



شکل ۳- نمای کلی حوضه آبریز به همراه آبراهه‌های اصلی

۳-۱- شاخص‌های مورفومتری

شاخص گرادیان طولی رودخانه یکی از شاخص‌های مهم جهت تفکیک مناطق فعال می‌باشد. مقادیر عددی این شاخص به قدرت رودخانه برحسب دبی رود و شیب سطح آب بستگی دارد. این شاخص همچنین به مقاومت سنگ‌ها حساس می‌باشد. تغییر مقدار شاخص گرادیان طولی رودخانه، در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در

سنگ‌های از لحاظ مقاومتی یکسان می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیک فعال و جوان باشد (کلر و پیتر، ۲۰۰۲). شاخص SL به سه رده از فعالیت تکتونیک تقسیم می‌شود: رده ۱ ($SL \geq 500$)، رده ۲ ($300 \leq SL < 500$) و رده ۳ ($SL < 300$) (هک^۱، ۱۹۷۳؛ الحمدونی و همکاران^۲، ۲۰۰۸؛ فونت و همکاران^۳، ۲۰۱۰).

از شاخص عدم تقارن می‌توان برای ارزیابی کج شدگی در حوضه آبریز بهره جست (هر و گاردنر^۴، ۱۹۸۵؛ کلر و پیتر، ۲۰۰۲). در مناطق با بالآمدگی فعال معمولاً به دلیل بروز اثرات توپوگرافی حاصل از بالآمدگی در یک سوی منطقه و به تبع آن ایجاد فرونشست در سوی دیگر، مساحت در برگیرنده این آبراهه‌ها در سمت بالا آمده منطقه بیش از همین مساحت در سمت مقابل است. هرگاه مقادیر عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن زهکشی‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر عددی بیشتر یا کمتر از ۵۰ نیز به ترتیب بیانگر بالآمدگی در طرف راست و یا چپ آبراهه اصلی خواهد بود. فاکتور عدم تقارن برای پیدا کردن کج شدگی تکتونیک در مقیاسی از حوضه زهکشی یا مساحت بزرگ‌تر تعریف شده است. شاخص Af به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($|Af-50| > 15$)، رده ۲ ($15 < |Af-50| < 7$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیک ($|Af-50| < 7$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

یک ویژگی مفید منحنی هیپسومتری این است که حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با یکدیگر مقایسه کرد؛ زیرا مساحت و ارتفاع به‌عنوان توابعی از مساحت کل و ارتفاع کل رسم می‌شوند (کلر و پیتر، ۲۰۰۲). مقادیر عددی بالا برای این شاخص بیانگر توپوگرافی جوان، مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشند. به‌طور خلاصه، تجزیه و تحلیل هیپسومتری ابزاری قدرتمند برای تمایز تکتونیک مناطق فعال از سایر مناطق است (پایک و ویلسون^۵، ۱۹۷۱؛ مایر^۶، ۱۹۹۰؛ کلر و پیتر، ۲۰۰۲). شاخص Hi به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($Hi > 0.5$)، رده ۲ ($0.4 < Hi < 0.5$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیک ($Hi < 0.4$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق موجب تفکیک دره‌های V شکل از دره‌های U شکل می‌گردد. به‌طوری‌که مقادیر بزرگ آن نشانگر کم بودن میزان بالآمدگی و در نتیجه وجود دره‌هایی با کف پهن و U شکل است که در اثر فرسایش جانبی، ناشی از ثبات جبهه کوهستان، تشکیل شده‌اند. درحالی‌که مقادیر کوچک این شاخص، زیاد بودن میزان بالآمدگی و همچنین وجود دره‌های عمیق و V شکل را مشخص می‌کند. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($Vf < 0.5$)، رده ۲ ($0.5 < Vf < 1$) و رده ۳ ($Vf < 1$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

1 Hack

2 El Hamdouni et al

3 Font et al

4 Hare and Gardner

5 Pike and Wilson

6 Mayer

حوضه‌های زهکشی جوان در مناطق فعال تکتونیکی طویل شدگی را نشان می‌دهند که در ادامه سیر تکاملی یا کاهش فعالیت‌های زمین ساختی از حالت مستقیم خارج شده و تمایل دارند که بیشتر شبیه دایره شوند (بول و همکاران، ۱۹۷۷). تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت طویل شدگی شاخص شکل حوضه آبریز توصیف می‌شود (کنون، ۱۹۷۶؛ بول و مک فادن، ۱۹۸۰، کلو و پیتر، ۲۰۰۲). در واقع این شاخص تفاوت بین حوضه‌های طویل شده با مقادیر بالای B_s و حوضه‌های دایره‌ای شکل با مقادیر کم B_s را مشخص می‌کند. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ با فعالیت بالای تکتونیکی ($B_s > 4$)، رده ۲ با فعالیت متوسط تکتونیکی ($3 < B_s < 4$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیکی ($B_s < 3$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

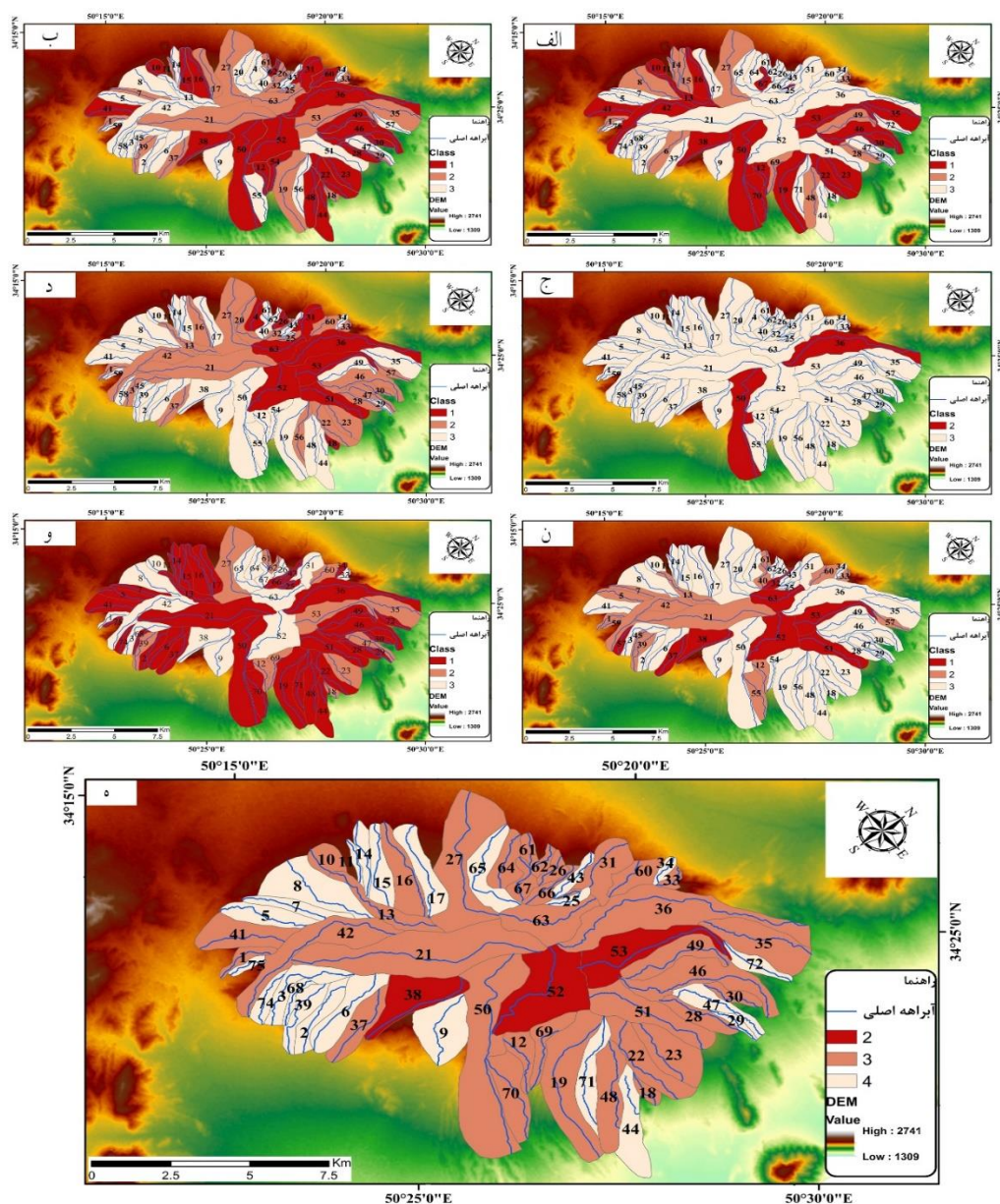
شاخص دیگری که می‌توان از آن در بررسی حرکات تکتونیکی فعال استفاده کرد شاخص تقارن توپوگرافی عرضی است. در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی شاخص T صفر است و با کاهش تقارن حوضه مقادیر عددی T افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک می‌شود. با توجه به اینکه، اثرات جزئی شیب سنگ‌بستر را می‌توان به صورت مهاجرت و جابه‌جایی آبراهه مشاهده نمود، جهت مهاجرت ناحیه‌ای آبراهه‌ها یکی از نشانه‌های کج شدگی زمین در آن جهت خواهد بود. در نتیجه T برداری با جهت‌گیری خاص و با مقادیری از صفر تا یک است که مقادیر عددی نزدیک به ۱ می‌تواند بیانگر فعالیت بالاآمدگی باشد. بررسی این شاخص همراه با شاخص A_f می‌تواند برای شناسایی سریع‌تر مناطق کج شده بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه آماری T می‌تواند برای ارزیابی جهت غالب مهاجرت رود استفاده شود. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($T > 0.38$)، رده ۲ ($0.38 > T > 0.3$) و رده ۳ ($T < 0.3$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۳- ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیکی (I_{at})

یکی از روش‌های جدید را برای ارزیابی و طبقه‌بندی نسبی از سطح فعالیت تکتونیکی در سرتاسر منطقه، الحمدونی و همکاران (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) ارائه کرده‌اند. در این روش به‌طور قراردادی، شاخص‌های مختلف مورفولوژیکی به سه رده طبقه‌بندی شده است. رده ۱ بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا، رده ۲ فعالیت تکتونیکی متوسط و رده ۳ بیانگر فعالیت پایین تکتونیکی می‌باشد. سپس یک شاخص کلی که فعالیت تکتونیک نسبی را نشان می‌دهد (I_{at}) به وسیله میانگین گرفتن از رده‌های مختلف شاخص‌های مورفولوژیکی به دست می‌آید و از لحاظ فعالیت منطقه مورد مطالعه را به چهار رده تقسیم می‌کند. رده ۱ ($1.5 > S/n \geq 1$)، رده ۲ ($2 > S/n \geq 1.5$)، رده ۳ ($2.5 > S/n \geq 2$) و رده ۴ ($S/n \geq 2.5$). نتایج طبقه‌بندی گستره بر این اساس شاخص‌های یاد شده در (جدول ۱) و نقشه رده‌بندی گستره بر این اساس در (شکل ۴) نشان داده شده است.

1 Bull and McFadden

2 Cannon



شکل ۴- نقشه رده‌بندی گستره بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک (الف) تقارن توپوگرافی معکوس (ب) بی‌تقارنی (ج) گرادیان طولی رودخانه (د) نسبت پهنای کف دره به عمق (ن) انتگرال هیپسومتری (و) شکل حوضه (ه) فعالیت نسبی تکتونیکی)

جدول ۱- نتیجه بررسی و طبقه‌بندی کلی شاخص‌ها

Basin no.	Class of Hi	Class of Sl	Class of Vf	Class of Bs	Class of Af	Class of T	value of lat	Class of lat
1	2	3	2	3	2	2	2.33	3
2	3	3	3	3	3	3	3	4
3	3	3	2	3	3	3	2.83	4
4	3	3	1	3	3	3	2.67	4
5	2	3	3	3	3	3	2.83	4
6	3	3	3	3	3	2	2.83	4
7	2	3	3	3	2	3	2.67	4
8	3	3	3	3	3	2	2.83	4
9	3	3	3	3	3	3	3	4
10	3	3	3	3	1	1	2.33	3
11	3	3	3	3	2	2	2.67	4
12	2	3	3	3	1	1	2.17	3
13	2	3	2	3	3	1	2.33	3
14	3	3	3	3	3	2	2.83	4
15	3	3	3	3	3	2	2.83	4
16	3	3	2	3	1	1	2.17	3
17	3	3	3	3	2	3	2.83	4
18	3	3	1	2	2	3	2.33	3
19	3	3	3	3	2	1	2.5	3
20	3	3	2	3	3	3	2.83	4
21	2	3	2	3	2	3	2.5	3
22	3	3	2	3	1	1	2.17	3
23	3	3	2	3	1	1	2.17	3
24	3	3	3	3	3	1	2.67	4
25	3	3	2	2	2	3	2.5	3
26	3	3	1	3	2	3	2.5	3
27	3	3	2	3	2	2	2.5	3
28	3	3	2	3	1	2	2.33	3
29	3	3	3	3	2	3	2.83	4
30	3	3	2	2	1	1	2	2
31	3	3	1	3	1	3	2.33	3
32	1	3	2	3	2	3	2.33	3

Basin no.	Class of Hi	Class of Sl	Class of Vf	Class of Bs	Class of Af	Class of T	value of lat	Class of lat
33	2	3	2	3	2	2	2.33	3
34	3	3	3	3	3	3	3	4
35	3	3	3	3	2	1	2.5	3
36	3	2	1	3	1	3	2.17	3
37	1	3	2	3	2	3	2.33	3
38	1	3	3	3	1	1	2	2
39	2	3	3	3	2	3	2.67	4
40	2	3	3	3	3	1	2.5	3
41	3	3	3	3	1	1	2.33	3
42	2	3	2	3	3	1	2.33	3
43	3	3	3	3	3	3	3	4
44	3	3	3	3	1	3	2.67	4
45	2	3	3	3	3	3	2.83	4
46	3	3	2	3	1	1	2.17	3
47	3	3	2	3	3	3	2.83	4
48	3	3	3	3	1	1	2.33	3
49	3	3	3	3	1	2	2.5	3
50	3	2	3	3	1	1	2.17	3
51	1	3	1	3	3	3	2.33	3
52	1	3	1	3	1	3	2	2
53	1	3	1	3	2	1	1.83	2
54	3	3	3	3	1	2	2.5	3
55	2	3	3	2	3	1	2.33	3
56	3	3	2	3	3	3	2.83	4
57	2	3	2	3	3	3	2.67	4
58	1	3	3	3	3	3	2.67	4
59	2	3	3	3	3	3	2.83	4
60	2	3	2	3	1	3	2.33	3
61	2	3	3	3	2	3	2.67	4
62	3	3	3	3	1	3	2.67	4
63	1	3	1	3	2	3	2.17	3

۴- نتایج و بحث

گستره مورد مطالعه در فلات ایران واقع شده که در مرکز سیستم کمربند همگرایی فعال عربی-اوراسیا قرار دارد و چند حادثه دگر شکلی و فعالیت تکتونیکی ناشی از فرو رانش و بسته شدن نئوتتیس را تجربه کرده است (تکین، ۱۹۷۲؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶). این همگرایی هنوز فعال است و باعث رخ داد زمین لرزه می شود. در فلات ایران، ایران مرکزی به عنوان محدوده احاطه شده با گسل های فعال امتداد لغز محلی با حرکت راست گرد یا چپ گرد نسبت به زاویه همگرایی شناخته می شود (آلن و همکاران^۱، ۲۰۱۱). پیرامون گستره مطالعه گسل های مهمی وجود دارد که از جمله آن ها می توان به گسل قم، ایندس، کوشک نصرت، کهک و... اشاره کرد (بابا احمدی و همکاران^۲، ۲۰۱۰؛ آلن و همکاران، ۲۰۱۱؛ خداپرست و همکاران^۳، ۲۰۲۰)؛ که برخی از آنان شواهد حرکات زمین ساختی جوان را نشان می دهند. با این حال پس از بررسی گستره مورد مطالعه براساس شاخص های ژئومورفیکی نتایج، فعالیت متوسط را نشان می دهد که این امر توسط بررسی لرزه خیزی گستره با استفاده از سایت

1 Allen et al

2 Babaahmadi et al

3 Khodaparast et al

USGS در ۱۰۰ سال اخیر تأیید می‌شود. تأکید این پژوهش بر تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک تکتونیک فعال برای بررسی فعالیت کنونی گستره مورد مطالعه است. بررسی‌های مورفومتری یک رهیافت برای مطالعه سریع منطقه از نظر فعالیت است. به‌طور معمول برای این‌گونه بررسی‌ها در محیط‌های با رخنمون آتشفشانی از شاخص‌های نسبت طول به سطح، درصد تقعر پروفیلی، بررسی تقعر و تحدب، برجستگی ارتفاعی و... استفاده می‌کنند (گروس و همکاران^۱، ۲۰۱۲؛ صلیحی و سیف، ۱۳۹۷؛ کشتگر و همکاران، ۱۳۹۹). با این حال در این پژوهش به‌منظور بررسی بهتر فعالیت زمین‌ساختی از شاخص‌های ذکر شده در بالا استفاده شده است. نتایج به دست آمده از بررسی شواهد ژئومورفیکی و مورفوتکتونیک یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت تکتونیک ارائه می‌دهند که برای مطالعات، شناسایی و بررسی‌های مقدماتی مفید می‌باشند. وقتی چندین شاخص جهت بررسی فعالیت تکتونیک یک منطقه به کار برده شوند نتایج مستدل‌تری خواهند داشت. شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده با استفاده از GIS برای ارزیابی اثرات تکتونیک فعال در یک منطقه مناسب تلقی می‌شوند. این روش برای شناسایی ناهنجاری‌های ژئومورفیک و ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی در گستره راوه-راهجرد به کار گرفته شد. به‌منظور بررسی کامل گستره ما در این پژوهش از شش شاخص ژئومورفیک استفاده کردیم که هر کدام از جنبه‌های متفاوتی گستره را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. اگر چه رخساره گستره آتشفشانی بوده و بالتبع مقادیر بالای شاخص گرادیان طولی رودخانه انتظار می‌رفت در بررسی گستره با استفاده از شاخص گرادیان طولی رودخانه مشخص شد که گستره از منظر این شاخص دارای فعالیت کمی است که این کم بودن میزان شاخص به دلیل کم بودن تغییرات لیتولوژی در آبراهه‌ها است. شاخص عدم تقارن و تقارن توپوگرافی معکوس که معرف کج شدگی هستند، نشان می‌دهند که فعالیت بخش شرقی گستره از بخش غربی آن بیشتر است این شاخص زمانی که لیتولوژی یکسان باشد بهتر عمل می‌کند هر چند که این دو شاخص نمی‌توانند شواهد مستقیمی مبنی بر کج شدگی باشند ولی می‌تواند روشی سریع برای پیدا کردن کج شدگی احتمالی باشند. از مزایای شاخص انتگرال هیپسومتری می‌توان به مستقل بودن آن از اندازه حوضه اشاره کرد. از این شاخص برای بررسی فرسایش می‌توان استفاده کرد میزان بالای آن توپوگرافی جوان، فعالیت تکتونیک بالا و فرسایش کم را نشان می‌دهد و بالعکس. بررسی‌ها نشان می‌دهد که از دیدگاه این شاخص گستره دارای فعالیت کمی است. بررسی گستره با استفاده از شاخص V_f فعالیت متوسطی را نشان می‌دهد. شاخص شکل حوضه فعالیت بالایی را نشان می‌دهد. در نهایت با ترکیب نتایج این شاخص‌ها و محاسبه شاخص فعالیت نسبی میزان فعالیت گستره بررسی می‌شود. بر این اساس پس از بررسی شاخص‌ها و میانگین گرفتن از آن‌ها این نتیجه به دست آمد که $2/86$ درصد حوضه‌ها در رده ۲، $51/43$ درصد حوضه‌ها در رده ۳ و $45/71$ درصد حوضه‌ها در رده ۴ جای می‌گیرند. نتایج فوق سودمندی تجزیه و تحلیل ریخت‌سنجی را برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال تأیید می‌کند.

الف



ب



شکل ۵- الف) گسل خوردگی در واحدهای سنگی ب) دورنمای گستره مطالعه

۵- جمع بندی

با توجه به تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر ویژگی‌های شبکه زهکشی و توپوگرافی سطح زمین و کاربرد شاخص‌های ژئومورفیکی در مطالعات نئوتکتونیکی، با بررسی چند شاخص، میزان فعالیت نسبی نئوتکتونیکی گستره مورد مطالعه برآورد شده و بر اساس نسبت فعالیت زمین‌ساختی تقسیم‌بندی شده است. بر این اساس با بررسی شاخص‌ها و میانگین گرفتن از آن‌ها معلوم شد که گستره دارای فعالیت متوسطی است و این نتیجه توسط بررسی گستره از لحاظ لرزه‌خیزی با استفاده از سایت USGS به تأیید می‌رسد. با توجه به این که حوضه آبریز مورد مطالعه بر روی رخنمون سنگ‌های آتشفشانی قرار دارد؛ در نتیجه یکی از عمده‌ترین عوامل مؤثر در تغییر پارامترهای مورفومتری ویژگی‌های فیزیوگرافیک سنگ‌های آتشفشانی و نوع رخساره‌های آذرآواری است. لذا نتیجه‌گیری برای فعالیت‌های تکتونیکی براساس شاخص‌های مورفومتری در چنین سرزمین‌هایی نیازمند دقت نظر بیشتری است تا استفاده از این شاخص‌ها اطلاعات مناسبی برای بررسی فعالیت گستره در اختیار قرار دهد.

کتابنامه

- آقاباتی، ع؛ ۱۳۸۳. زمین‌شناسی/ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور. <https://gsi.ir/ahwaz/fa/book/166/>
- سامانی، ب؛ چرچی، ع؛ راضی جلالی، ی؛ ۱۴۰۰. تحلیل نوزمین ساخت گسل شوشتر با استفاده از شاخص‌های مورفومتری. زمین‌ساخت. (۴) ۱۳. ۲۱-۱. <https://doi.org/10.22077/JT.2021.1598>
- سمندر، ن؛ روستایی، ش؛ ۱۳۹۵. بررسی تکتونیک فعال حوضه اسکو چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و

شواهد ژئومورفولوژیکی. مخاطرات محیط طبیعی، ۵(۹)، ۵۵-۷۶.

<https://doi.org/10.22111/JNEH.2016.2907>

شفیعی، ا؛ علوی، س. ا؛ نادری میقان، ن؛ ۱۳۸۸. تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۱ (۷۰)، ۷۹-۹۱.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_21523.html?lang=fa.

صلحی، س؛ سیف، ع؛ ۱۳۹۷. مورفومتری پروفیل طولی دره سهند. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۴)، ۵۳-۶۹.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.6.4.4.1>.

علایی مهابادی، س؛ کهنسال، ر؛ قمیان، ی؛ ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی سلفچگان-خورهه (۱:۱۰۰۰۰۰). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کشتگر، ش؛ پرتابیان، ع؛ نظری، م؛ ۱۳۹۹. پارامترهای مورفومتری و منشأ تکتونیک مخروط آتشفشانی توزکی، پهنه چین خورده-رانده سیستان، شرق ایران. زمین‌ساخت، ۴(۱۳)، ۳۹-۲۱.

<https://doi.org/10.22077/jt.2021.1599>.

مددی، ع؛ رضایی مقدم، م. ح؛ رجایی، ع؛ ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه شمال غربی تالش. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، ۱۲۳-۱۳۸.

https://jrg.ut.ac.ir/article_10014.html.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, 229(3-4), 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).

Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. American Journal of Science, 304(1), 1-20. <https://www.ajsonline.org/content/304/1/1.short>.

Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H., & Jones, S. J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. Geophysical Journal International, 184(2), 555-574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.

Amos, C. B., & Burbank, D. W., 2007. Channel width response to differential uplift. Journal of Geophysical Research, 112, F0201. <https://doi.org/10.1029/2006JF000672>.

Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S., & Ahmadi, M., 2010. A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran. Journal of Geodynamics, 50(5), 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.04.006>.

Berberian, M., & King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18(2), 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.

Bull, W. B., & McFadden, L. D., 1980. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, 115-138.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429299230-5/tectonic-geomorphology-north-south-garlock-fault-california-william-bull-leslie-mcfadden>.

Cannon P. J., 1976. Generation of explicit parameter for a quantitative geomorphic study of the Mill Creek drainage basin. Oklahoma Geology Notes, 36(1), 3-16. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7720>

157747.

- Font, M., Amorese, D. & Lagarde, J. L., 2010. Dem and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: the Normandy intraplate area (NW France). *Geomorphology*, 119, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.03.017>.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1–2), 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>.
- Ghasemi, A., & Talbot, C. J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003>.
- Grosse, P., van Wyk de Vries, B., Euillades, P. A., Kervyn, M., & Petrinovic, I. A. (2012). Systematic morphometric characterization of volcanic edifices using digital elevation models. *Geomorphology*, 136(1), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.001>.
- Hack, J. T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, 258(A), 80–97. https://earth.geology.yale.edu/~ajs/1960/ajs_258A_11.pdf/80.pdf
- Hack, J. T., 1973. Stream Profile Analysis and Stream Gradient Index, U.S. Geological. Survey, 1(4), 421–429. <https://pubs.usgs.gov/journal/1973/vol1issue4/report.pdf#page=49>.
- Hancock, P. L., & Williams, G. D., 1986. Neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143(2), 325–326. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.143.2.0323>.
- Hare, P. W., Gardner, T. W., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, 123–134. <https://eurekamag.com/research/019/061/019061959.php>.
- Jain, V., & Sinha, R., 2005. Response of active tectonics on the alluvial Bagmati River, Himalayan foreland basin, eastern India. *Geomorphology*, 70, 339–356. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.012>.
- Keller, E. A., 1986. Investigations of active tectonics: use of surficial earth processes. *Active tectonics*, 1, 136–147. https://www.google.com/books/edition/Active_Tectonics/qaz9KnE2lxQC?hl=en&gbpv=0.
- Keller, E. A., & Pinter, N., 2002. *Active tectonics*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ. https://www.google.com/books/edition/Active_Tectonics/sXASAQAIAAAJ?hl=en.
- Khodaparast, S., Madanipour, S., & Nozaem, R., 2020. Structural evidence on strike slip kinematic inversion of the Kushk-e-Nosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia*, 10 (1), 195–209. <https://doi.org/10.22059/GEOPE.2020.291450.648508>.
- Mayer, L., 1990. *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19911959868>.
- Panizza, M., Castaldini, D., Bollettinari, G., Carton, A., & Mantovani, F., 1987. Neotectonic research in applied geomorphological studies. *Zeitschrift Fur Geomorphologie. Supplementband*, 63, 173–211. <https://iris.unimore.it/bitstream/11380/1081750/1/1987NeotectResearch.pdf>.
- Pike, R. J., Wilson, S. E., 1971. Elevation–relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area–altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079–1084. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)
- Rhoads, B. L., Thorn, C. E., 1996. The Scientific Nature of Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (7), 571–662. <http://geoinfo.amu.edu.pl/wpk/natgeo/preface.pdf>.

- Scheidegger, A. E., 1991. Theory of Aeolian and Desert Features; Theoretical Geomorphology, 400-421. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75659-7_8.
- Stewart, I. S., Sauber, J. & Rose, J., 2000. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. Quaternary Science Reviews, 19(14-15), 1367-1389. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00094-9).
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran. AAPG Bulletin, 52(7), 1229-58. <https://archives.datapages.com/data/bulletns/1968-70/data/pg/0052/0007/1200/1229.htm>.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117-1141. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2).
- Takin, M., 1972. Iranian Geology and Continental Drift in the Middle East. Nature, 235(5334), 147-150. <https://doi.org/10.1038/235147a0>.
- Thorn, C. E., 1988. An Introduction to Theoretical Geomorphology. Boston: Unwin Hyman. 247 p. <https://link.springer.com/book/9789401094436>.
- Turowski, J. M., Lague, D., Crave, A., Hovius, N., 2006. Experimental channel response to tectonic uplift. Journal of Geophysical Research, 111, F03008. <https://doi.org/10.1029/2005JF000306>.
- Wu, Z., & Hu, M., 2019. Neotectonics, active tectonics and earthquake geology: terminology, applications and advances. Journal of Geodynamics, 127, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.01.007>.



Evaluating Ecological Degradation of Kosalan Protected Area using Remote Sensing and GIS

Zahra Jalilian^a, Jamil Amanollahi^{b*}

^a MSc in Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^b Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 23 January 2022

Revised: 20 March 2022

Accepted: 31 March 2022

Abstract

Protected areas are defined as a pattern of land use in the environmental planning process. However, they are excluded from any physical exploitation or their use is conditional. They are no less important than other lands. This study aimed to evaluate the ecological degradation of Kosalan protected area using remote sensing and GIS techniques. Images of two time periods 1989 and 2020 were prepared. For this purpose, after radiometric and atmospheric corrections of NDVI index, changes of vegetation in the region in the two time periods were evaluated. Then, to model the ecological degradation, eight criteria including distance from the village, distance from the road, landslide points, erosion intensity, slope, direction, altitude and vegetation were used. The criteria were weighted by hierarchical analysis process method and standardized by fuzzy model. Vegetation changes at different thresholds were analyzed. According to the vegetation situation in the region, 3 thresholds of 0.1-3, 0.1-1 and 0.1-1 were used. The results of this evaluation showed that the quality and density of vegetation has decreased a lot during 31 years. The results of ecological degradation modeling showed that the most effective criterion in causing degradation is distance from the village. In general, 50% of the area has a high potential for ecological degradation. The results showed that the greatest potential for ecological degradation was in the central areas of the southeast and center of the region, where the slope and altitude are high. The impact of slope is so high in these places.

Keywords: AHP, NDVI, Fuzzy, Modeling, Vegetation Density

* Corresponding author: Jamil Amanollahi

Email: j.amanollahi@uok.ac.ir

Tel: +989379701832

How to cite this Article: Jalilian, Z., Amanollahi, J. (2023). Evaluating ecological degradation of Kosalan protected area using remote sensing and GIS. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 41-61.

DOI: 10.22067/geoh.2022.75467.1184



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75467.1184> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۶۱-۴۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS

زهرا جلیلیان - کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

جمیل امان‌اللهی^۱ - دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۱۱

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان در شهرستان مریوان در استان کردستان با استفاده از فن‌آوری‌های سنجش‌ازدور و GIS انجام شده است. برای این منظور تصاویر دو دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ تهیه گردید. پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک، تغییرات شاخص NDVI که بیان‌کنندهٔ تغییرات پوشش گیاهی در دو بازه زمانی موردبررسی است، مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور مدل‌سازی تخریب اکولوژیکی از ۴ معیار کلی پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و فعالیت‌های انسانی و ۸ زیر معیار شامل فاصله از روستا، فاصله از جاده، محدوده‌های زمین‌لغزش، شدت فرسایش، شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا و پوشش گیاهی استفاده گردید. زیر معیارها با مدل Fuzzy استاندارد شدند و با روش AHP وزن‌دهی گردیدند. تغییرات پوشش گیاهی در آستانه‌های مختلف شاخص NDVI شامل سه آستانه ۰/۳-۱، ۰/۴-۱ و ۰/۱-۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که کیفیت و تراکم پوشش گیاهی دارای روند کاهشی در طول این ۳۱ سال بوده است. نتایج مدل‌سازی پتانسیل تخریب اکولوژیکی نشان داد مؤثرترین معیار در ایجاد تخریب، فاصله از روستا است. به‌طورکلی ۵۰ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل بالای تخریب

Email: j.amanollahi@uok.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۹۷۰۱۸۳۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

جلیلیان، زهرا؛ امان‌اللهی، جمیل؛ ۱۴۰۲. ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. جغرافیا و مخاطرات محیطی. (۱)۱۲. صص ۶۱-۴۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75467.1184>

اکولوژیکی است. نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از مدل‌های دقیق و تجزیه و تحلیل نتایج آن‌ها در محیط GIS می‌تواند روش دقیقی در برآورد پتانسیل تخریب اکولوژیکی مناطق حفاظت شده باشد. کلیدواژه‌ها: AHP، NDVI، فازی، مدل‌سازی، تراکم پوشش گیاهی.

۱- مقدمه

مناطق حفاظت شده به عنوان نوعی الگوی کاربری زمین در فرآیند برنامه‌ریزی محیط‌زیست تعیین شده است. اگرچه بهره‌برداری فیزیکی از مناطق حفاظت شده انجام نمی‌شود و یا استفاده از آن‌ها به صورت مشروط صورت می‌گیرد. اهمیت آن‌ها کمتر از ارزش‌های سایر کاربری‌های دیگر نیست؛ زیرا این مناطق پشتوانه حمایتی مهمی برای بسیاری از زمینه‌ها از جمله حفظ تنوع زیستی و توسعه پایدار کشاورزی به شمار می‌روند (روشن، ۱۳۹۷). با توجه به افزایش تقاضا و تشدید کاربری زمین توسط انسان‌ها، انتظار می‌رود که تغییرات کاربری زمین، مهم‌ترین عامل ایجاد تغییر در تنوع زیستی در آینده باشد (والز^۱، ۲۰۱۱) ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی^۲ ناشی از اختلال مستمر انسان در فرآیندهای طبیعی و محیطی، توجه زیادی را در جهان به‌ویژه در زمینه تغییرات آب‌وهوایی به خود اختصاص داده است (فراسر^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). امروزه فن‌آوری سنجش‌ازدور به عنوان جایگزینی برای روش‌های نمونه‌برداری سنتی پر هزینه و وقت‌گیر به کار می‌رود (اسلونکر^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ محمود^۵ و همکاران، ۲۰۱۷؛ منزو^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعاتی در این زمینه انجام شده که می‌توان به پژوهش ادی^۷ و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که به بررسی ترکیب سنجش‌ازدور و دانش زیست‌محیطی محلی برای نظارت بر پویایی مراتع قرقیزستان پرداختند. شاخص‌های پوشش گیاهی (مانند NDVI)، یا شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده) که از تصاویر مناطق دور افتاده به دست آمده بودند، اغلب برای نظارت بر مراتع مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که دانش بوم‌شناسی محلی یک منبع با ارزش از اطلاعات و مکملی برای فن‌آوری سنجش‌ازدور است. جینگ^۸ و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه با شاخص NDVI را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مقاله آن‌ها از تصاویر Landsat5 (TM^۹) در سال ۲۰۰۷ و تصویرگر زمین عملیاتی Landsat8 (OLI^{۱۰}) در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ استفاده کردند تا شاخص‌هایی از قبیل سبز بودن، مرطوب بودن، گرما و خشکی را

1 Walz

2 Ecological vulnerability evaluation

3 Fraser

4 Slonecker

5 Mahmood

6 Manzo

7 Eddy

8 jing

9 Thematic Mapper

10 Operational Land Imager

استخراج کنند که منعکس کننده کیفیت زیست محیطی منطقه خشک بود. نتایج نشان داد که سبز بودن و رطوبت تأثیرات مثبتی بر محیط زیست دارد، در حالی که گرما و خشکی اثرات منفی دارند. **اکس یو^۱ و همکاران (۲۰۱۸)** به بررسی پیش بینی اثرات زیست محیطی جمعیت بالقوه و سطح غیر قابل نفوذ با استفاده از شاخص اکولوژیکی مبتنی بر سنجش از دور ($RSEI^2$) در چین پرداختند. پیش بینی این تأثیر به اطلاع رسانی در مورد برنامه ریزی شهری و تصمیم گیری در مورد رشد جمعیت، افزایش سطح غیر قابل نفوذ (IS) و اثرات زیست محیطی مرتبط کمک کرد. **جیانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸)**، روش ارزیابی آسیب پذیری زیست محیطی در اثر تغییر آب و هوا بر اساس سنجش از دور، در چین مطالعه موردی انجام داده اند. روش پیشنهادی مبتنی بر تعریف چارچوب $IPCC^4$ و سنجش از دور بوده است. نتایج نشان داد که آسیب پذیری زیست محیطی در چین متوسط یا زیاد است و تغییرات منطقه ای مشخصی در توزیع مکانی دارد. **شن^۵ و همکاران (۲۰۱۹)** مطالعه ای با عنوان سنجش از دور و ارزیابی تخریب اکولوژیکی تالاب در چین انجام داده اند سنجش از دور برای ردیابی روند تخریب اکولوژیکی در طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از سه جنبه و در سه سطح استفاده شد. برای ارزیابی میزان تخریب تالاب از لحاظ کمی، از یک فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP^6) بر اساس پنج شاخص استفاده شد: نرخ تغییر منطقه تالاب، بعد فراکتال چشم انداز، تکه تکه شدن چشم انداز، زیست توده گیاهی و پوشش گیاهی. به طور خلاصه، شدیدترین تخریب تالاب در سال ۲۰۰۵ بود. در طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰، الگوی تخریب مکانی تالاب Zoige از شمال شرقی به جنوب غربی پیشرفت کرده بود. **هلوی^۷ و همکاران** در سال ۲۰۱۶ در مطالعه ای از منطق فازی برای ترسیم نقشه برای میزان تولید هوموس در مناطق کوهستانی ایتالیا استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که منطق فازی برای ترسیم نقشه های مبتنی بر تعداد داده کم و دارای عدم قطعیت و در مناطق ناهمگن مناسب است. **تان^۸ و همکاران (۲۰۱۹)** به بررسی شاخص ارزیابی ریسک زیست محیطی جدید و مستقیم برای تخریب محیط زیست بر اساس رویکرد منحنی پاسخ و داده های سنجش از دور پرداختند؛ و بیان کردند که اکوسیستم ها با تشدید فعالیت های انسانی و تغییرات آب و هوایی در جهان در معرض خطر تخریب محیط زیست قرار دارند. **آرخی و همکاران (۱۴۰۰)** به بررسی کاهش پوشش جنگلی شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی، از طریق تصاویر سنجنده MSS، ETM+ و OLI مربوط به سال های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷ پرداختند. تصاویر ذکر شده مورد پیش پردازش و پردازش قرار دادند و به دو طبقه جنگل و غیر جنگل طبقه بندی کردند. نتایج نشان داد که در طول ۴۱ سال حدود ۳۳۷۲۱ هکتار از سطح جنگل های شهرستان سردشت کاسته شده

1 Xu

2 Risk-Screening Environmental Indicators

3 Jiang

4 Intergovernmental Panel on Climate Change

5 Shen

6 Analytical Hierarchy Process

7 Hellwig

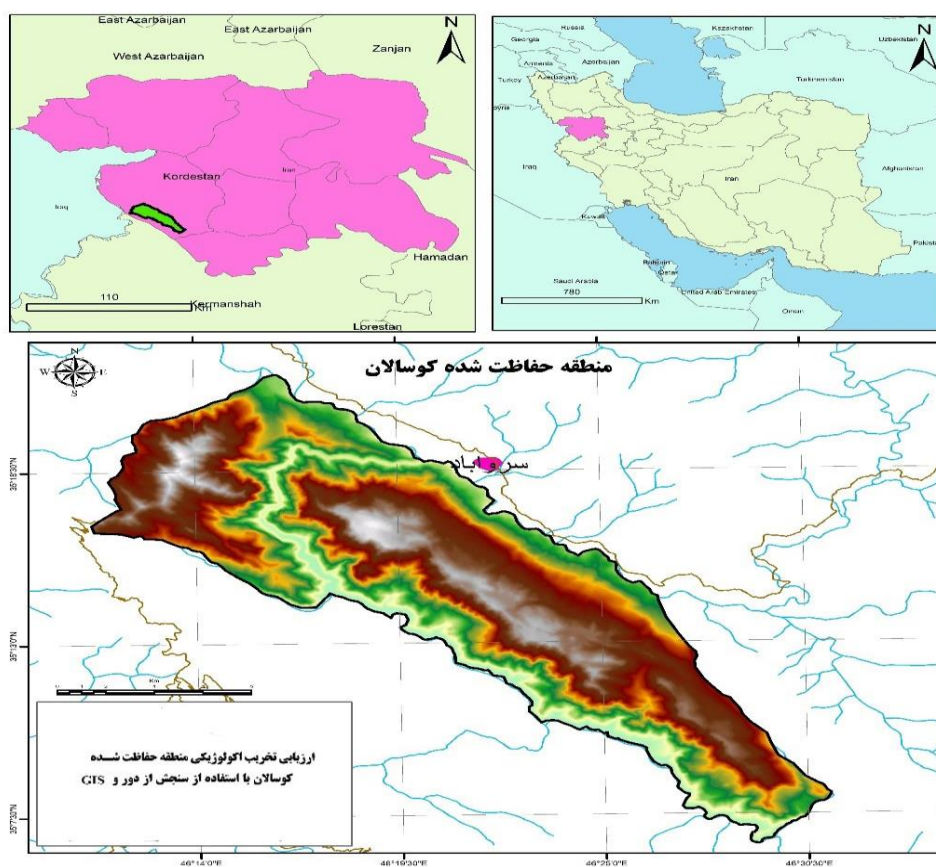
8 Tan

است. با توجه به نتایج مشخص شد که از متغیرهای توپوگرافی، پارامترهای فاصله از جاده و فاصله از روستا بر میزان تخریب جنگل بیشترین تأثیر را داشته‌اند. همان‌طور که مطالعات انجام شده نشان داد فن‌آوری سنجش‌ازدور و بررسی معیارهای مختلف و مدل‌سازی آن به کمک مدل‌های چند معیاره مانند AHP و منطق فازی می‌تواند در شناسایی تخریب اکولوژیک مناطق مختلف مؤثر باشد. لذا در این تحقیق مدل‌سازی تخریب اکولوژیک در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل‌های منطق فازی و AHP انجام برای منطقه حفاظت شده کوسالان انجام شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در غرب ایران، استان کردستان و در شهرستان مریوان قرار گرفته است. کوسالان در محدوده طول‌های جغرافیایی $35^{\circ} 21' 56''$ تا $35^{\circ} 26' 37''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $46^{\circ} 30' 27''$ تا $46^{\circ} 11' 26''$ شمالی با مختصات UTM، زون ۳۸ شمالی با مساحتی برابر ۲۵۷۶۴ هکتار در ۱۷ کیلومتری جنوب شرقی شهر مریوان (مابین شهرهای سروآباد- مریوان و پاوه) قرار گرفته است (شکل ۱). هم‌چنین بخشی از این منطقه در استان کرمانشاه واقع شده است که این مطالعه بخش کوسالان را در بر گرفته که مساحت آن ۲۶ هزار هکتار است در این منطقه تاکنون ۱۱۷ گونه پرنده، ۲۳ گونه پستاندار، ۱۷ گونه خزنده و ۲۴۲ گونه گیاهی شناسایی شده است. مهم‌ترین پوشش گیاهی این منطقه شامل جنگل‌های بلوط است. گونه‌های شاخص جانوری شامل: سیاه‌گوش، کل و بز، خرس قهوه‌ای، پلنگ، کرکس، هما و عقاب طلایی است (دیده بان محیط‌زیست و حیات وحش، ۱۳۹۱).



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده‌ها

انواع داده‌های مورد استفاده در این مطالعه و مأخذ و مشخصات آن‌ها در **جدول شماره ۱** نشان داده شده است. در این مطالعه نقشه روستاها، جاده‌ها، نقاط زمین لغزش، فرسایش و DEM^1 از سازمان نقشه برداری کشور تهیه گردید، همچنین تصاویر ماهواره‌ای منطقه از وبسایت سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود و تصحیحات مربوطه جهت استخراج اطلاعات بر روی آن‌ها انجام شد (**جدول ۱**).

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده و مشخصات آن‌ها

داده	مأخذ داده	فرمت داده	مقیاس داده	دوره زمانی	سال اخذ داده
DEM	سازمان نقشه برداری	رس تر	۲۰*۲۰ متر		۱۳۹۹
تصاویر	وبسایت زمین شناسی آمریکا (SRTM)	رس تر	۳۰*۳۰ متر	۱۹۸۹-۲۰۲۰	۲۰۲۰
پوشش گیاهی	سازمان جنگل‌ها و مراتع	برداری (وکتور)	۱/۲۵۰۰۰۰		۱۳۹۹

1 Digital Elevation Map

داده	مأخذ داده	فرمت داده	مقیاس داده	دوره زمانی	سال اخذ داده
روستاها	سازمان نقشه برداری	برداری (وکتور)	۱/۲۵۰۰۰۰		۱۳۹۹
جاده‌ها	سازمان نقشه برداری	برداری (وکتور)	۱/۲۵۰۰۰		۱۳۹۹
نقاط زمین لغزش	سازمان نقشه برداری	برداری (وکتور)	۱/۲۵۰۰۰۰		۱۳۹۹
فرسایش	سازمان نقشه برداری	برداری (وکتور)	۱/۲۵۰۰۰۰		۱۳۹۹

۲-۳- روش شناسی

۲-۳-۱- پایش تغییرات پوشش گیاهی

برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. ابتدا تصاویر دو دوره زمانی ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ از ماهواره منابع زمینی Landsat دانلود شده و پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری با استفاده از روش-های (FLAASH -Drak subtract) با شاخص NDVI تغییرات پوشش گیاهی دو دوره بررسی شد. به منظور کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده و آگاهی از اینکه خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک تا چه حد در تصحیح سیستمی برطرف شده یا باقیمانده است، داده‌ها مورد بررسی و مشاهده قرار گرفتند. پس از نمایش باندها به صورت تک باندی و ترکیبات رنگی مختلف با استفاده از نرم‌افزارهایی که قابلیت نمایش و بزرگنمایی بالایی دارند، به کمک بزرگنمایی آن‌ها در بخش‌های مختلف تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتری نظیر راه راه شدگی، خطای زیر هم قرارگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های دوبله و همچنین اثرات اتمسفری نظیر ابر مورد بررسی قرار گرفتند (نظم‌فر و همکاران، ۱۴۰۰).

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

دوره زمانی	ماهواره	سنجنده	ماه	رزولوشن
۱۹۸۹	Landsat	TM	اواخر ژوئن	۳۰*۳۰ متر
۲۰۲۰	Landsat	OLI	اواخر ژوئن	۳۰*۳۰ متر

تصاویر دو دوره زمانی با فاصله ۳۱ سال در ماه ژوئن (کیفیت تصویر در این ماه به علت وجود پوشش گیاهی و همچنین عدم وجود ابر بهتر است)، دانلود و تصاویر هر دو دوره در یک ماه برداشت شد تا تغییرات پوشش گیاهی در تراکم مشابه در دو دوره مختلف، به خوبی قابل قیاس باشند (جدول ۲).

۲-۳-۲- مدل سازی تخریب اکولوژیکی

در این بخش با استفاده از ۸ زیر معیار به ارزیابی تخریب اکولوژیکی پرداخته شد. ابتدا زیر معیارها در محیط نرم افزار ArcGIS 10.7 آماده سازی شدند و سپس با استفاده از منطق فازی استاندارد شدند. برای وزن دهی به معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. معیارهای مورد استفاده طبق **جدول ۳** در این مدل سازی استفاده شدند. این معیارها بر اساس مرور تحقیقات در این زمینه و ارتباط آن ها با وضعیت اکولوژیکی انتخاب شدند. معیارهای دیگری نیز در سایر تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته بودند که با بررسی وضعیت جغرافیایی منطقه، آن ها حذف شدند. معیارهای مهمی که از مدل سازی حذف شدند شامل اقلیم و تغییر کاربری اراضی بودند که معیار اقلیم با توجه به اقلیم یکسان حذف گردید. تغییر کاربری نیز با استفاده از طبقه بندی نظارت شده تصاویر ماهواره لندست و همچنین استفاده از سامانه گوگل ارث در دامنه زمانی مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت که در هر دو روش به دلیل کوهستانی بودن و توپوگرافی بسیار سخت آن تغییر کاربری اراضی مشاهده نشد. سایر معیارها با توجه به اهمیت آن ها و کاربرد در مدل تخریب مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۳- معیارهای مورد استفاده در مدل سازی تخریب اکولوژیک

ردیف	معیار	زیر معیار	منبع
۱	پوشش	پوشش گیاهی NDVI	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴
۲	زمین شناسی	فاصله از نقاط زمین لغزش	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		فرسایش	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴
۳	فیزیوگرافی	شیب	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		جهت	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		ارتفاع	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
۴	فعالیت انسانی	فاصله از روستا	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		فاصله از جاده	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵

۲-۳-۲-۱- فازی سازی لایه ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی

هدف از استاندارد سازی لایه ها، همسان نمودن آن ها برای به کارگیری در سامانه پشتیبان تصمیم گیری مورد استفاده است که در این تحقیق مدل تخریب اکولوژیک است. در این مدل سازی معیارهای مورد استفاده با منطق فازی استاندارد سازی شد. با استفاده از مبانی تئوری فازی، که هر موضوع یا مفهومی دارای یک درجه عضویت است، می توان روش مناسبی جهت طبقه بندی و رتبه گذاری نسبت به روش بولین ارائه کرد (مالانو و گائو، ۱۹۹۲). در

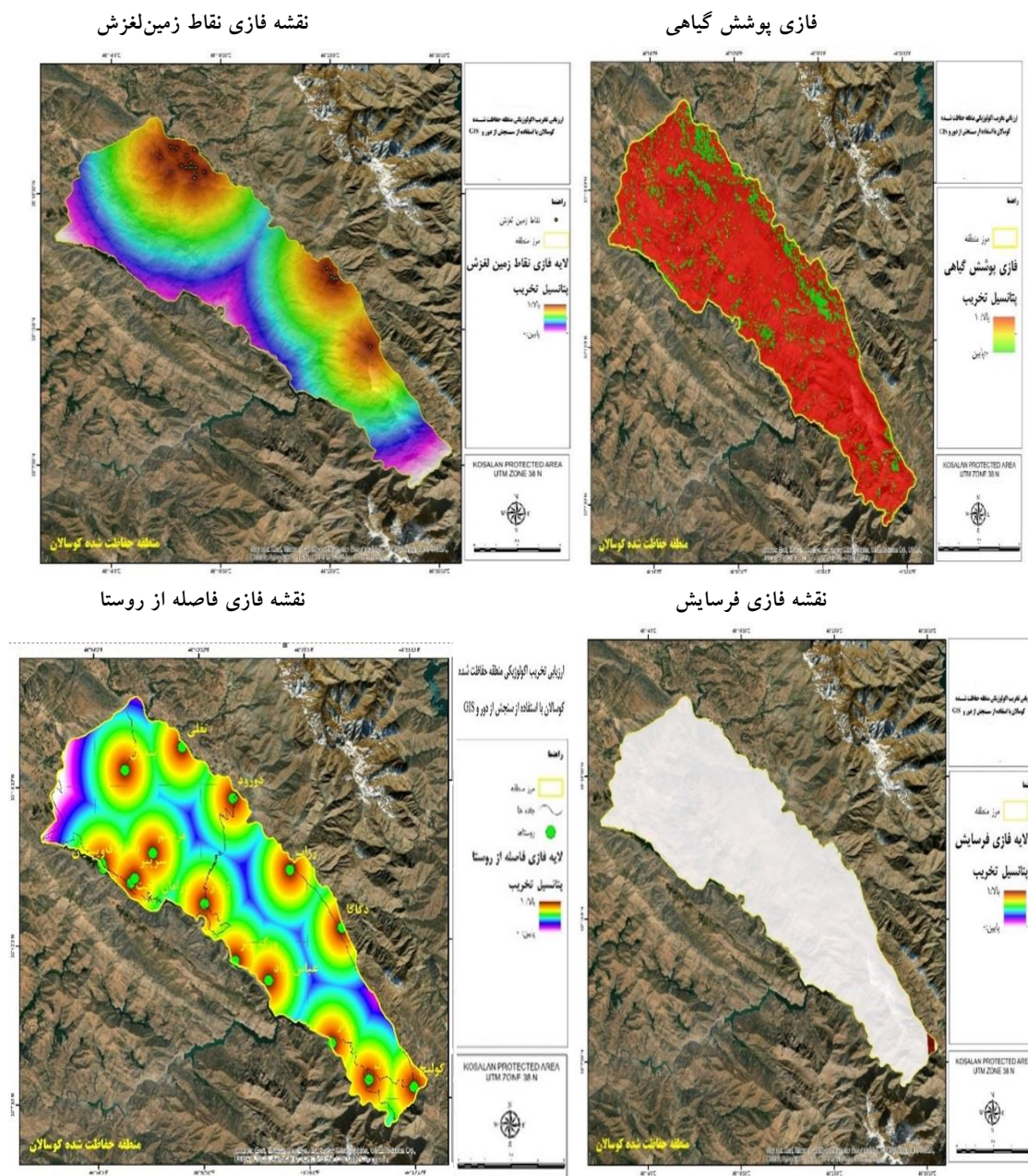
جدول ۴ لایه‌ها و توابع فازی مورد استفاده برای استانداردسازی آن‌ها و هم‌چنین نقاط کنترلی (control point) و نقطه وسط (midpoint) نشان داده شده است.

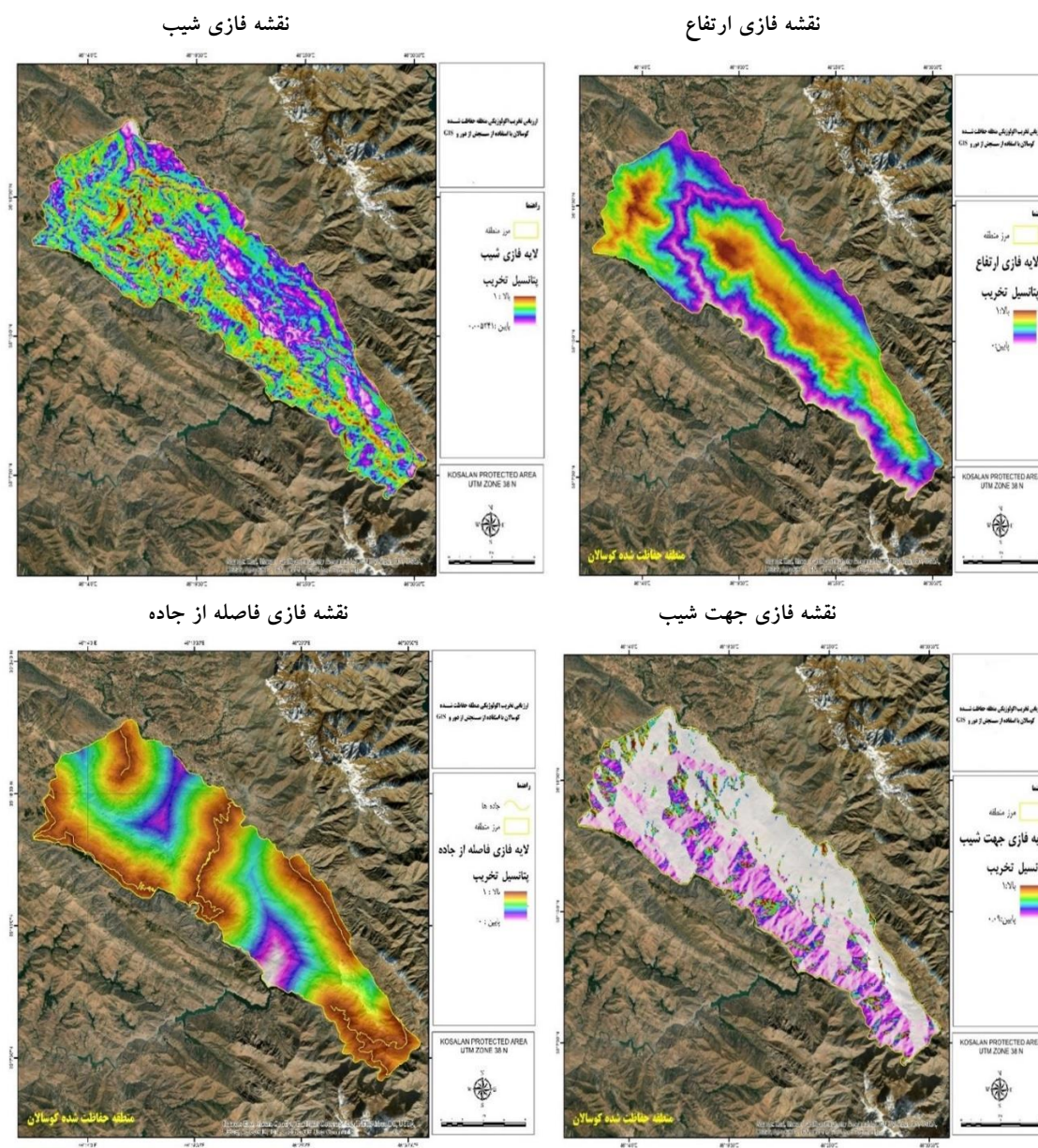
جدول ۴- استانداردسازی لایه‌های مدل تخریب اکولوژیکی

ردیف	معیار	زیرمعیار	تابع فازی	نقطه کنترلی ۱	نقطه وسط	نقطه کنترلی ۲
۱	پوشش	پوشش گیاهی NDVI	خطی افزایشی	۰/۱		۰/۹
۲	زمین	فاصله از نقاط زمین لغزش	خطی کاهشی	۱۰ ک.م		۰
۳		فرسایش	خطی افزایشی	۱		۳
۴	فیزیوگرافی	شیب	خطی افزایشی	۱		۷۵
۵		جهت	Near		۳۱۵	
۶		ارتفاع	خطی افزایشی	۸۰۰		۲۶۰۰
۷	انسانی	فاصله از روستا	خطی کاهشی	۶ ک.م		۰
۸		فاصله از جاده	خطی کاهشی	۱۰ ک.م		۰

برای تعدادی از معیارها از تابع عضویت فازی خطی استفاده شده است. این معیارها با توجه به ماهیت لایه جغرافیایی و هم‌چنین ارتباط با مدل اکولوژیکی با این تابع استاندارد شده‌اند. به‌عنوان مثال لایه فاصله از روستا، از تابع خطی کاهنده استفاده شده است. بدین معنی که هر چه فاصله از روستا بیشتر باشد میزان پتانسیل تخریب اکولوژیک کمتر است و هر چه فاصله کمتر باشد پتانسیل تخریب بیشتر است؛ که این با تابع خطی کاهنده مطابقت دارد. نقاط کنترلی نیز با توجه به تابع فاصله اقلیدسی به دست آمده است که از صفر شروع می‌شود و تا دورترین نقطه مرز منطقه از روستاهای موجود است. بیشترین فاصله از روستا تا مرز منطقه کوسالان، شش کیلومتر است. این تابع برای هفت زیر معیار به‌صورت کاهش و افزایشی استفاده شده است. برای زیر معیار جهت شیب از تابع عضویت نزدیک (NEAR) استفاده شده است که تابعی شبیه تابع گوسین یا توزیع نرمال است و دارای نقطه وسط است. با معرفی نقطه وسط به‌عنوان با ارزش‌ترین نقطه یا با بیشترین پتانسیل تخریب در این مطالعه، هر چه از این نقطه به طرفین فاصله بگیریم ارزش یا پتانسیل تخریب آن کاسته می‌شود. با توجه به اینکه جهت جغرافیایی با میزان دریافت تابش خورشید و میزان تبخیر و سپس آب قابل دسترس برای پوشش گیاهی و رطوبت ارتباط مستقیم دارد، بنابراین نقطه ۳۱۵ درجه که جنوب غربی هست به‌عنوان بالاترین پتانسیل تخریب به تابع نزدیک معرفی شده است و نقطه وسط ۰/۰۰۱ نیز به‌عنوان میزان پخش شدگی (Spread) آن که بیشترین میزان پخش شدگی در این تابع است، معرفی شد. توابع عضویت تمامی معیارها در **جدول ۴** آمده است.

در شکل شماره ۲ تصویر خروجی لایه‌هایی که در نرم‌افزار GIS استانداردسازی شده با مدل فازی آمده است.





شکل ۲- نقشه فازی معیارهای استفاده شده

۲-۳-۲-۲- وزن دهی به معیارها با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP

جهت بیان اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر، باید این معیارها وزن دهی شوند. در ادبیات تصمیم چند معیاری، روش هایی نظیر رتبه بندی، درجه بندی، مقایسه دو به دو و تحلیل موازنه- جایگشتی در وزن دهی معیار بر پایه قضاوت های تصمیم گیران ارائه شده است. در صورتی که زمان و هزینه کم و به دست آوردن وزن ها به طریق

آسان مهم‌ترین مسئله باشد، یکی از روش‌های رتبه‌بندی یا نسبتی توصیه می‌شود؛ اما هنگامی که دقت، اساس کار مسئله باشد، روش مقایسه دوتایی و یا محیط‌زیست تحلیل توازن مناسب است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در این مطالعه پرسشنامه‌ها بین متخصصان منابع طبیعی و محیط‌زیست پخش شد و نتایج با نرم‌افزار Export choise مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که در **جدول شماره ۵** نشان داده شده است و در پایان نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ به دست آمد.

جدول ۵- اوزان معیارها

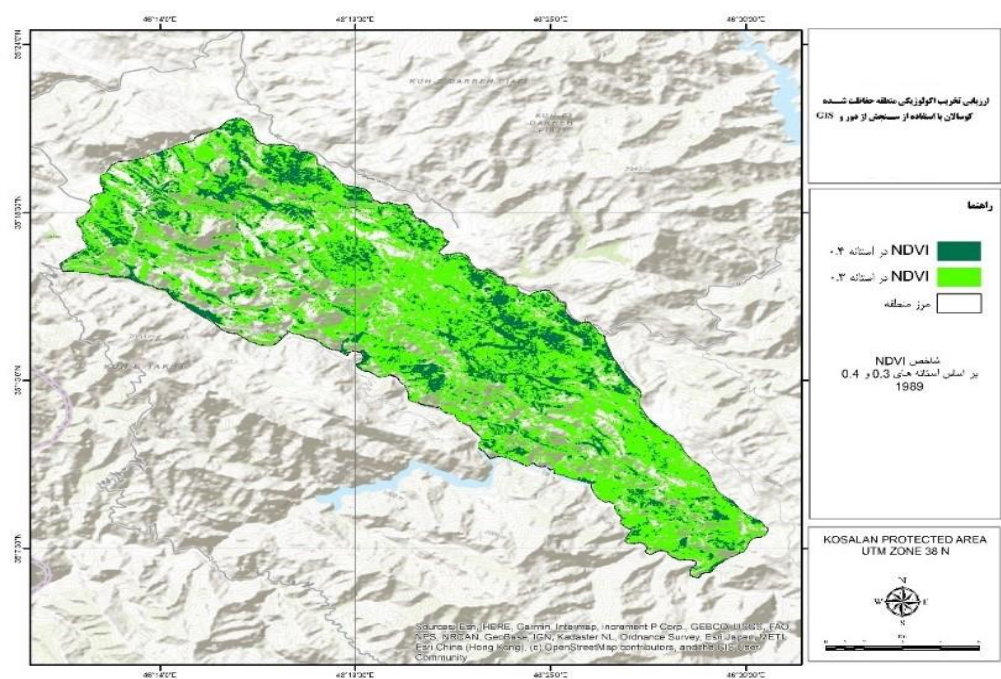
ردیف	نام معیار	وزن بر اساس روش AHP
۱	فاصله از روستا	۰/۱۸۹
۲	پوشش گیاهی	۰/۱۶۷
۳	فاصله از جاده	۰/۱۵۶
۴	نقاط زمین لغزش	۰/۱۰۹
۵	فرسایش	۰/۰۹۹
۶	شیب	۰/۰۹۸
۷	جهت	۰/۰۹۳
۸	ارتفاع	۰/۰۸۹

در مرحله آخر برای تولید نقشه نهایی پتانسیل تخریب لایه‌های تولید شده در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی روی هم‌گذاری می‌شوند.

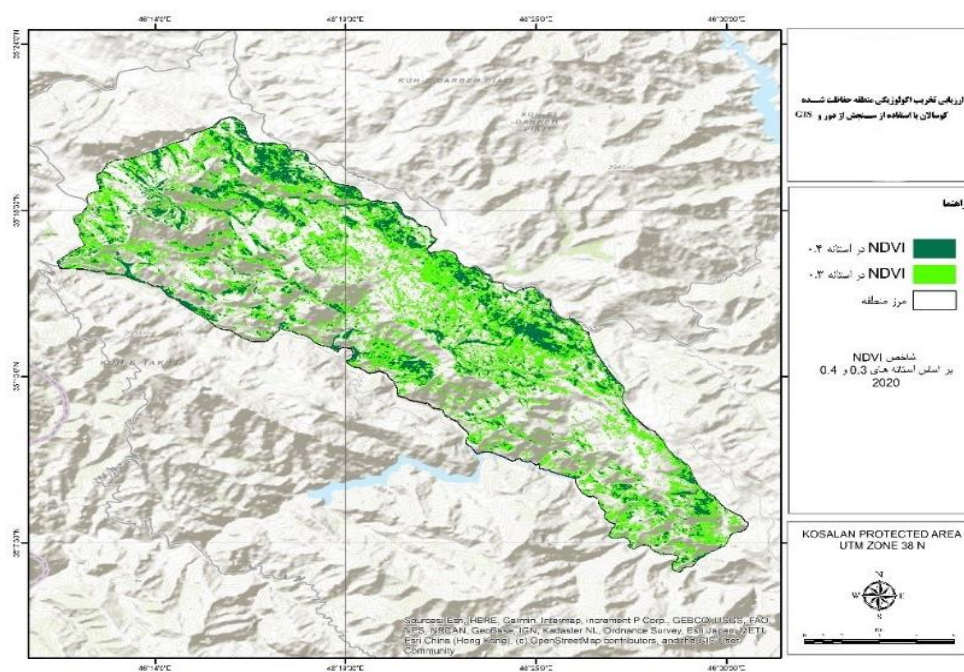
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج پوشش گیاهی با شاخص NDVI

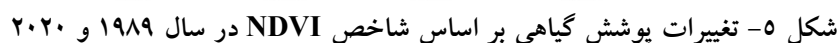
همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان پوشش گیاهی برای دو آستانه ۰/۳-۱ و ۰/۴-۱ در سال ۱۹۸۹ نشان داده شده است. آستانه ۰/۴-۱ پوشش با کیفیت را نشان می‌دهد و آستانه ۰/۳-۱ پوشش با کیفیت کمتر از آستانه ۰/۴-۱ را نشان می‌دهد (براتکومار^۱ و محمد ۲۰۱۵).



شکل ۳- پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در سال ۱۹۸۹



شکل ۴- پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در سال ۲۰۲۰



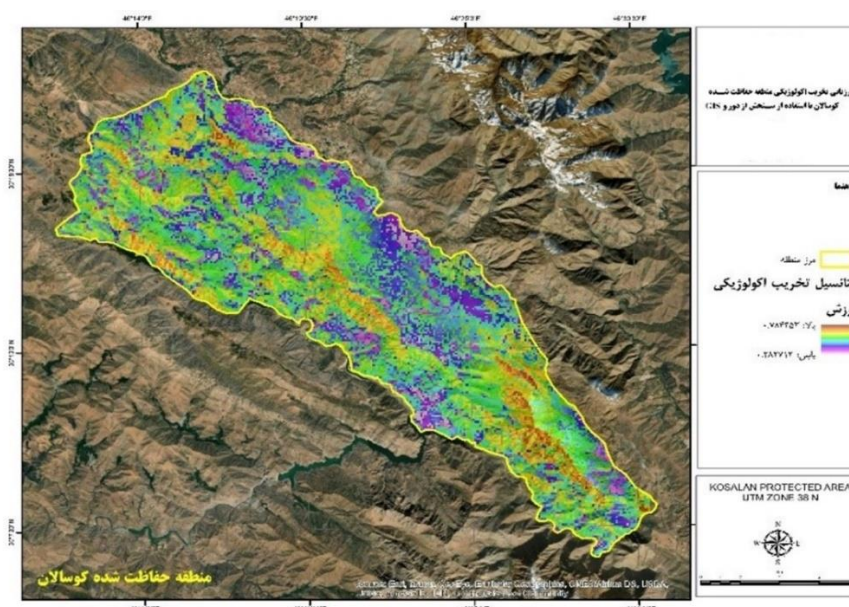
- 1 Zhang
- 2 Pravalie
- 3 Li
- 4 Jiang
- 5 Gillespie

آن‌ها نیز کاهش NDVI را در سطح منطقه نشان داد و همچنین آن‌ها بیان داشتند که فن‌آوری سنجش‌ازدور برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی قابل‌اعتماد است. از آنجایی که محدوده طیفی Landsat 8 OLI باریک‌تر از Landsat 4-5 TM است، NDVI مشتق شده از این ماهواره‌ها مقادیر متفاوتی دارد. باریک بودن محدوده طیفی سنجنده OLI سبب می‌شود که مقدار NDVI را در مقایسه با ماهواره Landsat 4-5 TM بیشتر نشان دهد. با توجه به این امر که یکی از تصاویر مورد استفاده در این مطالعه تصویر Landsat 4-5 TM است (سال ۱۹۸۹) و تصویر دیگر تصویر ماهواره Landsat 8 OLI (سال ۲۰۲۰) است؛ لذا برای حل این مشکل، شاخص‌های این دو سنسور باید کالیبره شوند (Gooshbor et al., 2016)؛ اما با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص NDVI در سال ۲۰۲۰ که از نظر دامنه عددی کمتر از سال ۱۹۸۹ است می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کیفیت اکولوژیک منطقه شدید بوده و با توجه به عدم افزایش شاخص NDVI در سال ۲۰۲۰ نیازی به انجام کالیبراسیون نیست.

۳-۲- پهنه‌بندی پتانسیل تخریب اکولوژیک

در این بخش لایه‌های استاندارد شده مرحله قبلی همراه با وزن آن‌ها روی هم گذاری شده و نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حاصل شد. این کار با دستور map algebra و با کد زیر اجرا می‌شود.

("لایه فازی پوشش گیاهی" * ۰/۱۶۷) + ("لایه فازی ارتفاع" * ۰/۰۸۹) + ("لایه فازی شیب" * ۰/۰۹۸) +
 ("لایه فازی فاصله از جاده" * ۰/۱۵۶) + ("لایه فازی جهت شیب" * ۰/۰۹۳) + ("لایه فازی فرسایش" * ۰/۰۹۹) +
 ("لایه فازی نقاط زمین لغزش" * ۰/۱۰۹) + ("لایه فازی فاصله از روستا" * ۰/۱۸۹)



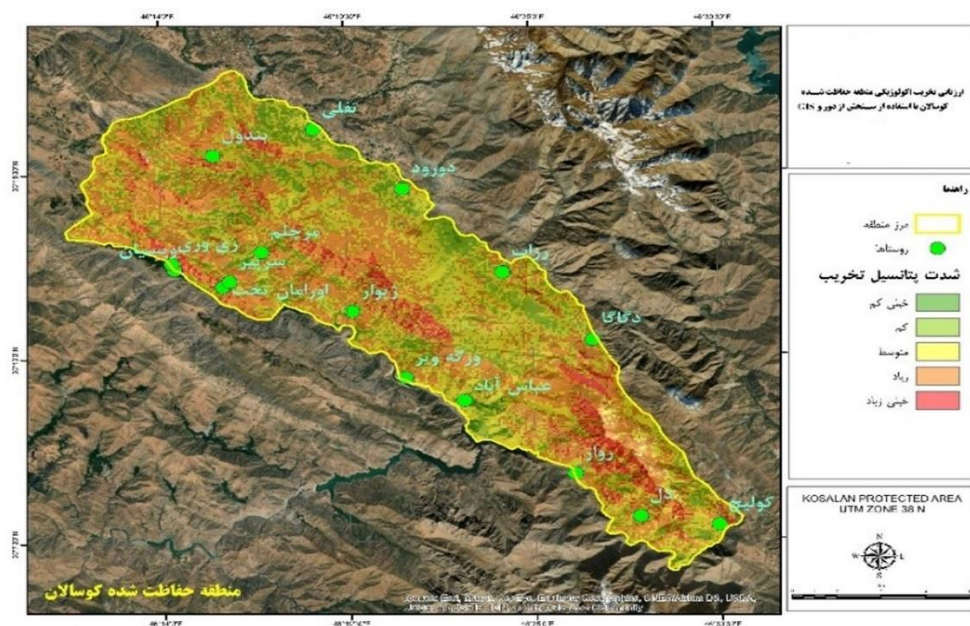
شکل ۶- نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی

در این مطالعه با توجه به روش استانداردسازی بر اساس ماهیت تحقیق، هر چه ارزش سلول بالاتر باشد، پتانسیل تخریب بالاتر و هر چه ارزش سلول پایین تر باشد پتانسیل تخریب پایین تر است. در شکل شماره ۶ نقشه پتانسیل تخریب منطقه نشان داده شده است. بر اساس عملکرد تابع ارزش بین ۰/۲۸ تا ۰/۷۸ به دست آمده است. مناطق با پتانسیل تخریب کم، سمت ارزش کم بوده و مناطق با پتانسیل تخریب بالا، سمت ارزش زیاد می باشند. همان طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، پتانسیل تخریب در منطقه به ۵ طبقه تقسیم شده است:

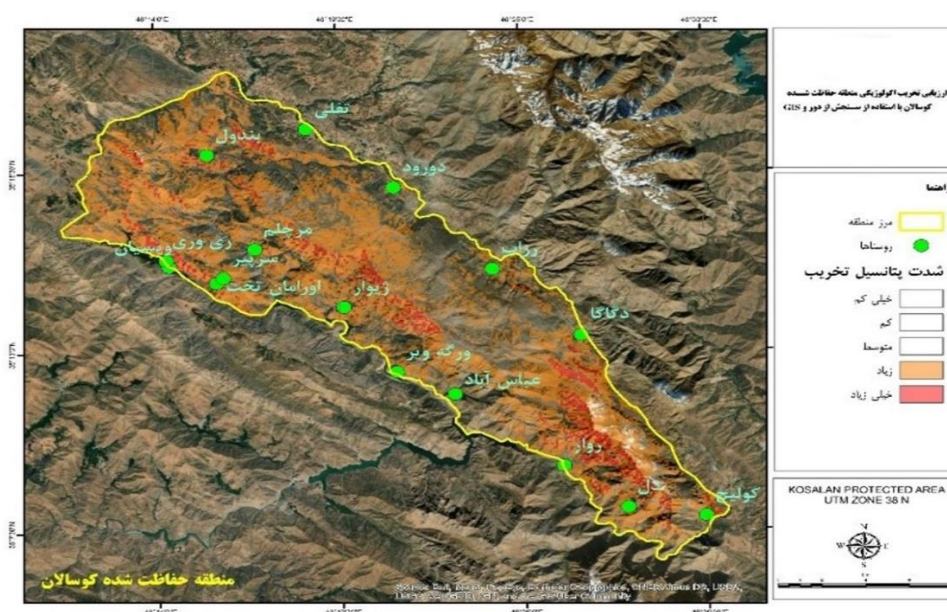
جدول ۶- نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی

پتانسیل تخریب اکولوژیک	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی کم	۱۷۶	۰/۶۶
کم	۳۵۹۵	۱۳/۵۶
متوسط	۹۴۸۱	۳۵/۷۷
زیاد	۱۱۵۷۷	۴۳/۶۸
خیلی زیاد	۱۶۲۰	۶/۱۱

۱۷۶ هکتار دارای پتانسیل تخریب اکولوژیک خیلی کم، ۳۵۹۵ هکتار تخریب کم، ۹۴۸۱ هکتار تخریب متوسط، ۱۱۵۷۷ هکتار تخریب زیاد و ۱۶۲۰ هکتار دارای پتانسیل تخریب خیلی زیاد می باشند. هم چنین میزان پتانسیل تخریب به صورت درصدی، ۰/۶۶ درصد تخریب خیلی کم، ۱۳/۵۶ درصد تخریب کم، ۳۵/۷۷ درصد تخریب متوسط، ۴۳/۶۸ درصد تخریب زیاد و ۱۱/۰۶ درصد تخریب خیلی زیاد هست. در شکل ۷ مناطق با بالاترین پتانسیل تخریب به رنگ قرمز نشان داده شده است. این مناطق بیشتر در سمت شمال غرب منطقه قرار گرفته اند. هم چنین بخشی از این مناطق در جنوب شرق و هم جوار با روستاها و جاده های ارتباطی آنها واقع شده است. مناطق سبز رنگ دارای کمترین و مناطق قرمز رنگ دارای بالاترین پتانسیل تخریب می باشند.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تخریب اکولوژیکی



شکل ۸- نقشه پهنه‌های با پتانسیل تخریب اکولوژیکی بالا

در شکل ۸ دو طبقه با پتانسیل بالا به صورت جدا نشان داده شده‌اند. هدف از این کار معرفی پهنه‌های با پتانسیل تخریب بالا و معرفی آن‌ها برای تحقیقات بیشتر در این پهنه‌ها و ارائه برنامه مدیریتی هست. به‌طور کلی ۵۰ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل بالای تخریب اکولوژیکی است. محققین زیادی تخریب اکولوژیکی را در محیط‌های

مختلف شامل مناطق بیابانی (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲)، مناطق حفاظت شده (نعمت‌اللهی^۲ و همکاران ۲۰۲۲، لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲)، محیط‌های شهری (فنگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱) و به‌صورت کلی‌تر در کشورهای توسعه یافته G-7 (عثمان^۵ و همکاران، ۲۰۲۱) بررسی کرده‌اند. در همه این مطالعات کیفیت اکولوژیک کاهش داشته است و یا در بهترین حالت ممکن در قسمت‌هایی که دور از دسترس فعالیت‌های انسانی بوده ثابت و بدون تغییر بوده است به‌صورت ویژه مطالعه نعمت‌اللهی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که فعالیت‌های انسانی مانند خطوط حمل‌ونقل جاده سبب شده که مناطق مناسب برای زندگی حیات‌وحش در مناطق حفاظت شده استان چهارمحال بختیاری در ایران دارای ریسک بالا و متوسط باشد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر در اثرگذاری بالای فاصله از جاده در تخریب اکولوژیک منطقه همخوانی دارد در این راستا امامی و شهریار (۱۳۹۸) نیز نشان دادند که عامل نزدیکی به جاده بیش‌ترین سهم را در ایجاد وقوع آتش‌سوزی در منطقه حفاظت‌شده ارسباران دارد. یکی دیگر از نتایج پژوهش حاضر اثرگذاری نزدیکی به مراکز جمعیتی یا همان روستاهای منطقه در افزایش میزان تخریب اکولوژیکی است که این نتایج با نتایج گرانادوس^۶ و همکاران در سال ۲۰۲۲ و شیرمحمدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطابقت دارد. گرانادوس و همکاران ۲۰۲۲ در مطالعه تغییرات پوشش گیاهان در معرض خطر انقراض را با استفاده از شاخص NDVI در مناطق حفاظت شده جنوب اروپا موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر عدم تغییر پوشش در مناطق بدون دخالت انسان بود. شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه اثرات توسعه را بر منطقه حفاظت شده کرکس بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین معضلات منطقه بوده و بیشترین تأثیر را در تخریب این مناطق داشته است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت استفاده از فناوری سنجش‌ازدور در کنار استفاده از مدل‌های Fuzzy و AHP در محیط GIS روش دقیقی برای برآورد پتانسیل تخریب اکولوژیکی در مناطق حفاظت شده است.

۴- جمع‌بندی

این تحقیق با هدف ارزیابی تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS انجام شده است. ابتدا به‌منظور تغییرات پوشش گیاهی از فن‌آوری سنجش‌ازدور استفاده شد. تصاویر دو دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Envi 5.3 مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس به‌منظور مدل‌سازی تخریب اکولوژیک از ۸ زیر معیار استفاده شد. با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند و با

1 Liu

2 Nematollahi

3 Li

4 Feng

5 Usman

6 Granados

منطق فازی استاندارد شدند. با روی هم گذاری لایه‌ها نقشه پتانسیل تخریب اکولوژی تهیه و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بر اساس شاخص NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) که یک شاخص گرافیکی ساده است که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد، تغییرات پوشش گیاهی در آستانه‌های مختلف بررسی و تحلیل شد. با توجه به وضعیت پوشش گیاهی در منطقه از ۳ آستانه برای این امر استفاده شد. آستانه ۰/۳-۱، ۰/۴-۱ و ۰/۱-۱ استفاده شد. نتایج آستانه ۰/۱ تا ۱ شاخص NDVI نشان داد که منطقه مورد مطالعه در طول ۳۱ سال میزان تخریب و یا تبدیل مراتع به دیم‌زار خیلی کمی داشته است چون تمامی منطقه در هر دو تصویر بازه‌های زمانی ذکر شده دارای پوشش گیاهی در تراکم ۰/۱ تا ۱ بود ولی نتایج آستانه‌های دیگر شامل ۰/۳-۱ و ۰/۴-۱ که آستانه‌های بیان کننده کیفیت پوشش گیاهی بر اساس تراکم پوشش است نشان داد که تراکم پوشش گیاهی در طول ۳۱ سال کاهش داشته است. به نظر می‌رسد کاهش تراکم پوشش گیاهی منطقه به دلیل چرای مفرط و بیش از ظرفیت مراتع باشد که افزایش جمعیت انسانی روستاهای حاشیه منطقه و به طبع آن افزایش نیاز به استفاده از مراتع این مناطق جهت تعلیف دام سبب این امر شده است. البته در کنار چرای مفرط عامل تغییر اقلیم و کاهش بارش برفی منطقه نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد که نیاز به بررسی بیشتر در مطالعات آتی دارد. به صورت کلی می‌توان گفت شرایط فیزیوگرافی شامل کوهستانی بودن منطقه همراه با دامنه ارتفاعی و درجه شیب بالا سبب شده که عامل مهمی مانند تغییر کاربری اراضی که سبب از بین رفتن مناطق تحت استفاده حیات وحش است در این منطقه وجود نداشته باشد. از طرف دیگر عوامل انسان‌ساخت دیگری مانند سکونتگاه‌های روستای و احداث جاده در مناطق حاشیه منطقه حفاظت شده سبب افزایش پتانسیل تخریب اکولوژیکی این مناطق شده است. درجه شیب بالا همراه با دامنه ارتفاعی زیاد از مهم‌ترین عوامل افزایش پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه است که سبب ایجاد اکوسیستم‌های بسیار حساس و شکننده در مقابل فشارهای بیرونی شده است. این امر نشان می‌دهد در کنار این محدودیت‌های طبیعی هرگونه دخالت انسانی حتی به صورت محدود مانند چرای بیش از ظرفیت مرتع و یا ایجاد جاده به منظور توسعه صنعت توریسم می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری در منطقه به بار آورد.

کتابنامه

احسنی، نبی؛ اولادی، جعفر؛ قصریانی، فرهنگ؛ درویش، محمد؛ ۱۳۸۶. معرفی شیوه‌ای برای اعمال مدیریت پایدار بر سرزمین بر مبنای معیارهای IUCN استان کردستان، منطقه کوسالان مریوان. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شماره ۴. جلد ۵. صص ۵۵۸-۵۳۹.

https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105766.html

آرخی، صالح؛ محمودیان، عبدالرحمان؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی خطر تخریب جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهرستان سردشت). جغرافیا و مخاطرات محیطی. (۴) ۱۰. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.70743.1070>

امامی، حسن؛ شهریاری، حسن؛ ۱۳۹۸. کمی سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش سوزی جنگل با روش‌های RS و GIS، مناطق حفاظت‌شده ارسباران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. (۱۱۲) ۲۸. صص ۳۵-۵۳. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38606>

روشن، سجاد؛ ۱۳۹۷. وسعت و وضعیت مناطق حفاظت‌شده و ارتباط آن‌ها در مقیاس سیمای سرزمین با استفاده از نظریه گراف در جهت افزایش پایداری و ارائه راهکارهای مدیریت محیط‌زیستی (مطالعه موردی زیستگاه مرکزی زاگرس). پایان‌نامه. دانشگاه تهران. <https://env.ut.ac.ir>

سپهر، حسین؛ مخدوم، مجید؛ فریادی، شهرزاد؛ رضانی، مهران، مجید؛ ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت سرزمین در مناطق حفاظت‌شده با استفاده از مدل تخریب (مطالعه موردی: مجموعه حفاظت شده توران). پژوهش‌های محیط‌زیست. سال ۶. شماره ۱۱. بهار و تابستان. از صص ۱۱۹-۱۳۰.

<https://www.magiran.com/paper/1454673>

شیرمحمدی، ایمان؛ جهانی، علی؛ اعتماد، وحید؛ ضرغام، نصرت‌الله؛ مخدوم فرخنده، مجید؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آثار محیط‌زیستی توسعه بر منطقه حفاظت‌شده کرکس با استفاده از مدل تخریب. پژوهش‌های محیط‌زیست. (۷) ۱۴. صص ۹۱-۱۰۲.

<https://doi.org/20.1001.1.20089597.1395.7.14.15.2>

مالچفسکی یاچک؛ ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاره. اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده تهران: سمت. <https://samt.ac.ir/fa/book/837>

مجله دیده‌بان محیط‌زیست و حیات وحش ایران؛ ۱۳۹۱. منطقه حفاظت شده کوسالان و شاهو. <http://www.iew.ir/1391/06/14/1574>

نظام فر، سرمستی؛ علوی پناه، کاظم؛ ۱۴۰۰. بررسی امکان کالیبراسیون سنجنده‌های LIIII و ASTER با استفاده از نمکزارهای مناطق خشک ایران. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. (۳) ۲۳. ۱۱۷-۱۳۱.

<https://doi.org/10.30495/jest.2021.8037>

Bharathkumar, L., Mohammed-Aslam, M. A., 2015. Crop Pattern Mapping of Tumkur Taluk Using NDVI Technique: A Remote Sensing and GIS Approach. Aquatic Procedia, 4, 1397-1404. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.181>

- Eddy, I. M., Gergel, S. E., Coops, N. C., Henebry, G. M., Levine, J., Zerriffi, H., Shibkov, E., 2017. Integrating remote sensing and local ecological knowledge to monitor rangeland dynamics. *Ecological Indicators*, 82, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.033>
- Feng, R., Wang, F., Wang, K., 2021. Spatial-temporal patterns and influencing factors of ecological land degradation-restoration in Guangdong-HongKong-Macao Greater Bay Area. *Science of The Total Environment*, 794, 148671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148671>
- Fraser, E. D., Dougill, A. J., Hubacek, K., Quinn, C. H., Sendzimir, J., Termansen, M., 2011. Assessing vulnerability to climate change in dryland livelihood systems: conceptual challenges and interdisciplinary solutions. *Ecology and Society*, 16(3), 12p. <https://www.jstor.org/stable/26268912>
- Gillespie, T.W., Kelm, S.O., Dong, C., Willis, K.S., Okin, G.S., MacDonald, G.M., 2018. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031>
- Gooshbor, L., Bavaghar, M. P., Amanollahi, J., Ghobari, H., 2016. Monitoring infestations of oak forests by *Tortrix viridana* (Lepidoptera: Tortricidae) using remote sensing. *Plant Protection Science*, 52(4), 270-276. <http://pps.agriculturejournals.cz/artkey/pps-201604-0008>
- Granados, L., Pizaro, M., Cayuela, L., Domingo, D., Gomez, D., Gracia, M.B., 2022. Long-term monitoring of NDVI changes by remote sensing to assess the vulnerability of threatened plants. *Biological Conservation*, 265, 109428. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109428>
- Hellwig, N., Anschlag, K., Broll, G., 2016. A fuzzy logic based method for modeling the spatial distribution of indicators of decomposition in a high mountain environment. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), 623-635. <https://doi.org/10.1657/AAAR0015-073>
- Jiang, L., Huang, X., Wang, F., Liu, Y., An, P., 2018. Method for evaluating ecological vulnerability under climate change based on remote sensing: A case study. *Ecological indicators*, 85, 479-486. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.044>
- Jiang, L., Liu, Y., Wu, S., Yang, C., 2021. Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data. *Ecological Indicators*, 129, 107933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107933>
- Jing, Y., Zhang, F., He, Y., Johnson, V. C., Arikana, M., 2020. Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, 110, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105874>
- Li, M., Yu, H., Meng, B., Sun, Y., Zhang, J., Zhang, H., Wu, J., Yi, S., 2021. Drought reduces the effectiveness of ecological projects: Perspectives from the inter-annual variability of vegetation index. *Ecological Indicators*, 130, 108154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108158>
- Li, Q., Zhou, Y., Yi, S., 2022. An integrated approach to constructing ecological security patterns and identifying ecological restoration and protection areas: A case study of Jingmen, China. *Ecological Indicators*, 137, 108723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108723>
- Liu, S., Zhang, J., Zhang, J., Guo, Y., 2022. Simultaneously tackling ecological degradation and poverty challenges: Evidence from desertified areas in northern China. *Science of The Total Environment*, 815, 152927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152927>
- Mahmood, K., Batool, A., Faizi, F., Chaudhry, M. N., Ul-Haq, Z., Rana, A. D., Tariq, S., 2017. Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing—Influence of geographical conditions. *Ecological indicators*, 82, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.042>

- Malano, H.M., Gao, G., 1992. Ranking and Classification of irrigation system performance using fuzzy set theory: case studies in Australia and China. *Irrigation and Drainage Systems*, 6, 129-148. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01102973>
- Manzo, C., Mei, A., Zampetti, E., Bassani, C., Paciucci, L., Manetti, P., 2017. Top-down approach from satellite to terrestrial rover application for environmental monitoring of landfills. *Science of The Total Environment*, 584, 1333-1348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.033>
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Jafari, A., Pourmanafi, S., Kienast, F., 2022. Applying a systematic conservation planning tool and ecological risk index for spatial prioritization and optimization of protected area networks in Iran. *Journal for Nature Conservation*. 66, 126144. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126144>
- Pravaliu, R., Sirodov, I., Nita, I., Patriche, C., Dumitrascu, M., Rosca, B., Tiscovsci, A., Bandoc, G., Savulescu, L., Manoiu, V., Birsan, M., 2022. NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987-2018. *Ecological Indicators*, 136, 108629. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108629>
- Shen, Ge., 2019. Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China, *Ecological Indicators*, 104, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.063>
- Slonecker, T., Fisher, G. B., Aiello, D. P., Haack, B., 2010. Visible and infrared remote imaging of hazardous waste: a review. *Remote Sensing*, 2(11), 2474-2508. <https://doi.org/10.3390/rs2112474>
- Tan, J., Li, A., Lei, G., Bian, J., Zhang, Z., 2019. A novel and direct ecological risk assessment index for environmental degradation based on response curve approach and remotely sensed data. *Ecological indicators*, 98, 783-793. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.038>
- Usman, O., Lorember, T., Jelilov, G., Isik, A., Ike, G.N., Sarkodie, S.A., 2021. Towards mitigating ecological degradation in G-7 countries: accounting for economic effect dynamics, renewable energy consumption, and innovation. *Heliyon*, 7(12), e08592. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08592>
- Walz, U., 2011. Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. *Living reviews in landscape research*, 5(3), 1-35. <https://doi.org/10.12942/lrlr-2011-3>
- Xu, H., Wang, M., Shi, T., Guan, H., Fang, C., Lin, Z., 2018. Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a remote sensing based ecological index (RSEI). *Ecological indicators*, 93, 730-740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.055>
- Zhang, X., Liu, K., Li, X., Wang, S., Wang, J., 2022. Vulnerability assessment and its driving forces in terms of NDVI and GPP over the Loess Plateau, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 125, 103106. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103106>



The Impacts of Sediment Transport on the Width of Ajichai River Flood Zoning

Meysam Azhideh^a, Mohammad Taghi Aalami^b, Habibeh Abbasi^{c*}, Leila Malekani^c

^a MA Student, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^c Assistant Professor, Department of civil Engineering, Marand Faculty of Technical and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 10 January 2022

Revised: 7 March 2022

Accepted: 6 April 2022

Abstract

Flood zoning maps are among the basic and important sources of information for studying development projects in the world. In the conventional method of determining flood zoning maps, calculations are performed on the basis of a steady flow, assuming a fixed bed (without considering sediment transport). This study aimed to investigate the impact of river erosion and sediment transport on river flood zoning. So, the flood zoning calculations of Ajichai River were done using HEC-RAS model and the conventional method of steady flow with a fixed bed. In the next step, flood zoning calculations were performed using quasi-steady flow with moving bed and compared with the results of the previous step to determine the impacts of sediment transport on flood zoning. Comparison between the results obtained from steady flow (fixed bed) and quasi-steady flow with moving bed showed that in sedimentation sections, the width of the water surface increases in the flow mode with moving bed. The maximum rate of this increase in width is 19%. In other words, in the mentioned river, the width of flood zoning is less in the conventional method. This issue confirms the necessity of studying the river conditions in terms of erosion and sedimentation so that the amount of flood zone could be determined more accurately while the river is sedimentary. The increase of flood zone in sedimentation sections is due to the accumulation of sediments and consequently the increase of flow level and width of flood zonation. Therefore, it is suggested that in sedimentary rivers, a quasi-steady flow model (mobile bed) be used to prepare flood zoning maps for providing more safety.

Keywords: Flood Zoning, Sediment Transport, Fixed Bed, Moveable Bed, HEC-RAS Model

* Corresponding author: Habibeh Abbasi E-mail: h.abbasi@tabrizu.ac.ir Tel: + 989144057725

How to cite this Article: Azhideh, M., Aalami, M. T., Abbasi, H., & Malekani, L. (2023). The impacts of sediment transport on the width of Ajichai River flood zoning. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 63-85.

DOI: 10.22067/geoh.2022.74540.1152



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74540.1152> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۸۵-۶۳

مقاله پژوهشی

تأثیر انتقال رسوب در عرض پهنه‌بندی سیلاب رودخانه آجی‌چای

میثم آژیده- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، تبریز

محمدتقی اعلمی- استاد گروه آب دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

 حبیبه عباسی^۱- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی مرنند، دانشگاه تبریز، تبریز

لیلا ملکانی- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی مرنند، دانشگاه تبریز، تبریز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۱۷

چکیده

نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، یکی از اطلاعات پایه و مهم در مطالعات طرح‌های عمرانی در جهان محسوب می‌شوند. در روش مرسوم تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، محاسبات بر اساس جریان دائمی با فرض بستر ثابت (بدون در نظر گرفتن انتقال رسوب) انجام می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر فرسایش و انتقال رسوب رودخانه بر روی پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها است. در این راستا محاسبات پهنه‌بندی سیلاب رودخانه آجی‌چای در مدل HEC-RAS در حالت مرسوم (جریان دائمی با بستر ثابت) محاسبه گردید. در گام بعدی، محاسبات پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از جریان شبه غیردائمی با بستر متحرک انجام شد و با نتایج حاصل از مرحله قبل مقایسه گردید تا میزان تأثیر انتقال رسوب در پهنه‌بندی سیلاب مشخص گردد. مقایسه بین نتایج به دست آمده در دو حالت جریان دائمی (بستر ثابت) و جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک نشان داد که در مقاطع رسوب‌گذار، عرض سطح آب در حالت جریان با بستر متحرک افزایش می‌یابد. بیشترین میزان این افزایش

Email: h.abbasi@tabrizu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۰۵۷۷۲۵

نحوه ارجاع به این مقاله:

آژیده، میثم؛ اعلمی، محمدتقی؛ عباسی، حبیبه؛ ملکانی، لیلا. (۱۴۰۲). تأثیر انتقال رسوب در عرض پهنه‌بندی سیلاب رودخانه آجی‌چای.

جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۸۵-۶۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74540.1152>

عرض، ۱۹ درصد است؛ به عبارت دیگر در رودخانه مذکور، عرض پهنه‌بندی سیلاب در روش مرسوم کمتر محاسبه می‌شود. این موضوع ضرورت بررسی شرایط رودخانه از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری را تأیید می‌نماید تا زمانی که رودخانه حالت رسوب‌گذاری دارد میزان پهنه سیلاب با دقت بیشتری تعیین شود. افزایش پهنه سیلاب در مقاطع رسوب‌گذار، به دلیل انباشت رسوبات در مقطع و به دنبال آن افزایش سطح جریان و عرض پهنه‌بندی سیل است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در رودخانه‌های رسوب‌گذار از مدل شبه غیردائمی (بستر متحرک) جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب جهت تأمین ایمنی بیشتر استفاده شود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت ریخت‌شناسی رودخانه در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها به منظور مدیریت سیل است.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی سیلاب، انتقال رسوب، بستر ثابت، بستر متحرک، مدل HEC-RAS

۱- مقدمه

به منظور برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری بهینه و کنترل پدیده سیل که از مسائل مهم دنیا و کشور ما نیز هست، مطالعات و تحقیقات زیادی مورد نیاز است. دشت‌های سیلابی به دلیل وجود منابع مختلف از اهمیت زیادی برخوردارند و همواره مورد توجه جوامع بشری قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر رشد شهرهایی که در حاشیه رودخانه‌ها قرار دارد رو به فزونی گذاشته است. رشد روزافزون جمعیت و عدم توجه به ظرفیت‌های محیط و استفاده نامناسب از منابع، باعث گسترش خسارات به جوامع مذکور شده و همین مسئله لزوم اعمال مدیریت در سیلاب دشت‌ها را آشکار می‌سازد. اولین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب و دشت‌های سیلابی تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل است. از موارد کاربرد این نقشه‌ها می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار سیل، عملیات امداد و نجات و بیمه سیل اشاره نمود (برخوردار و چاوشیان، ۱۳۷۹).

در خصوص پهنه‌بندی و شناسایی نواحی سیلاب‌گیر با فرض بستر ثابت مطالعاتی در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. **قمی اویلی و همکاران (۱۳۸۹)**، اقدام به پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS در رودخانه کارون حد فاصل بند قیر تا اهواز کردند. برای این منظور آن‌ها در مسیر مورد نظر با استفاده از روش هیدروگراف واحد و شاخص سیلاب، هیدروگراف سیل خروجی در بالا دست حوضه و زیر حوضه‌های موجود را به دست آوردند و در طول ۴۳ کیلومتر از رودخانه ۴۴ مقطع ترسیم نمودند و حداکثر رقوم تراز آب را در مقاطع معین برای دوره بازگشت‌های معین به دست آوردند و محدوده و میزان اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی را که در صورت وقوع سیل به مخاطره خواهند افتاد، محاسبه کردند. **غفاری و امینی (۱۳۸۹)**، به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از امکانات مدل HEC-RAS و

نرم‌افزار ArcView و الحاقیه HEC-GeoRAS در بازه‌ای به طول ۴/۵ کیلومتر از رودخانه قزل‌اوزن پرداختند. **کوک و مرود^۱ (۲۰۰۹)**، تأثیر اطلاعات توپوگرافی را روی نقشه‌های سیلاب با مدل HEC-RAS و نرم‌افزار FESWMS مورد مطالعه قرار دادند. بررسی آن‌ها نشان داد که مدل HEC-RAS نسبت به مدل FESWMS بهتر می‌تواند پهنه‌بندی سیلاب را پیش‌بینی نماید. در مطالعه‌ای که در حوضه آبریز رودخانه Sembrong واقع در Batu Pahat انجام شد با استفاده از مدل HEC-RAS میزان افزایش سطح آب به ازای ۷ دبی با فرض جریان یک‌بعدی و بستر ثابت شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که آب با حداکثر دبی ۲۴ مترمکعب بر ثانیه به دشت سیلابی سرریز می‌شود؛ همچنین از ۳۳ ایستگاه از ۶۵ ایستگاه قادر به تطبیق حداکثر دبی نبوده و در نتیجه منجر به سیل می‌شود. شبیه‌سازی مدل هیدرولیک رودخانه به‌وضوح نشان داد که نتایج قابل‌اعتمادتر هستند و منطقه آسیب‌دیده را می‌توان به‌راحتی شناسایی کرد (**محمد راضی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸**). **حسن زاده و همکاران (۱۴۰۰)**، نقش مدل‌های هیدرولوژیکی در GIS و اطلاعات میدانی به‌عنوان اطلاعات مردمی در پهنه‌بندی سیلاب و آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیل در شهر بردسیر، در استان کرمان، بررسی کردند. نقشه محدوده آب‌گرفتگی در شهر با استفاده از مدل HEC-RAS و اطلاعات میدانی تهیه شد. مقایسه نقشه محدوده آب‌گرفتگی تولیدشده توسط مدل و اطلاعات میدانی با اطلاعات واقعی، به ترتیب صحت کلی ۵۹/۱۶ درصد و ۸۰/۰۷ درصد است که صحت بیشتر اطلاعات میدانی در تعیین محدوده آب‌گرفتگی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد؛ اما با ترکیب خروجی مدل با اطلاعات میدانی، صحت نقشه ترکیبی در مقایسه با داده‌های واقعی به ۸۰/۲۷ درصد افزایش یافت که این مطلب نشان‌دهنده تأثیر اطلاعات میدانی در مدیریت خطر سیل است. **پورنبی و همکاران (۱۴۰۰)**، با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله رودخانه چشمه‌کیله شهرستان تنکابن را به دست آوردند. دارای پهنه‌های وسیع حاشیه رودخانه است. بیشترین سطح سیلابی مربوط به اراضی زراعی به وسعت ۲۴/۶ هکتار است و بعد از آن اراضی مسکونی با وسعت ۹۴/۳ هکتار، جنگلی ۹۲/۲ هکتار و باغی ۸ هکتار است. **سلمان^۳ و همکاران (۲۰۲۱)**، مطالعه‌ای بر روی نارای‌درین حیات‌آباد پیشاور انجام دادند تا نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS و HEC-RAS تهیه کنند. در این منطقه در سال ۲۰۱۰ سیل فاجعه‌بار رخ داده بود و باعث آب‌گرفتگی شده بود و خسارات زیادی به اموال عمومی، دام، ارتباطات و زیرساخت‌ها وارد کرده بود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در قسمت بالادست منطقه نارای‌درین، بیشتر منطقه‌ای که در نزدیکی منطقه سیل قرار گرفته است

1 Cook and Mervade

2 Mohammad Razi

3 Salman

برای یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ایمن بوده است؛ درحالی که پایین دست منطقه حتی برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله آسیب پذیر است. در تمام مطالعات اشاره شده از بستر ثابت برای پهنه بندی سیلاب استفاده شده است. در خصوص شناسایی مناطق رسوب گذار و فرسایش پذیر رودخانه ها مطالعات زیادی انجام شده است؛ اما در هیچ یک از این مطالعات به بررسی اثر فرسایش پذیری و رسوب گذاری رودخانه در پهنه سیلاب رودخانه پرداخته نشده است. ازجمله این مطالعات، تیموری و همکاران (۱۳۹۹)، با استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی وضعیت فرسایش و رسوب گذاری رودخانه شاهرود پرداختند. دبی با دوره بازگشت های مختلف برای شبیه سازی هیدرولیکی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت مدل برای دبی ۲۵ ساله اجرا گردید. بعد از واسنجی مدل برای شرایط هیدرولیکی رودخانه و مدل سازی شرایط جریان شبه غیرماندگار اطلاعات شرایط مرزی و عمق نرمال به مدل معرفی شد و با استفاده از رابطه های انتقال رسوب، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه شاهرود محاسبه شد. مقایسه بین نتایج به دست آمده و داده های اندازه گیری شده نشان داد که معادله ایکرز-وایت با داشتن متوسط خطای ۱۶ درصد در بازه مورد بررسی نسبت به سایر توابع برآورد بهتری دارد. جوشی^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، مدل HEC-RAS را برای توسعه یک تحلیل هیدرولیکی مدل انتقال رسوب رودخانه Maumee استفاده کردند. کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدل با اعمال توابع مختلف انتقال رسوب و ضریب زبری مانینگ انجام گردید. خروجی مدل، الگوی تغییر بستر و همچنین قسمت هایی از رودخانه را نشان می دهد که با فرسایش یا رسوب صورت گرفته در رودخانه مطابقت دارند. آن ها به این نتیجه رسیدند که خروجی مدل همراه با دانش محلی می تواند به کاهش مشکل ناشی از رسوب کمک کند. گیمیری^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از مدل HEC-RAS، نیاز به لایروبی در بخشی از رودخانه اوهایو را که حفاری شده است، تجزیه و تحلیل نمودند. یک روند قابل توجه در رسوب گذاری در منطقه حفاری شده این است که تقریباً نیمی از رسوب پیش بینی شده درازمدت در شش ماه اول رخ می دهد. نتایج مطالعات نشان می دهد که راندمان به دام انداختن بار رسوب حمل شده از روند مشابهی پیروی می کند که از کمتر از ۱۰٪ شروع می شود و در عرض نیم سال به ۱٪ کاهش می یابد. نتایج این تجزیه و تحلیل برای سایر عملیات لایروبی نیز مفید است. بیشتر رودخانه های نپال بار رسوب بالایی دارند؛ اما تا به امروز هیچ تلاشی برای شبیه سازی انتقال رسوب و الگوی رسوب آن در پروژه های ساخت مخزن سد در نپال صورت نگرفته است؛ رگمی^۳ (۲۰۲۱)، از مدل عددی HEC-RAS برای شبیه سازی استفاده نمود. نتایج مدل، رسوب گذاری شدید را در منطقه ۶۰ تا

1 Joshi

2 Ghimire

3 Regmi

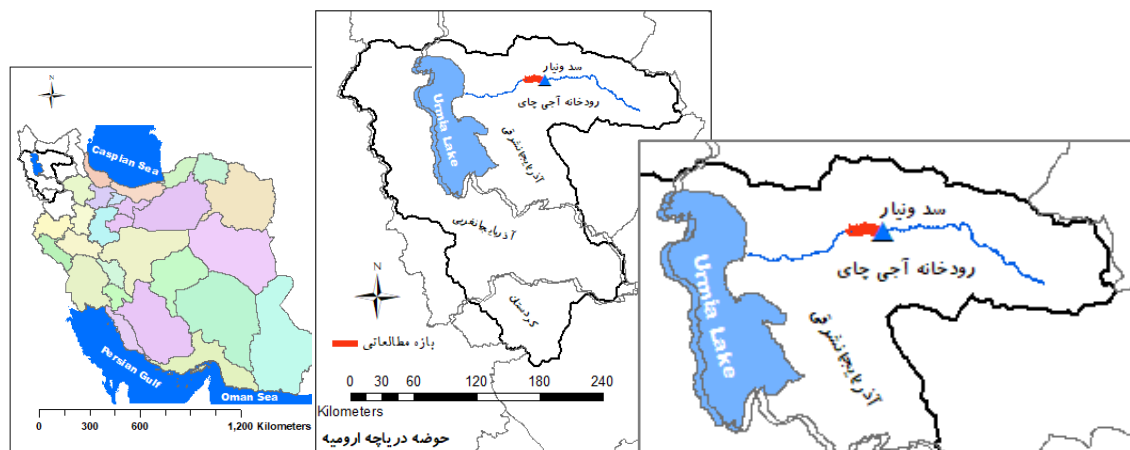
۱۱۵ کیلومتری بالادست سد با بالاترین عمق رسوب در حدود ۴۲ متر تا ۱۲۴ متر برای سیلاب‌های ۱۰ تا ۱۰۰ ساله نشان داد.

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در مورد تأثیر انتقال رسوب بر پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها مطالعه‌ای صورت نگرفته است و مطالعات انجام شده بدون در نظر گرفتن تأثیر انتقال رسوب (بستر ثابت) بوده است، درحالی‌که رودخانه‌ها سیستم‌های دینامیک هستند و ریخت‌شناسی آن‌ها بر اثر انتقال رسوب و عوامل دیگر تغییر می‌کند، لازم است تا در محاسبات پهنه‌بندی سیلاب عامل مهم انتقال رسوب (بستر متحرک) در نظر گرفته شود. در این تحقیق پهنه‌بندی سیل بازه مطالعاتی با استفاده از ترکیب نرم‌افزارهای HEC-RAS و HEC-GeoRAS در دو حالت جریان دائمی (با بستر ثابت) و جریان در حالت انتقال رسوب (با بستر متحرک) محاسبه شده و با هم مقایسه خواهد شد تا تأثیر در نظر گرفتن انتقال رسوب در پهنه‌بندی سیلاب بیشتر بررسی شود. بر این اساس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رودخانه آجی‌چای از پایین‌دست سد و نیاربیه طول ۹ کیلومتر و با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط ArcMap اطلاعات لازم استخراج شده و در مدل HEC-RAS استفاده خواهد شد. جریان در دو حالت دائمی و انتقال رسوب شبیه‌سازی خواهد شد تا تأثیر انتقال رسوب بر پهنه‌بندی سیلاب مشخص شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای مهم‌ترین حوضه آبریز بخش شرقی دریاچه ارومیه بوده و بین عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی واقع شده است. این رودخانه از دامنه‌های جنوبی سبلان با حداکثر ارتفاع ۳۸۸۲ متر از سطح دریا سرچشمه گرفته و با پیوستن شاخه‌هایی از ارتفاعات بزقوش در جنوب سراب و سهند به آن، در جنوب تبریز پس از عبور از پل خورخور در محل تلاقی با جاده جزیره اسلامی وارد دریاچه ارومیه می‌شود. محدوده مورد مطالعه از پایین‌دست سد و نیاربیه طول ۹ کیلومتر از رودخانه آجی‌چای را شامل می‌شود. رودخانه در این محدوده مسیری کوهستانی با بستری از گراول و قلوه‌سنگ پراکنده است. شکل (۱) موقعیت رودخانه آجی‌چای در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت رودخانه آجی چای در محدوده مطالعاتی

۲-۲- معرفی مدل HEC-RAS

برنامه کامپیوتری HEC-2 در سال ۱۹۶۴ جهت محاسبه پروفیل‌های سطح آب در مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا نوشته شد. این مدل قادر به حل همزمان معادله انرژی و مومنت جهت تعیین محل جهش هیدرولیکی نبود. در سال ۱۹۷۷ مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا مدل تکمیل یافته به نام (River Analysis System) ارائه نمود. این مدل محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان متغیر تدریجی در حالت دائمی و غیردائمی در رودخانه‌ها و یا آبراهه‌های مصنوعی انجام می‌دهد و قادر است پروفیل سطح آب را در حالت جریان زیربحرانی و یا فوق‌بحرانی محاسبه نماید. مدل HEC-RAS در آخرین نگارش خود علاوه بر قابلیت‌های قبلی توانایی تحلیل فرآیند رسوب، فرسایش و کیفیت را نیز داراست. جهت استخراج داده‌های مورد نیاز مدل HEC-RAS از نقشه‌های توپوگرافی رودخانه، الحاقیه-HEC GeoRAS در محیط ArcGIS طراحی شده است. در این مقاله از شبیه‌سازی جریان دائمی و انتقال رسوب جریان در مدل HEC-RAS4 استفاده شده است که در ادامه معادلات اساسی مربوطه و ورودی‌های مدل در هر یک توضیح داده شده است.

۲-۲-۱- جریان دائمی (بستر ثابت)

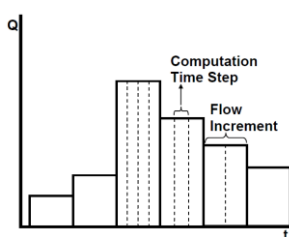
اگر در یک مقطع، عوامل هیدرولیکی جریان مانند بده، سرعت و عمق جریان ثابت باشد، جریان دائم و در غیر این صورت جریان غیردائم است. معمولاً جریان در رودخانه، به علت تغییرات زمانی بده جریان، غیردائم است ولی بعضاً جریان غیردائمی سیلاب با محاسبات جریان دائم تقریب زده می‌شود.

۲-۲-۲- انتقال رسوب (بستر متحرک)

با وجود تحقیقات زیادی که در زمینه انتقال رسوبات انجام شده است، هنوز پیش‌بینی دبی رسوبات رودخانه با درجه اطمینان بالا و رضایت‌بخش برای اهداف مهندسی امکان‌پذیر نیست. همچنین هنوز پیش‌بینی صریح و روشن وقایعی مانند افزایش یا کاهش تراز بستر در اثر احداث یک سد امکان‌پذیر نیست. از آنجایی که بستر کانال تابع متغیری از زمان و مکان است، بنابراین مطالعه جریان در یک آبراهه موضوع به نسبت دشواری بوده و حرکت رسوبات که عامل وجودی بستر کانال است، نماینده پیچیده‌ای است. برای اطلاعات بیشتر در مورد معادلات انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در نرم‌افزار HEC-RAS به راهنمای مدل مراجعه شود.

۲-۲-۳- جریان شبه غیرماندگار

در نرم‌افزار HEC-RAS سری پیوسته جریان به قطعه‌های جریان ماندگار بر اساس متغیرهای دبی و زمان تقسیم می‌شود (شکل ۲). برای هر یک از قطعه‌های جریان ماندگار، پروفیل سطح آب محاسبه می‌گردد و با استفاده از آن سرعت، شیب انرژی، عمق و سایر پارامترها در هر یک از مقاطع عرضی به دست می‌آید. نرخ انتقال رسوب در هر یک از مقاطع محاسبه می‌گردد. این نرخ نشان‌دهنده میزان رسوب انتقالی از هر مقطع در طول زمان است. سپس میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش در هر یک از مقاطع محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن، تغییرات حاصل در مقاطع هندسی برای بازه زمانی مربوطه به دست خواهد آمد. در مرحله بعد، همین روند محاسباتی برای بازه زمانی بعدی تکرار خواهد شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی جریان و رسوب در شبکه رودخانه‌ها را نیز دارد. برای محاسبه نرخ انتقال رسوب، روابط مختلفی در مدل پیش‌بینی شده است تا کاربر رابطه مناسب برای رودخانه مورد مطالعه را از میان آن‌ها انتخاب کند. این مدل بر اساس معادلات جریان و انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در شرایط یک‌بعدی و فرض جریان شبه غیرماندگار توسعه یافته است (برونر^۱ و همکاران ۲۰۰۵).

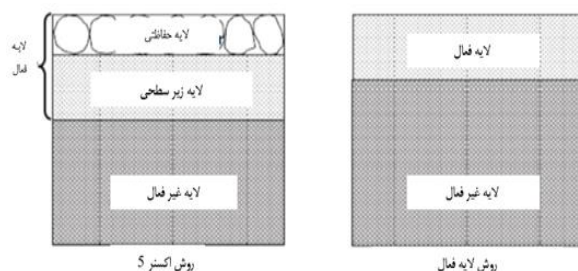


شکل ۲- تقسیم‌بندی شبه ماندگار جریان

۲-۲-۴- لایه‌بندی بستر

مدل HEC-RAS محاسبات انتقال رسوب را بر اساس دانه‌بندی مواد بستر انجام می‌دهد. بنابراین ذرات با اندازه‌های مختلف دارای شدت انتقال متفاوت خواهند بود. بر اساس پارامترهای هیدرولیکی و توزیع رسوبات ورودی و ترکیب مواد بستری، برخی ذرات ممکن است فرسایش یابند، در صورتی که برخی دیگر ممکن است رسوب نموده و یا غیرقابل حرکت شوند. بنابراین تحولات مختلفی ممکن است اتفاق بیفتد. به‌عنوان مثال تمام ذرات ریزتر ممکن است فرسایش یافته و لایه با ذرات درشت‌تر را که جریان قدرت حمل آن‌ها را ندارد، ترک نماید. تحت این شرایط هیدرولیکی، فرسایش بیشتری رخ نداده و در اصطلاح سپر حفاظتی در بستر تشکیل می‌شود. این سپر حفاظتی از آبستگي مصالح زیری بستر جلوگیری می‌کند و رسوب قابل حمل فقط به مقدار رسوب ورودی به قطعه مورد نظر محدود می‌شود. به‌هرحال تحت شرایط هیدرولیکی بعدی نظیر افزایش سرعت جریان ممکن است که قدرت فرسایشی جریان افزایش یافته و سپر حفاظتی در معرض فرسایش قرار گیرد.

نرم‌افزار HEC-RAS از دو روش لایه فعال و اکسیر ۵ استفاده می‌کند که در شکل (۳) نشان داده شده است. در روش لایه فعال، ترکیب بستر رودخانه به‌وسیله تقسیم بستر به دو لایه فرضی انجام می‌پذیرد. لایه بالایی که شامل موادی از بستر است که آماده انتقال می‌باشند لایه فعال نامیده می‌شود. زیر لایه فعال لایه غیرفعال است. زیر این دو لایه بستر دست‌نخورده با ترکیب مواد بستر اولیه است. در روش اکسیر ۵ از مفهوم سپر حفاظتی استفاده نموده و لایه فعال به دو بخش، لایه حفاظتی و لایه زیرسطحی تقسیم می‌شود (شکل ۳). فرسایش و رسوب در لایه حفاظتی انجام می‌شود. در محاسبه ظرفیت انتقال رسوب از ترکیب دو لایه استفاده می‌کند (دومیتريسو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).

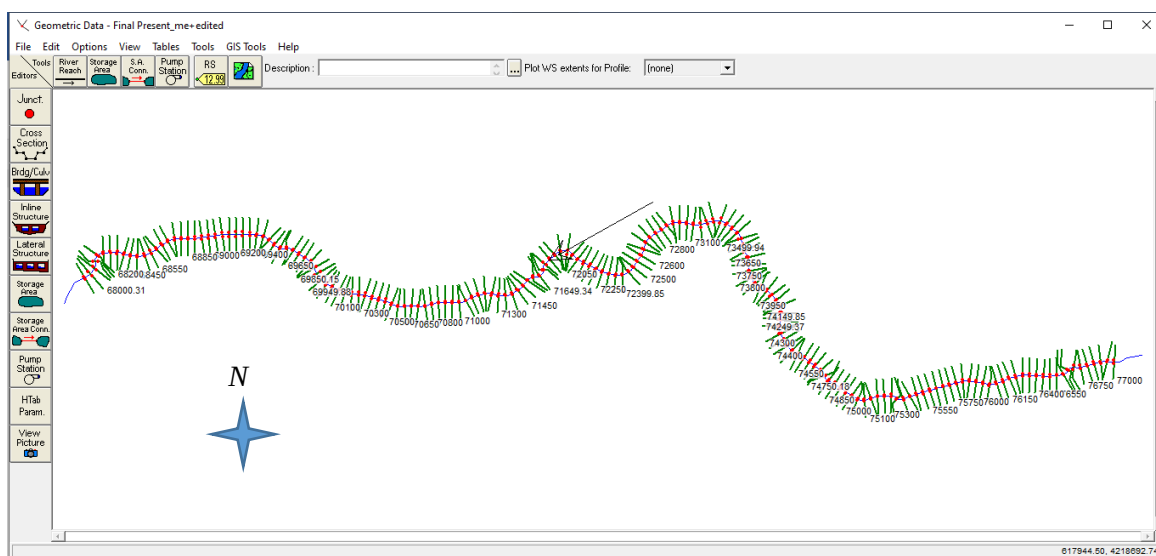


شکل ۳- لایه‌بندی بستر: روش لایه فعال و روش اکستر ۵

۳-۲- داده‌های مورد نیاز مدل

برای بررسی پهنه‌بندی سیلاب رودخانه آبی‌چای لازم است تا محاسبات هیدرولیکی برای رودخانه آبی‌چای صورت پذیرد. در این تحقیق از مدل HEC-RAS با شرایط جریان دائمی و شرایط جریان با لحاظ فرسایش و رسوب استفاده شده است. در نهایت نتایج حاصل از آن‌ها با هم مقایسه خواهد شد. برای تهیه مدل هیدرولیکی به اطلاعات زیر نیاز است:

- مقاطع عرضی رودخانه: اطلاعات هندسی و مقاطع عرضی رودخانه آبی‌چای در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS از روی شبکه نامنظم مثلی تهیه شده، استخراج شده است. در ساخت شبکه نامنظم مثلی از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰ در بستر رودخانه و ۱:۲۰۰۰ در سیلابدشت رودخانه استفاده شده است. تعداد مقاطع عرضی استخراج شده ۱۸۲ عدد است (شکل ۴).



شکل ۴- مقاطع عرضی رودخانه در منطقه مورد مطالعه

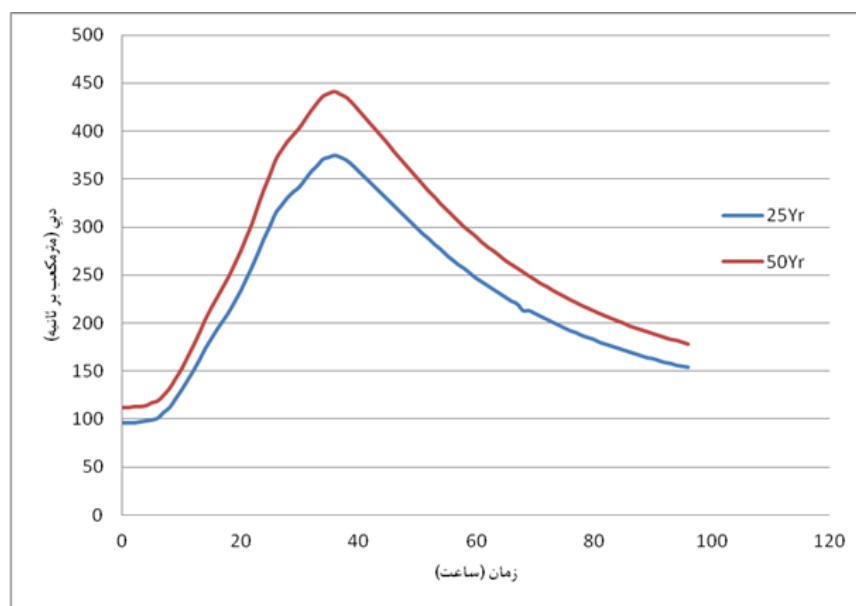
- ضریب زبری کانال اصلی و سیلابدشت: ضریب زبری به عنوان مشخصه زبری هیدرولیکی جریان انتخاب می گردد. با توجه به مشخص بودن دانه بندی مصالح بستر در چندین نقطه از رودخانه و محدوده اندازه دانه ها، از معادله استریکلر برای تعیین این پارامتر استفاده شده است (چاو^۱ ۱۹۵۹). در نهایت با در نظر گرفتن نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه و تراکم پوشش گیاهی منطقه، به مقادیر ضریب زبری افزوده گردید. ضریب زبری در کانال اصلی ۰/۰۳۵ و در سیلابدشت ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.
- شرایط مرزی و مقادیر دبی سیلاب با دوره بازگشت های ۲۵ و ۵۰ ساله: حل عددی معادلات دیفرانسیل جریان یک بعدی (معادلات سنت ونانت) مستلزم داشتن شرایط مرزی در مرز فیزیکی بالادست و پایین دست رودخانه است. در تحلیل جریان دائمی شرط مرزی عمق نرمال در بالادست ($S=0.01$) و پایین دست ($S=0.001$) انتخاب شده است، برای این کار فرض گردید که شیب گرادیان هیدرولیکی با شیب پروفیل طولی رودخانه یکسان بوده که در نتیجه برای معرفی این پارامتر از شیب پروفیل طولی رودخانه استفاده شد. رژیم جریان مختلط است.

جدول ۱- مقادیر دبی جریان رودخانه آبی چای

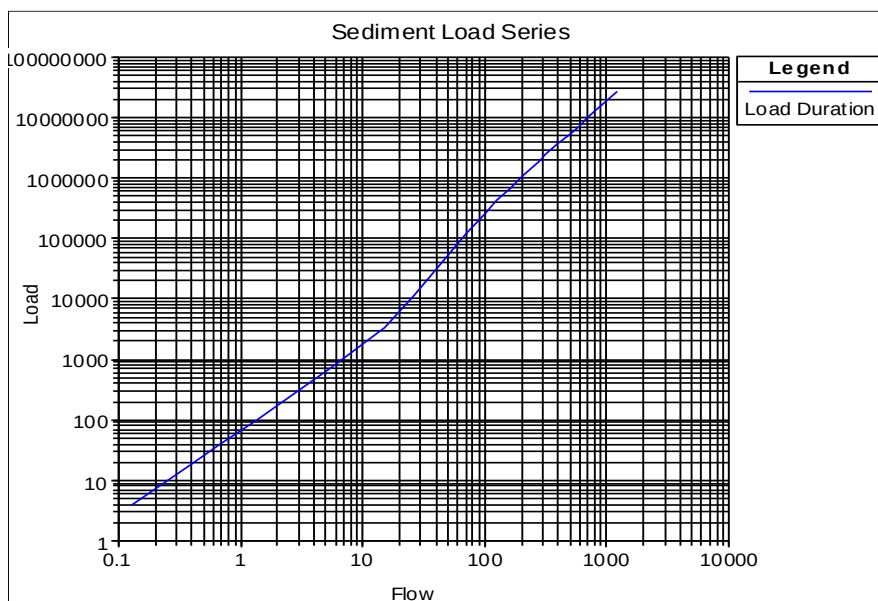
۵۰	۲۵	دوره بازگشت (سال)
۴۴۱	۳۷۵	دبی (مترمکعب بر ثانیه)

هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله برای به‌عنوان شرط مرزی بالادست و عمق نرمال به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست در حالت جریان شبه غیردائمی استفاده شده است. هیدروگراف جریان ورودی، با توجه به داده‌های ایستگاه هیدرومتری و نیار استخراج شده است که در **شکل (۵)** آورده شده است.

- اطلاعات رسوب شامل دانه‌بندی مواد بستری، منحنی سنج رسوب و دمای آب: دانه‌بندی مواد بستری در ۷ نقطه از رودخانه در اعماق ۰/۷ تا ۱ متر استخراج شده است. در مورد منحنی سنج رسوب از داده‌های مربوط به ایستگاه هیدرومتری و نیار استفاده شده است که نمودار آن در **شکل (۶)** ارائه شده است. دمای آب ۱۰ درجه سانتی‌گراد در طول مدت سیلاب در نظر گرفته شده است.



شکل ۵- هیدروگراف سیلاب ورودی با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله



شکل ۶- نمودار منحنی سنج رسوب (دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) و دبی رسوب (تن در روز))

۲-۴- آنالیز حساسیت و واسنجی

در مدل‌سازی عددی سیستم رودخانه، به‌منظور انجام صحیح محاسبات، تعداد زیادی از پارامترها می‌بایست به شکل مناسبی تعریف شوند. مقادیر این پارامترها اغلب فاقد صحت و درستی قابل قبولی هستند و بنابراین تعریف مقادیر می‌بایست بر اساس اطلاعات تجربی سیستم باشد. با توجه به اینکه پدیده‌های واقعی از قانونمندی کلی برخوردار نبوده و شرایط بهره‌برداری نیز متنوع است، این پارامترها می‌توانند در یک محدوده قابل قبول در نظر گرفته شوند. عدم قطعیت در تخمین این مقادیر در کاربردهای مهندسی در قالب دامنه نوسانات قابل قبول و ضرایب ایمنی به‌منظور حداقل نمودن ریسک شکست در طراحی ملحوظ می‌شوند. به این فرایند آنالیز حساسیت گفته می‌شود (حسن زاده، ۱۳۹۱).

یک تعریف عمومی دیگر حساسیت، نرخ تغییرات پارامترهای خروجی نسبت به تغییر پارامترهای ورودی است. پارامترهای مورد استفاده در آنالیز حساسیت مدل‌های روندیابی رسوب در قالب دو دسته اصلی شامل پارامترهای فیزیکی و غیرفیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. این پارامترها و اهمیت نسبی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند (حسن زاده، ۱۳۹۱).

جدول ۲- آنالیز پارامترهای روندیابی رسوب

اهمیت نسبی داده‌ها			تشریح داده‌ها	
کم	متوسط	زیاد		
		***	دبی جریان	پارامترهای فیزیکی
		***	دبی رسوب	
	***		دانه‌بندی رسوبات	
***			دمای آب	
		***	شکل هندسی مقطع	
		***	معادله انتقال رسوب	پارامترهای غیرفیزیکی
		***	گام زمانی	

به منظور تحلیل حساسیت مدل HEC-RAS به پارامترهای ورودی، یکسری اجرا با تغییر پارامترهای مختلف ورودی به مدل انجام پذیرفت. نتایج محاسبات با توجه به میزان تغییرات در پارامترهای انتخاب شده برای آنالیز حساسیت، تحلیل گردید. در این مطالعه نیازی به واسنجی دبی جریان و رسوب نیست. دانه‌بندی رسوبات با توجه به داده‌های داخل بازه تعیین شده است. بنابراین تنها اثرات پارامترهای ضریب زبری، معادله انتقال رسوب و گام زمانی مطالعه شده است. با توجه به اینکه معادلات انتقال رسوب، ممکن است رفتارهای متفاوتی نسبت به تغییر ضریب زبری مانینگ نشان دهند، آنالیز حساسیت آن با شرایط خاصی انجام گرفت. در این راستا، با توجه به مشخص بودن دانه‌بندی مصالح بستر در چندین نقطه از رودخانه و محدوده اندازه دانه‌ها، از معادله استریکلر برای تعیین این پارامتر استفاده شده است. در نهایت با در نظر گرفتن نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه و تراکم پوشش گیاهی منطقه، به مقادیر ضریب زبری افزوده گردید. از طرفی با توجه به مشخص بودن دانه‌بندی مصالح بستر و شیب عمومی جریان، معادله انتقال رسوب یانگ نسبت به معادلات دیگر برای شرایط جریان رودخانه آبی‌چای مناسب است. در نهایت برای آنالیز حساسیت ضریب زبری مراحل زیر انجام پذیرفت:

- افزایش عدد ضریب زبری مانینگ و بررسی تأثیر این متغیر در فرسایش و رسوب‌گذاری مقاطع مختلف و در نهایت تأثیر آن بر عمق و عرض جریان
- کاهش عدد ضریب زبری مانینگ و بررسی تأثیر این متغیر در فرسایش و رسوب‌گذاری مقاطع مختلف و در نهایت تأثیر آن بر عمق و عرض جریان
- محاسبه درصد کاهش یا افزایش عمق جریان در هریک از حالات

نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل نسبت به تغییر ضریب زبری در **جدول (۳)** ارائه شده است.

جدول ۳- آنالیز حساسیت مدل نسبت به ضریب زبری

-۲۰	-۱۰	+۱۰	+۲۰	درصد تغییر ضریب زبری نسبت به ضریب زبری مبنا
-۳/۵۵	-۱/۶۶	+۱/۲۰	+۳/۰۳	درصد تغییر عمق جریان نسبت به عمق مبنا
-۲/۰۷	-۱/۱۷۶	+۱/۵۴	+۲/۹۹	درصد تغییر عرض سطح آب نسبت به عرض مبنا

بررسی نتایج مدل در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد که درصد تغییر در عمق و عرض جریان کمتر از درصد تغییر در مقدار ضریب زبری است و مدل حساسیت زیادی نسبت به تغییر ضریب زبری مانینگ ندارد. از طرفی، مقادیر پهنه‌بندی سیلاب در دو حالت جریان دائمی با بستر ثابت و جریان شبه غیردائمی با بستر متحرک با مقادیر ضرایب زبری یکسان مقایسه خواهند شد.

روند آنالیز حساسیت مربوط به اثر گام زمانی بر اساس مقادیر ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ ساعت انجام پذیرفت. نتایج این آنالیز نشان می‌دهد که انتخاب مناسب آنالیزهای حساسیت، در درستی و همگرایی نتایج محاسبات با اهمیت است. در نهایت با گام زمانی ۰/۱ ساعت نتایج مدل به‌دقت قابل قبولی می‌رسد و کاهش گام زمانی بیشتر از آن تغییری در نتایج ایجاد نمی‌نماید ولی باعث افزایش زمان اجرای مدل می‌شود.

۳- نتایج و بحث

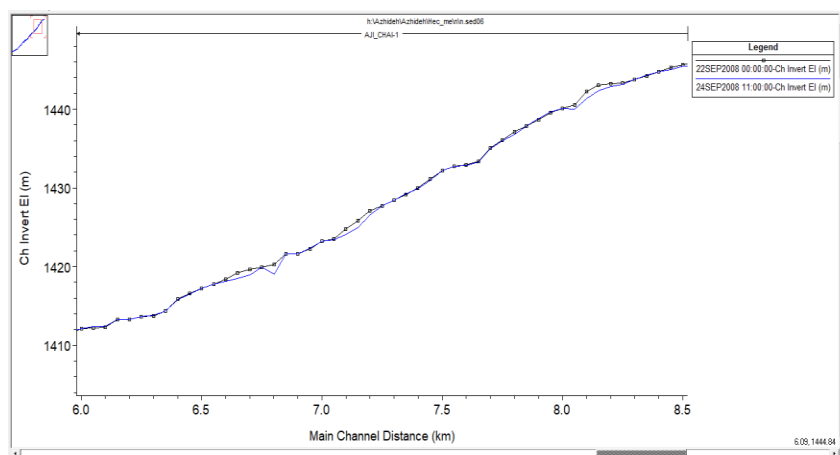
۳-۱- بررسی روند فرسایش و رسوب در رودخانه آجی‌چای

همان‌طور که قبلاً ذکر شد هندسه مقطع جزء اولین و اصلی‌ترین اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی هیدرولیک و رسوب رودخانه است. در واقع با ورود جریان به داخل رودخانه بر مبنای شکل سطح مقطع رودخانه، پارامترهای هیدرولیکی آن نظیر سرعت، عمق و سطح آب‌گرفتگی مشخص می‌شود. پس از استخراج مقاطع عرضی از نقشه‌های توپوگرافی منطقه و وارد نمودن اطاعات مورد نیاز، مدل در دو حالت جریان دائمی با بستر ثابت و جریان شبه‌غیردائمی با بستر متحرک اجرا گردید.

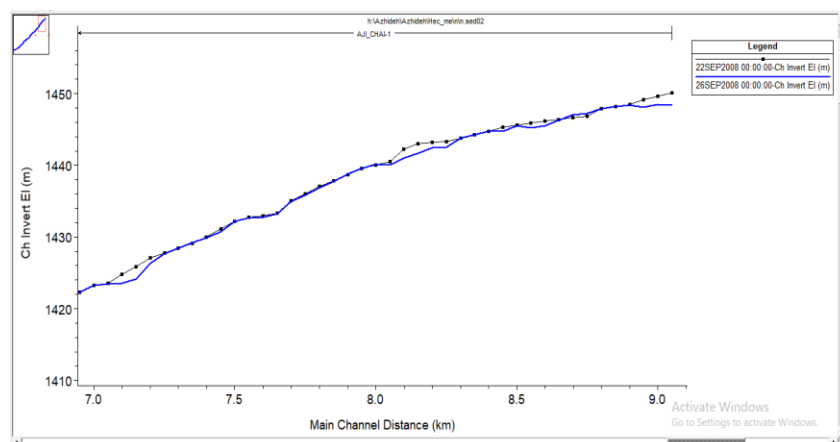
۳-۱-۱- بررسی تغییرات پروفیل طولی رودخانه در جریان شبه‌غیردائمی با بستر متحرک

در قسمت‌های بالایی، رودخانه حالت فرسایشی داشته و در پایین‌دست حالت رسوب‌گذار از خود نشان می‌دهد. این روند با توجه به شیب بالای رودخانه قابل‌درک است. شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب پروفیل طولی رودخانه را در سه زمان مختلف از سیلاب ۲۵ ساله و ۵۰ ساله نشان می‌دهد.

مقایسه تغییرات پروفیل طولی رودخانه در سیلاب‌های ۲۵ و ۵۰ ساله نشان می‌دهد که میزان تغییرات پروفیل طولی با افزایش دوره بازگشت سیلاب افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر ظرفیت انتقال رودخانه با دبی افزایش می‌یابد و تغییرات بستر رودخانه در اثر فرسایش و رسوب، افزایش می‌یابد.



شکل ۷- تغییرات پروفیل طولی رودخانه در سیلاب ۲۵ ساله در دو زمان مختلف



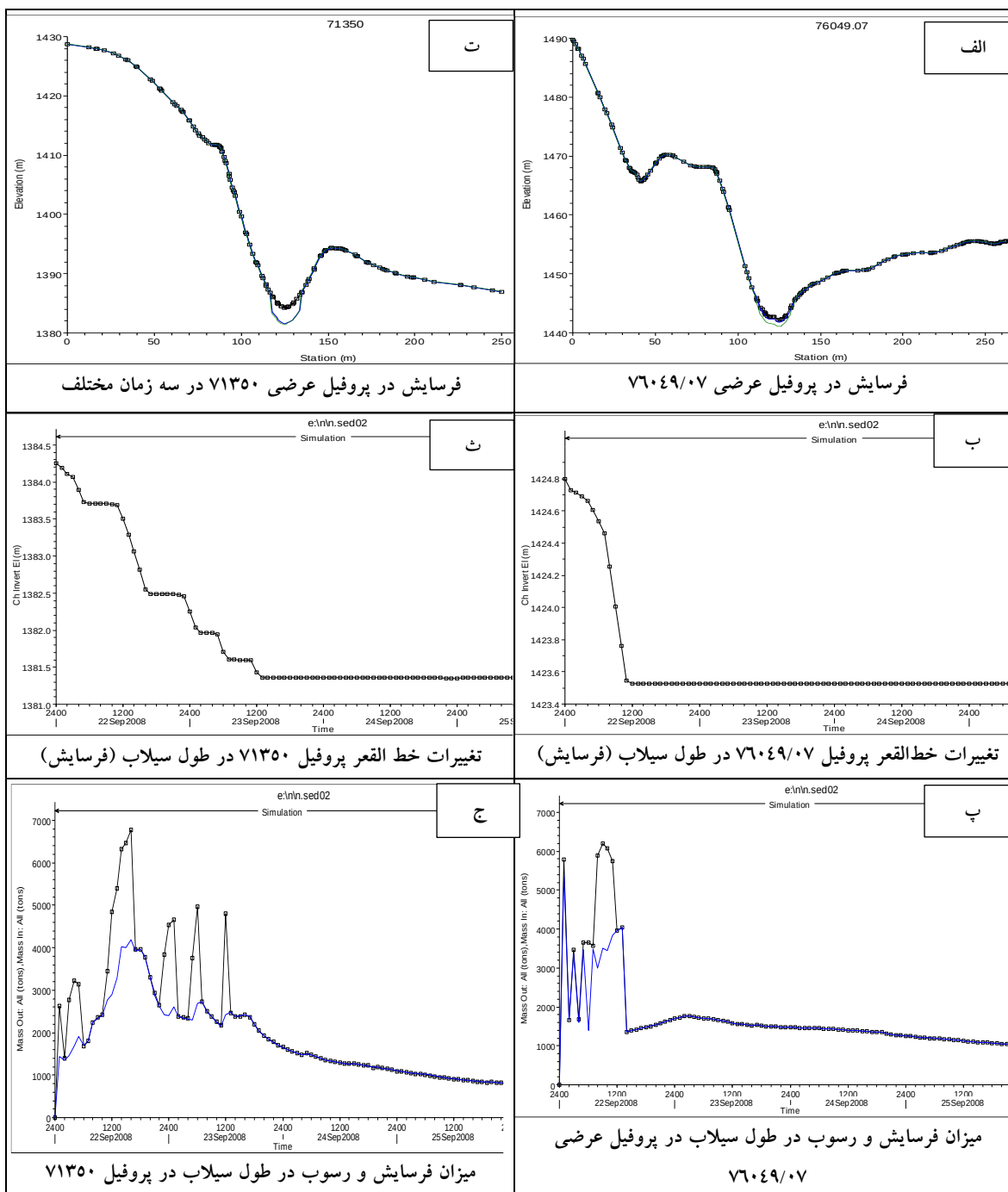
شکل ۸- تغییرات پروفیل طولی رودخانه در سیلاب ۵۰ ساله در دو زمان مختلف

۳-۱-۲- بررسی تغییرات مقاطع عرضی رودخانه در جریان شبه غیردائمی با بستر متحرک

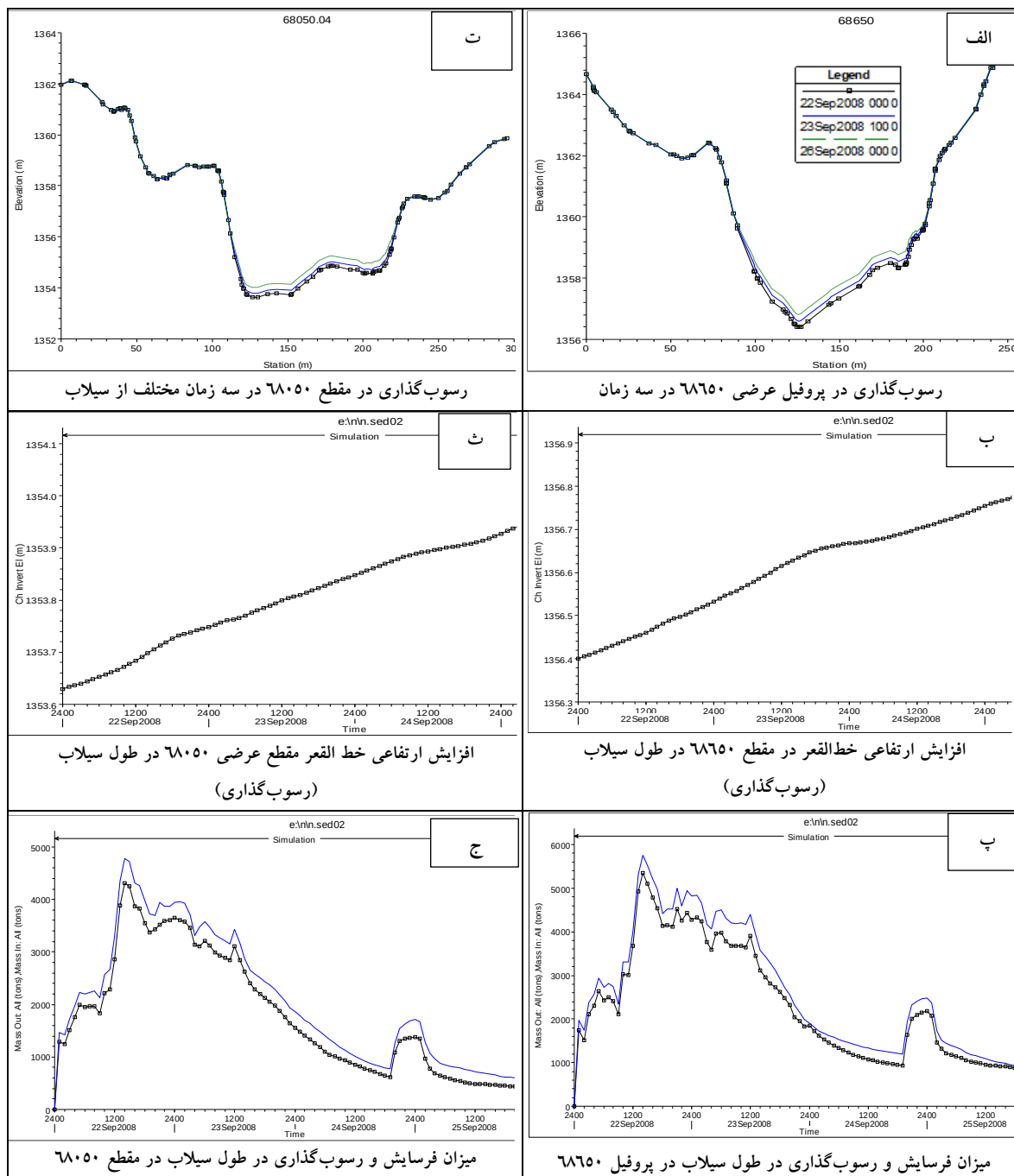
برای دید بهتر از نحوه رسوب گذاری و فرسایش بازه مطالعاتی، برخی از مقاطع عرضی در اشکال ذیل آورده شده است. در این شکل ها، مقایسه ای بین پروفیل عرضی مقطع قبل و بعد از سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله انجام شده است. بررسی مقاطع عرضی مؤید فرسایش در بالادست رودخانه و رسوب گذاری در پایین دست رودخانه است. این مورد در ادامه بررسی شده است.

شکل های (۹- الف) و (۹- ج) فرسایش در پروفیل های عرضی ۷۶۴۹/۰۷ و ۷۱۳۵۰ را در سه مقطع زمانی از سیلاب نشان می دهد. تغییرات خط القعر رودخانه در طول زمان سیلاب در شکل های (۹- ب) و (۹- ث) آورده شده است. همان طور که از اشکال مذکور مشخص است، در این مقاطع، در طول سیلاب فرسایش رخ داده است و کاهش ارتفاع خط القعر رودخانه در دو مقطع به ترتیب ۱/۲ و ۲/۵ متر است. اشکال (۹- پ) و (۹- ج) میزان رسوب ورودی به مقطع و میزان رسوب خروجی از هر مقطع را در طول کل زمان سیلاب نشان می دهند. بررسی روند تغییرات رسوب ورودی و خروجی و همچنین میزان تغییرات مقاطع عرضی مذکور نشان می دهد بستر رودخانه پس از مدتی به حالت آرمور رسیده است و بعد از آن میزان رسوب ورودی و خروجی یکسان شده و شکل مقطع عرضی تغییر نمی کند.

شکل های (۱۰- الف) و (۱۰- ت) رسوب گذاری در پروفیل های عرضی ۶۸۶۵۰ و ۶۸۰۵۰ در سه مقطع زمانی از سیلاب را نشان می دهند. همان طور که از اشکال (۱۰- ب) و (۱۰- ث) مشخص است در این مقاطع در طول سیلاب رسوب گذاری رخ داده است و باعث افزایش ارتفاع خط القعر رودخانه در این مقاطع در حدود ۴۰ سانتیمتر شده است. اشکال (۱۰- پ) و (۱۰- ج) میزان رسوب ورودی به مقطع و میزان رسوب خروجی از هر مقطع را در طول کل سیلاب نشان می دهند. همان طور که مشخص است میزان رسوب ورودی در این مقاطع بیشتر از رسوب خارج شده از مقطع است.



شکل ۹- فرسایش، تغییرات خط القعر و میزان فرسایش و رسوب در مقاطع ۷۶۰۴۹/۰۷ و ۷۱۳۵۰



شکل ۱۰- رسوب گذاری، تغییرات خط القعر و میزان فرسایش و رسوب در مقاطع ۶۸۶۵۰ و ۶۸۰۵۰

۳-۱-۳- بررسی پهنه سیل (عرض سطح آب) در دو حالت جریان دائمی با بستر ثابت و جریان شبه‌دائمی با بستر

متحرک

جهت بررسی پهنه‌بندی سیلاب نتایج خروجی شبیه‌سازی جریان در حالت دائمی و شبیه‌سازی در حالت جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک مقایسه شده است. برای این منظور بیشترین مقدار عرض سطح آب در طول سیلاب‌های ۲۵ و ۵۰ ساله در جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک با عرض سطح آب در حالت جریان دائم مقایسه شده است (جدول ۴).

بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان عرض‌های سطح آب در دو حالت مذکور، تفاوت‌های معنی‌داری با هم دارند. در حالتی که فرسایش در مقطع عرضی وجود دارد بیشترین میزان کاهش عرض سطح آب در حالت جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک، نسبت به جریان با بستر ثابت، ۸ درصد است. در حالت رسوب‌گذاری، عرض سطح آب در حالت جریان با بستر متحرک بیشتر از جریان با بستر ثابت است. بیشترین میزان افزایش عرض سطح آب در حالت جریان شبه‌دائمی با بستر متحرک، نسبت به جریان با بستر ثابت، ۱۹ درصد است. این موضوع ضرورت بررسی شرایط رودخانه از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری را تأیید می‌نماید؛ خصوصاً زمانی که رودخانه حالت رسوب‌گذاری دارد، لازم است میزان پهنه‌بندی سیلاب با دقت بیشتری تعیین شود.

جدول ۴- خروجی مدل شبیه‌سازی جریان برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در برخی از پروفیل‌های عرضی

شماره ایستگاه	نوع جریان	تراز خط‌القعر (متر)	تراز سطح آب (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	عرض سطح آب (متر)	عدد فرود	درصد تغییر عرض سطح آب نسبت به جریان بستر ثابت
۷۳۸۵۰	بستر ثابت	۱۴۴۸/۴۵	۱۴۵۲/۶۷	۲/۶۴	۷۰/۱۳	۰/۴۲	-۱/۴
	بستر متحرک	۱۴۴۸/۴۵	۱۴۵۲/۴۶	۳/۰۴	۶۹/۱۳	۰/۴۹	
۷۶۶۹۹/۶۳	بستر ثابت	۱۴۴۷/۸۵	۱۴۵۲/۵	۱/۵۲	۱۲۱/۰۶	۰/۲۲	-۱/۹
	بستر متحرک	۱۴۴۷/۰۹	۱۴۵۲/۲۶	۱/۸۸	۱۱۸/۷۲	۰/۲۸	
۷۶۶۴۸/۹۹	بستر ثابت	۱۴۴۶/۶۴	۱۴۵۲/۴۹	۱/۶۴	۱۰۹/۰۱	۰/۲۳	-۲/۲
	بستر متحرک	۱۴۴۶/۷۷	۱۴۵۲/۲۴	۲/۰۳	۱۰۶/۶۲	۰/۲۹	
۷۶۴۰۰	بستر ثابت	۱۴۴۵/۳۲	۱۴۵۰/۵۸	۴/۴۵	۴۶/۱۲	۰/۶۵	-۸
	بستر متحرک	۱۴۴۴/۸۸	۱۴۵۰/۲	۴/۷۷	۴۲/۴	۰/۶۹	
۷۶۱۵۰	بستر ثابت	۱۴۴۳/۲	۱۴۵۰	۳/۰۵	۴۱/۲۶	۰/۴	-۶
	بستر متحرک	۱۴۴۳/۰۲	۱۴۴۹/۵۹	۳/۲۸	۳۸/۸۹	۰/۴۴	
۷۵۳۰۰	بستر ثابت	۱۴۲۹/۱۶	۱۴۳۳/۹۶	۲/۶۶	۵۲/۹۴	۰/۴	+۰/۱۷

شماره ایستگاه	نوع جریان	تراز خط القعر (متر)	تراز سطح آب (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	عرض سطح آب (متر)	عدد فرود	درصد تغییر عرض سطح آب نسبت به جریان بستر ثابت
	بستر متحرک	۱۴۲۹/۱۴	۱۴۳۴/۰۱	۲/۷۸	۵۳/۰۳	۰/۴۱	
۷۵۲۵۰	بستر ثابت	۱۴۲۸/۴۱	۱۴۳۳/۶۲	۳/۶۴	۴۵/۸۳	۰/۵۲	+۱
	بستر متحرک	۱۴۲۸/۴۱	۱۴۳۳/۶۷	۳/۷۶	۴۶/۲۵	۰/۵۴	
۷۵۲۰۰	بستر ثابت	۱۴۲۷/۷۴	۱۴۳۲/۴۳	۶/۰۵	۳۳/۵۳	۰/۹۵	+۱/۲
	بستر متحرک	۱۴۲۷/۷۲	۱۴۳۲/۴۹	۶/۱۷	۳۳/۹۳	۰/۹۶	
۷۳۶۰۰	بستر ثابت	۱۴۰۷/۹۴	۱۴۱۲/۲۶	۴/۳۶	۴۶/۹۷	۰/۷	+۳/۳
	بستر متحرک	۱۴۰۸/۰۵	۱۴۱۲/۵۲	۴/۳۷	۴۸/۵۱	۰/۶۹	
۷۳۴۹۹	بستر ثابت	۱۴۰۷/۴۳	۱۴۱۱/۶۵	۳/۲۴	۴۶/۷۶	۰/۵۴	+۰/۳
	بستر متحرک	۱۴۰۷/۵۱	۱۴۱۱/۶۹	۳/۳۷	۴۶/۹۱	۰/۵۶	
۷۳۲۰۰	بستر ثابت	۱۴۰۳/۹۴	۱۴۰۷/۴۱	۵/۵	۴۱/۸۱	۱/۰۹	+۸
	بستر متحرک	۱۴۰۴/۰۳	۱۴۰۷/۸۴	۴/۷۸	۴۵/۱۳	۰/۸۹	
۷۳۱۴۹	بستر ثابت	۱۴۰۳/۰۵	۱۴۰۸/۲۳	۲/۱۳	۵۷/۷۱	۰/۳۱	+۰/۳
	بستر متحرک	۱۴۰۳/۴	۱۴۰۸/۳۱	۲/۳	۵۷/۹	۰/۳۵	
۷۲۱۰۰	بستر ثابت	۱۳۸۹/۴۶	۱۳۹۴/۱۸	۳/۳۱	۵۴/۷۱	۰/۵۱	+۰/۸
	بستر متحرک	۱۳۸۹/۷۷	۱۳۹۴/۲۵	۳/۶۹	۵۵/۱۳	۰/۵۹	
۷۱۴۵۰	بستر ثابت	۱۳۸۵/۱۳	۱۳۸۹/۹۷	۱/۷۳	۱۴۱/۱۴	۰/۲۶	-۱۹
	بستر متحرک	۱۳۸۵/۱۸	۱۳۸۸/۶۲	۳/۷	۱۱۴/۶۲	۰/۶۷	
۷۰۲۰۰	بستر ثابت	۱۳۷۰/۵۷	۱۳۷۳/۶۶	۴/۱۱	۸۸/۸۵	۰/۸	+۱
	بستر متحرک	۱۳۷۰/۶۴	۱۳۷۳/۷۲	۴/۱۸	۸۹/۶۵	۰/۸۱	
۶۸۴۵۰	بستر ثابت	۱۳۵۵/۶۳	۱۳۵۹/۰۵	۴/۱	۹۳/۵۲	۰/۷۳	+۲/۶
	بستر متحرک	۱۳۵۵/۵۵	۱۳۵۹/۰۸	۴/۱۵	۹۵/۹۴	۰/۷۲	

۴- جمع بندی

در تحقیق حاضر محاسبات پهنه بندی سیلاب در رودخانه آجی چای در پایین دست سد و نیار به طول ۹ کیلومتر در مدل ریاضی HEC-RAS در دو حالت جریان دائمی با بستر ثابت و جریان شبه غیردائمی با بستر متحرک انجام گرفت. در شبیه سازی جریان در حالت دائمی تحلیل حساسیت مدل با تغییر ضریب زبری انجام گردید و مشاهده گردید که تغییر ضریب زبری چندان اثری روی مشخصات هیدرولیکی مدل ندارد. در شبیه سازی جریان در حالت شبه غیردائمی (بستر

متحرک) تحلیل حساسیت مدل با تغییر ضریب زبری و تغییر گام زمانی محاسباتی انجام گردید و مشاهده گردید که تغییر ضریب زبری چندان اثری روی مشخصات هیدرولیکی مدل ندارد و در گام زمانی ۰/۰۱ همگرایی مدل بیشتر می‌شود. همچنین معادله رسوب یانگ هم‌خوانی بیشتری با شرایط رودخانه و دانه‌بندی مواد بستری دارد. به دلیل راحتی کار در شبیه‌سازی جریان در حالت دائمی و همچنین نیاز به اطلاعات کم، کار با آن آسان بوده و نتایج حاصل در رودخانه‌هایی که فرسایش و رسوب‌گذاری در آن‌ها شدید نیست و همچنین در مکان‌هایی که نیاز به تعیین دقیق کاربری اراضی حاشیه رودخانه نباشد می‌تواند به کار رود. همچنین در مکان‌هایی که داده‌های آماری و صحرایی در آن‌ها کم باشد می‌توان از شبیه‌سازی جریان دائمی برای به دست آوردن طرح شماتیک پهنه‌بندی سیل‌گیر رودخانه استفاده نمود.

در مناطقی که فرسایش و رسوب‌گذاری زیاد بوده و نیاز به مطالعات نحوه رسوب‌گذاری و فرسایش رودخانه باشد و اطلاعات صحرایی و داده‌های آماری نیز در دسترس باشد تحلیل جریان شبه‌غیردائمی (بستر متحرک) برای محاسبه پهنه‌بندی سیلاب دقیق‌تر و مناسب‌تر خواهد بود. در مقاطعی که حالت رسوب‌گذاری در آن‌ها وجود دارد پهنه‌بندی سیلاب آن بزرگ‌تر از نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌سازی جریان در حالت دائمی است، بیشترین میزان افزایش عرض سطح آب در حالت جریان با بستر متحرک، نسبت به جریان با بستر ثابت، ۱۹ درصد است. بنابراین بهتر است در رودخانه‌های رسوب‌گذار از مدل شبه‌غیردائمی (بستر متحرک) استفاده نمود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت ریخت‌شناسی رودخانه در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها به‌منظور مدیریت ایمن سیل است.

از آنجایی که اکثر مدل‌های موجود انتقال رسوب از جمله HEC-RAS یک‌بعدی می‌باشند و قادر به پیش‌بینی تغییرات مقاطع عرضی نیستند پیشنهاد می‌شود نتایج حاصل از عملکرد مدل‌های دو یا سه‌بعدی با مدل یک‌بعدی مقایسه شود تا در مورد مناسب بودن مدل‌های یک‌بعدی در تحلیل فرایند رسوب تصمیم‌گیری شود.

کتابنامه

- برخوردار، م؛ چاوشیان، س. ع. ۱۳۷۹. پهنه‌بندی سیلاب. مجموعه مقالات کارگاه فنی روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی، ۱۹ صفحه.
- <http://irncid.org/PublicationDet.aspx?ID=90&CatId=7>
- پورنبی درزی، س؛ وفاخواه، م؛ رجبی، م. ر. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و Arc GIS. مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه کیله شهرستان تنکابن. نشریه مخاطرات طبیعی، ۱۰(۲۸)، ۱۵-۲۸.
- <https://doi.org/10.22111/JNEH.2021.28694.1603>
- تیموری یگانه، م؛ آرمان، ع. ۱۳۹۹. برآورد دبی انتقال رسوب رودخانه شاهرود با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۴): ۱۸-۳۲.
- <https://doi.org/10.22125/TWE.2020.109909>
- حسن‌زاده، ر؛ هنرمند، م؛ حسینجانی‌زاده، م؛ محمدی، ص. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی: سیل بردسیر، استان کرمان). اکوهیدرولوژی، ۸(۲)، ۳۳۱-۳۴۴.
- <https://doi.org/10.22059/IJE.2021.314075.1423>
- حسن‌زاده، ی. ۱۳۹۱. هیدرولیک رسوب مخازن. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- غفاری، گ؛ امینی، ع. ۱۳۸۹. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی رودخانه قزل‌اوزن. فضای جغرافیایی، ۱۰(۳۲): ۱۱۷-۱۳۴.
- <https://www.sid.ir/journal/issue/9550/fa>
- قمی اوپلی، ف؛ صادقیان، م. ص؛ جاوید، ا. م؛ میرباقری، س. ا. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه کارون حد فاصل بند قیر تا اهواز، نشریه علوم و فنون منابع طبیعی، ۵(۱): ۱۰۵.
- <https://srb.iau.ir/faculty/a-javid/fa/articlesInPublications/87>
- Brunner, G. W., Gibson, S., 2005. Sediment Transport Modeling in HEC-RAS. World Water and Environmental Resources Congress. <https://doi.org/10.1061/40792%28173%29442>.
- Chow, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co. New York, 680 p.
- Cook, A., and Mervade, V., 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. Journal of hydrology. Vol (377): pp 131- 142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.015>.
- Dumitrescu, V., Barbieru, A., Carsmariu, A., 2012. Research on the simulation of the alluvial transport on the numerical model and the estimation of the morphological modifications with application on the DANUBE riverbed for a proposed sector, in the period of 2005-2010. Proc. Int. Conf., water resources and Wetlands, Tulcea-Romania. 14-16 pp. [http:// www.limnology.ro/water2012/ Proceedings/014.pdf](http://www.limnology.ro/water2012/Proceedings/014.pdf)
- Ghimire, G. R., DeVantier, B. A., Sharma S., 2020. Site-Specific Sediment Deposition Model for Dredging Planning: Case Study of Olmsted Locks and Dam. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 146, Issue 5. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000598](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000598)

- Joshi, N., Gaurav Raj Lamichhane, G. R., Rahaman, M., Kalra, A., and Ahmad, S., 2019. Application of HEC-RAS to Study the Sediment Transport Characteristics of Maumee River in Ohio. World Environmental and Water Resources Congress. Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis. <https://doi.org/10.1061/9780784482353.024>
- Mohammad Razi, M. A., Marimin, N. A., Ahmad, M. A., Adnan, M. S., & Rahmat, S. N., 2018. HEC-RAS Hydraulic Model for Floodplain Area in Sembrong River. International Journal of Integrated Engineering. 10(2). Retrieved from <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/2645>.
- Regmi, R.K., 2021. Sedimentation Modeling of Karnali Chisapani Multipurpose Project Reservoir, Nepal. J. Inst. Eng. India Ser. A 102, 815–827. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00550-z>.
- Salman, A., Hassan, S.S., Khan, G.D.et al., 2021. HEC-RAS and GIS-based flood plain mapping: A case study of Narai Drain Peshawar. Acta Geophys. 69: 1383–1393. <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00615-4>.



Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-Type Stands in Northern Iran

Roghayeh Jahdi^{a*} 

^a Assistant Professor in Forest Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 28 January 2022

Revised: 2 May 2022

Accepted: 8 May 2022

Abstract

Silvicultural treatments have been applied in the last decades to broadleaf and conifer plantations to increase resilience by enhancing structural and age-class diversity in northern Iran. The treatments included mechanical thinning manipulations, not followed by surface fuel reduction treatments like prescribed burning. The goal of this study was analyzing the impact of stand-level silvicultural thinning on landscape-scale wildfire behavior. FlamMap minimum travel time (MTT) fire modeling system was used to simulate the impacts of thinning on fire growth and behavior based on spatial and temporal patterns of historical fire ignitions and associated weather and fuel moisture conditions within a forest landscape. Simulations were done by setting two different fuel moisture scenarios: 1) fuel moisture is fixed as the stands thinned, and 2) fuel moisture is reduced with the same degree of thinning. The results showed that thinning alone can be somewhat effective at mitigating the wildfires; as the landscape proportion with low burn probabilities (BP), conditional flame lengths (CFL), and fire sizes (FS) increases. This trend was not the same at higher values of these parameters. Although fine fuel moisture in thinned stands was lower than in unthinned stands, the fuel moisture difference resulting from stand thinning did not substantially influence fire behavior at the landscape level. The findings of this study can be used for better fire and fuel management and other land-use objectives in fire-prone areas.

Keywords: Fuel Moisture, Siahkal Forest, Silvicultural Treatment, Thinning, Wildfire Behavior

* E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

Tel: + 989112340249

How to cite this Article: Jahdi, R. (2023). Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-type Stands in Northern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 87-101.

DOI:10.22067/geoeh.2022.74988.1164



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74988.1164> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۸۷-۱۰۱
مقاله پژوهشی

آتش سوزی‌ها در توده‌های جنگل کاری تنک شده و تنک نشده در شمال ایران

رقیه جهدی^۱ - استادیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱۸

چکیده

در جنگل کاری‌های پهن برگ و سوزنی برگ، تیمارهای جنگل‌شناسی برای افزایش تاب‌آوری از طریق بهبود تنوع ساختاری و کلاسه سنی در شمال ایران، اعمال شده است. این تیمارها شامل دست کاری‌های مکانیکی مانند تنک کردن بود که با تیمارهای کاهش ماده سوختنی سطحی مانند سوزاندن تجویزی همراه نبود. هدف از این مطالعه تجزیه و تحلیل چگونگی اثر تنک کردن جنگل‌شناسی در سطح توده بر رفتار آتش در مقیاس سیمای سرزمین است. از سیستم مدل سازی آتش FlamMap با الگوریتم حداقل زمان حرکت (MTT) برای شبیه سازی اثر تنک کردن بر رشد آتش بر اساس الگوهای مکانی و زمانی احتراق تاریخی و شرایط آب و هوا و رطوبت ماده سوختنی مرتبط در سیمای سرزمین جنگل سیاهکل استفاده شد. شبیه سازی‌ها تحت دو سناریو مختلف رطوبت ماده سوختنی انجام شد: (۱) رطوبت ماده سوختنی ثابت با تنک کردن توده‌ها و (۲) رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته با همان درجه تنک کردن. نتایج نشان داد که تنک کردن به تنهایی می‌تواند تا حدودی در کاهش شدت آتش مؤثر باشد، به نحوی که سهم سیمای سرزمین با مقادیر کم احتمال سوختن، طول شعله شرطی و اندازه آتش، افزایش یافت. این روند در مقادیر زیادتر این مؤلفه‌ها یکسان نبود. اگرچه رطوبت ماده سوختنی ریز در توده‌های تنک شده کمتر از توده‌های تنک نشده بود، این تفاوت رطوبت ماده سوختنی ناشی از تنک کردن توده بر رفتار آتش در سطح سیمای سرزمین تأثیر مهمی نداشت.

Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۱۲۳۴۰۲۴۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

جهدی، رقیه؛ ۱۴۰۲. آتش سوزی‌ها در توده‌های جنگل کاری تنک شده و تنک نشده در شمال ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی.

۱۲(۱). صص ۸۷-۱۰۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74988.1164>

یافته‌های این مطالعه برای ارزیابی اثربخشی کاهش ماده‌سوختنی ناشی از تنک‌کردن (بدون آتش تجویزی) می‌تواند از طریق مدیریت بهتر آتش و ماده‌سوختنی و سایر اهداف استفاده از زمین در مناطق مستعد آتش‌سوزی موردتوجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: جنگل سیاهکل، رطوبت ماده‌سوختنی، تیمار جنگل‌شناسی، تنک‌کردن، رفتار آتش.

۱- مقدمه

آتش‌سوزی‌ها یکی از تهدیدات اصلی جنگل‌ها است که باعث خسارات اقتصادی و محیط‌زیستی می‌شود. در دهه‌های گذشته، جنگل‌کاری‌ها که در سراسر جهان در حال گسترش هستند از بوم‌سازگان‌های مکرر سوخته‌شده در جهان به‌شمار می‌آیند (دکاسترو گالیزیا و رودریگز، ۲۰۱۹). در حال حاضر این جنگل‌کاری‌ها ۷ درصد از کل مناطق جنگلی جهان را در بر می‌گیرند و تقریباً ۳۳ درصد از چوب گرد دنیا را فراهم می‌کنند (فریر-اسمیت^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). بااین‌وجود، مطالعات متعددی نشان داده که جنگل‌کاری‌ها منجر به افزایش خطر آتش و توزیع مکانی رخداد آتش در مناطق مستعد آتش‌سوزی شده است (مارتین^۳ و همکاران، ۲۰۱۶؛ جاکو کاستلو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). جنگل‌کاری‌ها به‌ویژه از نوع سوزنی‌برگان ساختار و بارهای ماده‌سوختنی را تغییر می‌دهد و موجب آسیب‌پذیری نسبت به آتش‌سوزی‌های شدید شده و در نتیجه روی رژیم آتش بوم‌سازگان جنگل اثر می‌گذارد (پاریتسیس^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

تیمارهای کاهش ماده‌سوختنی (به‌عنوان مثال تنک‌کردن و آتش‌سوزی تجویزی) پتانسیل زیادی در مدیریت آتش برای کاهش تجمع و پیوستگی ماده‌سوختنی و به‌عنوان یک رویکرد پیشگیری از آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های مستعد آتش‌سوزی دارد. تنک‌کردن به‌عنوان یکی از متداول‌ترین تیمارهای ماده‌سوختنی، به‌طورکلی یک ابزار مؤثر و قوی مدیریت جنگل است که منجر به تقویت رشد درختان (از طریق کاهش تعداد درختان در یک توده) و بازسازی سلامت جنگل می‌شود (کنپ^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). با تأثیر بر ساختار و ترکیب جنگل، تنک‌کردن باعث افزایش تاب‌آوری این بوم‌سازگان نسبت به آشفته‌گی‌های آتی مانند آتش‌سوزی می‌شود و به اثربخشی روش‌های مدیریت آتش کمک می‌کند (هود^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ پارسونز^۸ و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طورکلی درجه اثربخشی تیمارهای ماده‌سوختنی در دستیابی به اهداف اکولوژیکی مانند کاهش خطر آتش وابسته به عوامل متعددی است که در مناطق

1 de Castro Galizia and Rodrigues

2 Freer-Smith

3 Martín

4 Jaque Castillo

5 Paritsis

6 Knapp

7 Hood

8 Parsons

محدودی مطالعه شده است. شرایط توده جنگل قبل از تیمار و ماهیت تیمار می‌تواند روی دستاوردها اثر گذارد و عدم قطعیت در شرایط سوختن آتش در منطقه تیمار شده از چالش‌های اصلی برای این مطالعات است (کالیس و کنت^۱، ۲۰۱۶). در پاسخ به این چالش‌ها، استفاده از مدل‌های رفتار آتش، بررسی دقیق تأثیرات ناهمگونی ماده سوختنی بر رفتار آتش‌سوزی را امکان‌پذیر می‌سازد و فرصتی برای ارزیابی آثار تیمارهای مختلف ماده سوختنی فراهم می‌کند. در واقع، تیمارهای ماده سوختنی گزینشی را می‌توان با رویکردهای مدل‌سازی مبتنی بر خطر، برای ارتقای روش‌های مدیریت مؤثرتر و حمایت از سیاست‌های بهتر پیشگیری از آتش‌سوزی جنگل، ارزیابی کرد (تامپسون و کالکین^۲، ۲۰۱۱؛ گومز-گونزالس^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات مدل‌سازی زیادی وجود دارد (سالیس^۴ و همکاران، ۲۰۱۸؛ اگر^۵ و همکاران، ۲۰۲۰؛ مارشال^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ هان^۷ و همکاران، ۲۰۲۱) که بر روی دستیابی به این هدف با ارزیابی اثربخشی و مقرون به صرفه بودن طیف گسترده‌ای از تیمارهای ماده سوختنی تمرکز دارند.

توسعه اراضی کشاورزی، تصاحب زمین در مقیاس بزرگ، شیوه‌های بهره‌برداری در گذشته، چرای بیش از حد دام‌ها و تیمارهای جنگل‌شناسی ساختار جنگل را دگرگون کرده و رژیم آتش را از آتش با شدت کم تا آمیخته به آتش با شدت زیاد در جنگل‌های کهن هیرکانی در شمال ایران در ۳ دهه گذشته، تغییر داده است. علاوه بر این، درختان سریع‌الرشد مانند صنوبر، افرا، توسکا و کاج در جنگل‌کاری‌های بزرگ-مقیاس تحت جنگلداری با چرخش کوتاه در این منطقه استفاده شده است. اگرچه گزارش‌های متناقضی در مطالعات قبلی در مورد اثربخشی تنک‌کردن به تنهایی (بدون آتش‌سوزی تجویزی) بر رفتار آتش‌سوزی وجود دارد (ایچی و لولی^۸، ۲۰۰۶؛ استس^۹ و همکاران، ۲۰۱۲؛ بانرجی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰؛ جانستون^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۱)، در این کار، پاسخ سیمای سرزمین به تیمار تنک‌کردن در جنگل‌کاری‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در بوم‌سازگان جنگلی سیاهکل، شمال ایران ارزیابی شد. بنابراین، هدف مطالعه ارزیابی آثار تنک‌کردن بر خطر بالقوه آتش‌سوزی و تغییر رطوبت مواد سوختنی سطحی ریز ناشی از تنک‌کردن در طی سال‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه است. با استفاده از یک مدل رفتار آتش و تعریف سناریوهای مختلف تیمار ماده سوختنی، شبیه‌سازی مشخص مکانی آتش در مواد سوختنی جنگلی منطقه مورد مطالعه

1 Kalies and Kent

2 Thompson and Calkin

3 Gomez-Gonzalez

4 Salis

5 Ager

6 Marshall

7 Hahn

8 Agee and Lolley

9 Estes

10 Banerjee

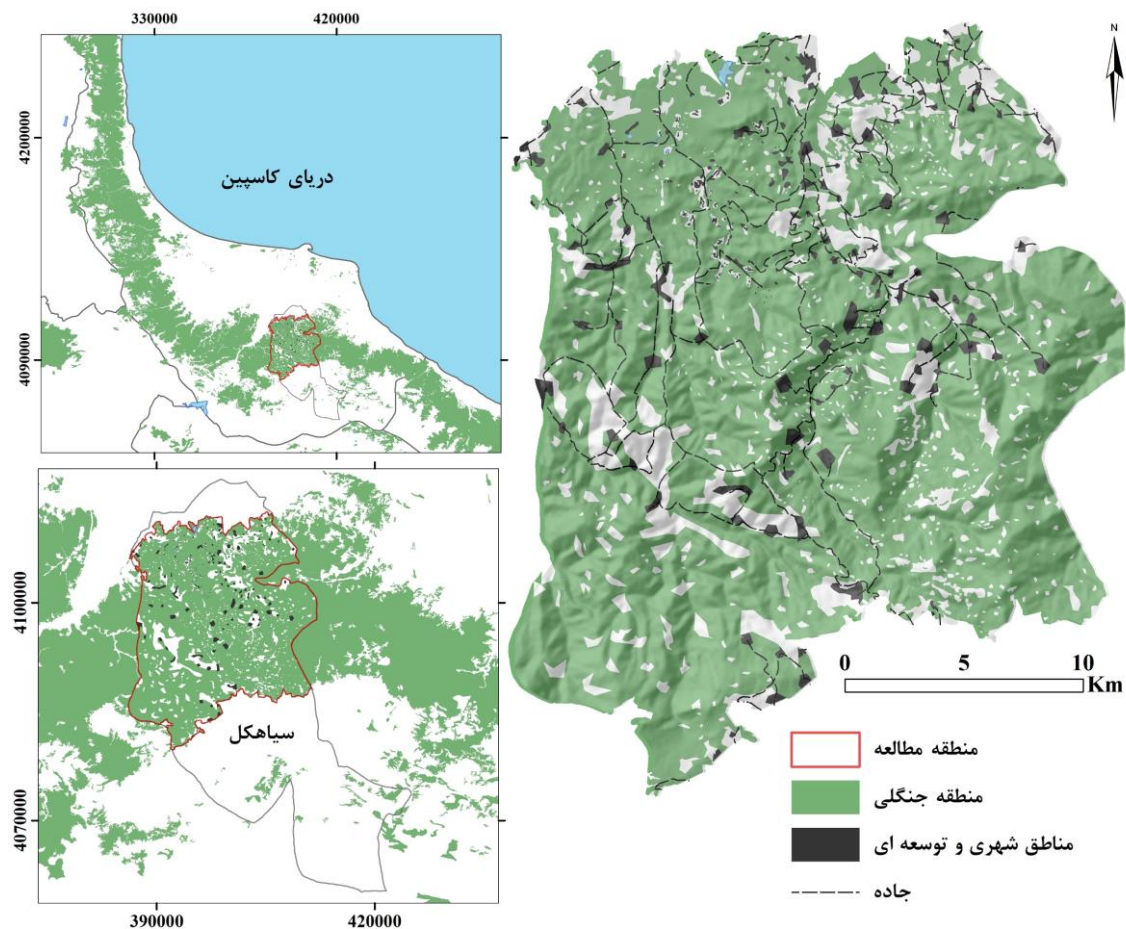
11 Johnston

انجام شد. ارزیابی کمی تغییرات رفتار آتش سوزی ناشی از تنک کردن در سیمای سرزمین جنگل مورد مطالعه می تواند برای برنامه ریزی رویکردهای تیمار ماده سوختنی و مدیریت مواد سوختنی با پتانسیل زیاد خطر آتش مهم باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

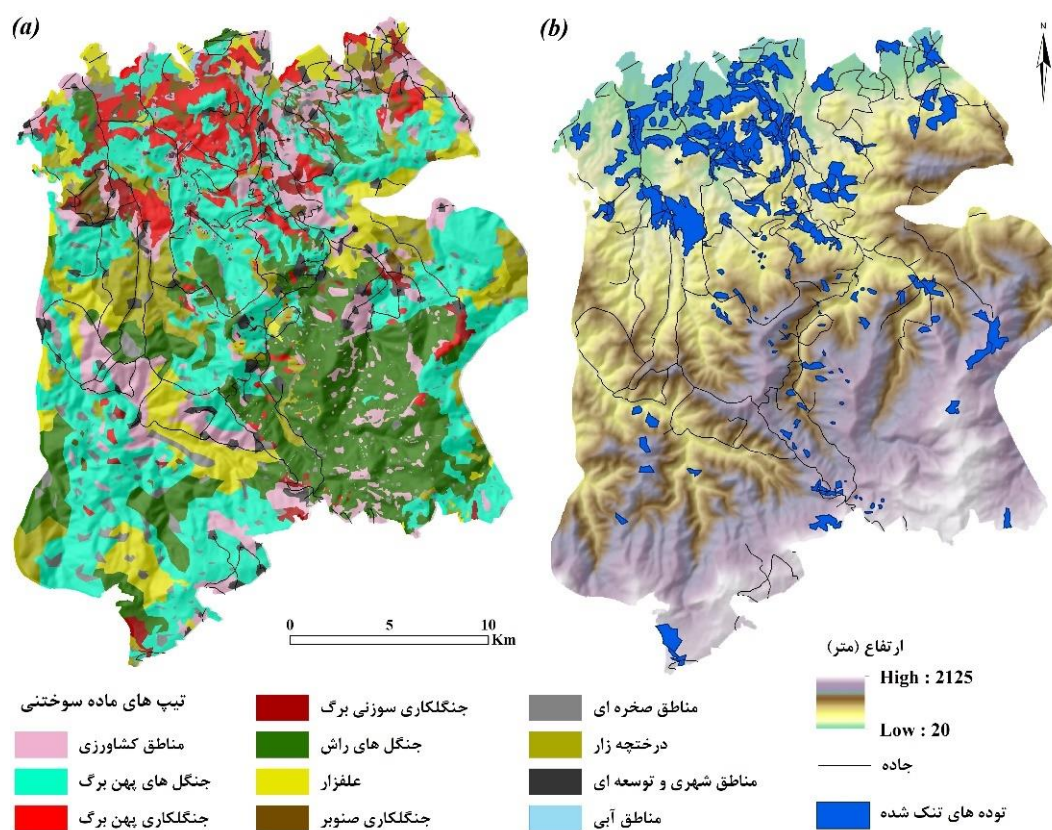
این مطالعه در سیمای سرزمین جنگلی سیاهکل ($38^{\circ}61' - 41^{\circ}20'$ عرض شمالی، $41^{\circ}12' - 40^{\circ}79'$ طول شرقی)، در شمال ایران با وسعت ۵۷,۱۱۰ هکتار انجام شد (شکل ۱). با توجه به دامنه ارتفاعی این منطقه (۲۰ تا ۲۱۲۵ متر از سطح دریا)، از نظر پهنه بندی اقلیمی به سه پهنه مجزا تقسیم می شود: (۱) پهنه جلگه ای در شمال ناحیه و تا ارتفاع ۱۰۰ متر، که با میانگین دمای سالانه ۱۸ سانتی گراد و بارندگی ۱۲۰۰ میلی متر گرم ترین و پر باران ترین پهنه اقلیمی ناحیه است. در مجموع این پهنه دارای تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های معتدل است. اغلب سکونت گاه ها در این ناحیه شکل گرفته است. (۲) پهنه کوهپایه ای در جنوب پهنه اول قرار دارد و از نظر ارتفاعی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در نوسان است. از نظر دمایی بسیار معتدل تر از پهنه اول و میزان بارندگی در آن بین ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی متر است. با وجود تابستان های معتدل و زمستان های سرد، این پهنه شامل جنگل های متراکم منطقه است. (۳) این پهنه در ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر، با کاهش قابل ملاحظه دما و نیز بارندگی سالانه (کمتر از ۸۰۰ میلی متر) همراه است. در این پهنه کوهستانی سطوح جنگلی تبدیل به بیشه زار و مراتع می شود (خوشدل و همکاران، ۱۳۹۹). به طور کلی، در منطقه مورد مطالعه متوسط دمای سالانه ۱۲/۵ درجه سانتی گراد و میزان متوسط بارندگی سالانه نیز ۴۰۰ میلی متر است. جهت غالب باد منطقه غربی و متوسط سرعت باد سالانه ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت است. علاوه بر باد غالب، بادهای محلی گرم باد (گرمش یا گرمیج) با جهت های جنوبی و جنوب غربی از دیگر ویژگی های آب و هوایی این منطقه است (مفیدی و همکاران، ۲۰۱۵). این بادهای گرم و خشک که از شمال البرز به طرف جلگه های ساحلی می وزد (عابد و همکاران، ۱۳۹۴) و گرمای محیط را در کوتاه ترین مدت چندین درجه افزایش می دهد، در آتش سوزی جنگل های منطقه اثرگذار است. مطالعات قبلی در مورد پیش بینی های تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه نیز بر افزایش درجه حرارت و خشکی ها در این منطقه تأکید دارد که می تواند به میزان قابل توجهی بر افزایش خطر آتش جنگل در این ناحیه مؤثر باشد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ کاظمی راد و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱- محدوده سیمای سرزمین جنگل سیاهکل در جنوب دریای کاسپین، در شمال شهرستان سیاهکل.

۲-۲- انتخاب سناریوهای تیمار ماده سوختنی و مدل سازی آتش

منطقه مورد مطالعه یک سیمای سرزمین جنگلی ایده آل برای این بررسی به دلیل وسعت مکانی بزرگ و سابقه اجرای طرح های جنگلداری و پیاده سازی شیوه های مختلف جنگل شناسی از جمله تنک کردن در دهه های گذشته است. توده های طبیعی شامل راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، بلوط (*Quercus*، *Castaneifolia* C.A. Mey.)، افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، انجیلی (*Parrotia persica* (DC.) C.A.Mey.)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) و توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) به همراه توده های دست کاشت افرا پلت، صنوبر (*Populus caspica* Bornm.)، بلوط، کاج نوئل (*Picea abies* L. Karst.) و کاج تدا (*Pinus taeda* L.) سیمای سرزمین جنگلی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می دهد. نقشه تپ پوشش گیاهی (ماده سوختنی) و توزیع مکانی توده های تنک شده (شکل ۲) از کتابچه های طرح های جنگلداری اجرا شده در منطقه مورد مطالعه توسط اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، تهیه شد.



شکل ۲- تپ های ماده سوختنی اصلی منطقه مورد مطالعه (a) و موقعیت توده های تنک شده همراه با نقشه ارتفاع (b).

در کل دو سناریو تیمار ماده سوختنی در این مطالعه انتخاب شد: (۱) سناریو بدون تیمار (NT) یا کنترل (بدون تنک کردن)؛ (۲) سناریو تیمار شده (TREAT) که شامل توده های تنک شده است. این توده ها در جنگل کاری های پهن برگ و سوزنی برگ با برداشت ۱۰ درصد از رویه زمینی (۱۳۸۷-۱۳۹۴) و با یک حد قطر برابر سینه بیش از ۱۵ سانتی متری تنک شد. سناریو تیمار شده بر اساس شرایط رطوبت ماده سوختنی سطحی خود از دو سناریو شامل (۱) محتوای رطوبت ماده سوختنی بعد از تنک کردن تغییر نکرده (TREAT-FMC) و (۲) محتوای رطوبت ماده سوختنی بعد از تنک کردن کاهش یافته (TREAT-LMC)، تشکیل شده است. برآورد رطوبت ماده سوختنی بدون تیمار و تیمار شده بر اساس مدل گسترش آتش سطحی **روترمال (۱۹۷۲)** و روش ارائه شده در مطالعه **جهدی و همکاران (۱۳۹۴)** انجام شد. ضمناً، ورودی های آب و هوا برای برآورد رطوبت ماده سوختنی و نیز مدل سازی آتش از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی دیلمان (۱۴۴۸ متر: $36^{\circ}53'$ عرض شمالی، $49^{\circ}54'$ طول شرقی) و ایزم (۷۷ متر: $40^{\circ}40'$ عرض شمالی، $41^{\circ}11'$ طول شرقی) در منطقه مورد مطالعه استخراج شد.

در این مطالعه از ArcFuels (اگر و همکاران، ۲۰۰۶) برای تسهیل برنامه‌ریزی تیمار ماده‌سوختنی و تجزیه و تحلیل آثار استفاده کردیم. ArcFuels مجموعه‌ای از ماکروهای ArcGIS است که ارتباط بین مجموعه‌ای از مدل‌ها و برنامه‌های دیگر را که معمولاً در برنامه‌ریزی تیمار ماده‌سوختنی در مقیاس سیمای سرزمین استفاده می‌شود مانند شبیه‌سازی رشد و محصول گیاهان، مدل‌های رفتار آتش، ArcGIS، و نرم‌افزار دسکتاپ، تسهیل می‌کند. مدل‌سازی رفتار آتش با استفاده از الگوریتم حداقل زمان حرکت در مدل FlamMap (نسخه ۶٫۱؛ فینی، ۲۰۰۶) با معرفی دو فایل سیمای سرزمین (شامل نقشه‌های رستری توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) و مدل ماده‌سوختنی سطحی و مشخصات تاج پوشش) بدون تیمار (NT) و تیمار شده (TREAT) انجام شد. شبیه‌سازی مولفه‌های احتمال سوختن، طول شعله شرطی (متر) و اندازه آتش (هکتار) با لحاظ مدت آتش‌سوزی متوسط ۶ ساعت و اندازه تفکیک ۳۰ متری، انجام شد. مطابق تعریف اگر و همکاران (۲۰۱۱) احتمال سوختن (BP) نسبت تعداد دفعاتی که یک سلول می‌سوزد به تعداد کل احتراق‌های آتش شبیه‌سازی شده است. همچنین طول شعله شرطی (CFL)، طول شعله با وزن احتمالی با توجه به وقوع آتش‌سوزی است و معیاری برای خطر آتش‌سوزی می‌باشد.

شبیه‌سازی‌ها بر اساس ۱۰,۰۰۰ نقطه احتراق تصادفی که با در نظر گرفتن نقاط احتراق تاریخی در منطقه مطالعه در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ درون‌یابی شده بود (جهدی و عربی، ۱۳۹۹)، برای دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده، اجرا شد. شرایط آب و هوایی برای مدل‌سازی گسترش آتش با سناریو خشک (۷۵ درصد) با توجه به شرایط مشاهده‌شده در فصول آتش‌سوزی شدید در منطقه مورد مطالعه، در نظر گرفته شد. در نهایت، به‌منظور شناسایی تفاوت‌ها بین تیمارها و تجزیه و تحلیل آماری نتایج مدل‌سازی، تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT به همراه بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در اکسل، انجام شد.

۳- نتایج و بحث

رفتار آتش برای سیمای سرزمین جنگلی مورد مطالعه با استفاده از خروجی‌های شبیه‌سازی احتمال سوختن، طول شعله شرطی و اندازه آتش ارزیابی شد. مقایسه‌ها بین تیمارهای مختلف ماده‌سوختنی (TREAT-FMC، NT) و (TREAT-LMC) تحت شرایط آب و هوا و احتراق آتش تاریخی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج این مقایسه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین نقشه‌های رفتار آتش دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده در شکل ۳ آمده است.

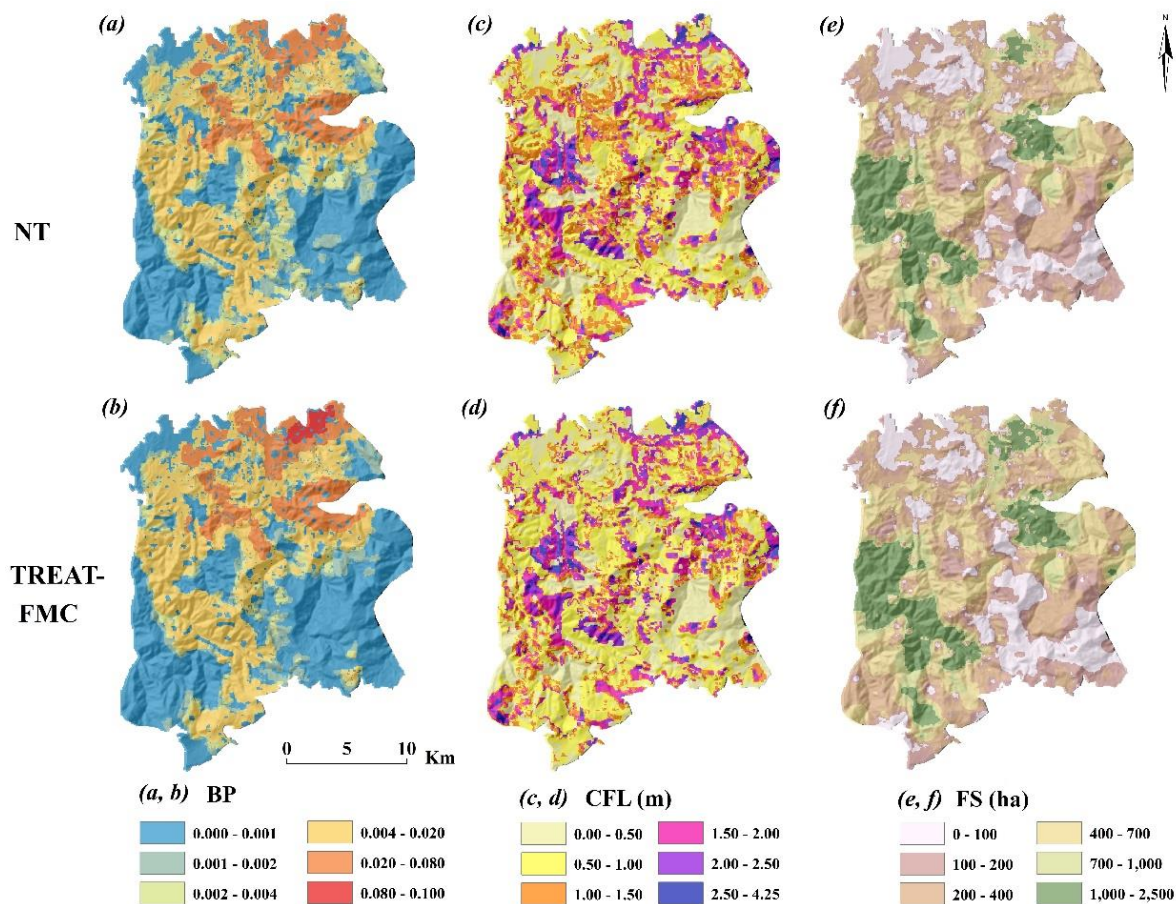
جدول ۱- ارزش‌های میانگین (انحراف از معیار)، کمینه و بیشینه رفتار آتش برای سناریوهای NT (بدون تیمار)، TREAT-FMC (تیمارشده با رطوبت ماده‌سوختنی ثابت بعد از تنک کردن) و TREAT-LMC (تیمارشده با رطوبت ماده‌سوختنی کمتر بعد از تنک کردن).

FS (ha)			CFL (m)			BP			تیمار ماده سوختنی
میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	
^a ۴۸۲/۶۵ (۴۹۷/۷۳)	۲۴۵۴/۶۸	۰/۰۰	^a ۰/۹۷۸ (۰/۶۹۷)	۴/۲۵	۰/۰۰	^a ۰/۰۰۷۱ (۰/۰۰۱۷)	۰/۰۸۱۳	۰/۰۰۰۰	NT
^b ۵۱۰/۰۵ (۴۸۴/۱۰)	۲۴۸۷/۷۹	۰/۰۰	^b ۰/۹۰۱ (۰/۶۰۳)	۴/۲۵	۰/۰۰	^b ۰/۰۰۷۵ (۰/۰۰۱۴)	۰/۱۰۰۰	۰/۰۰۰۰	TREAT-FMC
^b ۵۰۹/۷۴ (۴۸۴/۱۱)	۲۴۸۶/۸۲	۰/۰۰	^b ۰/۹۰۰ (۰/۶۰۴)	۴/۲۵	۰/۰۰	^b ۰/۰۰۷۵ (۰/۰۰۱۴)	۰/۰۹۹۸	۰/۰۰۰۰	TREAT-LMC
BP = احتمال سوختن؛ CFL = طول شعله شرطی؛ FS = اندازه آتش تفاوت‌های معنی‌دار ($P < 0.05$) بین NT (بدون تیمار) و TREAT (تیمارشده) با حروف کوچک متفاوت در ستون میانگین ارزش‌ها ارائه شده است.									

احتمال سوختن (BP) در منطقه مطالعه از ۰/۰ تا ۰/۰۸۱۳ با میانگین ۰/۰۰۷۱ برای سناریو پایه NT متغیر بود که به این معنا است که به طور متوسط هر پیکسل ۲۱۳ مرتبه (با لحاظ ۳۰,۰۰۰ احتراق شبیه‌سازی شده در سه سناریو تیمار ماده‌سوختنی) سوخته است (جدول ۱). سناریوهای TREAT-FMC و TREAT-LMC که در آنها تیمار تنک کردن ماده‌سوختنی به ترتیب با لحاظ رطوبت ماده‌سوختنی ثابت و رطوبت ماده‌سوختنی کاهش یافته انجام شده است، هر دو دارای متوسط احتمال سوختن ۰/۰۰۷۵ و تفاوت مشابه با سناریو NT بودند (جدول ۱). احتمال سوختن به ترتیب ۷ و ۶/۵ درصد نسبت به سناریو NT افزایش یافت.

طول شعله شرطی (CFL) از ۰/۰ تا ۴/۲۵ متر با ارزش متوسط ۰/۹۸ متر برای سناریو NT متغیر بود. سناریوهای TREAT-FMC و TREAT-LMC دارای متوسط طول شعله شرطی ۰/۹۰ متری بودند (جدول ۱). تفاوت بین تیمارها بسیار ناچیز و به طور متوسط این دو سناریو تیمارشده تقریباً به میزان ۸ درصد کاهش طول شعله شرطی نسبت به سناریو NT داشتند.

اندازه آتش شبیه‌سازی شده بر اساس نقاط احتراق تاریخی در منطقه مورد مطالعه نیز بین سه سناریو تیمار ماده‌سوختنی مقایسه شد. متوسط اندازه آتش در سناریو NT، ۴۸۲/۶۵ هکتار بدست آمد (جدول ۱). اندازه آتش در دو سناریو TREAT-FMC و TREAT-LMC حدود ۵۱۰ هکتار بدست آمد که تقریباً ۵/۶ درصد افزایش اندازه آتش در نتیجه تنک کردن را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه‌های احتمال سوختن (BP؛ a و b)، طول شعله شرطی (CFL (متر)؛ c و d) و اندازه آتش (FS) (هکتار)؛ e و f) برای سناریوهای NT (بدون تیمار) و TREAT-FMC (تیمارشده با رطوبت ماده سوختنی ثابت بعد از تنک‌کردن)

در برخی مطالعات قبلی مطرح شده که تنک‌کردن با تغییر میکرواقلیم (به‌عنوان مثال، تنک‌کردن تاج جنگل منجر به افزایش سرعت باد و تابش خورشیدی می‌شود) و تسریع خشک شدن ذرات ماده سوختنی، می‌تواند خطر بالقوه رفتار شدید آتش‌سوزی را افزایش دهد (وایت‌هد^۱ و همکاران، ۲۰۰۶؛ کاليس و کنت، ۲۰۱۶؛ روسل^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). با این وجود، در بسیاری از مطالعات دیگر گزارش شده که جنگل‌های تنک‌شده دارای شدت آتش کمتری نسبت به جنگل‌های تنک‌نشده هستند (پارسونز و همکاران، ۲۰۱۸؛ بانرجی و همکاران، ۲۰۲۰؛ جانستون و همکاران، ۲۰۲۱)، یا دست‌کم تفاوت معنی‌داری از نظر رفتار آتش بین این جنگل‌ها مشاهده نشده است (استس و همکاران، ۲۰۱۲). در

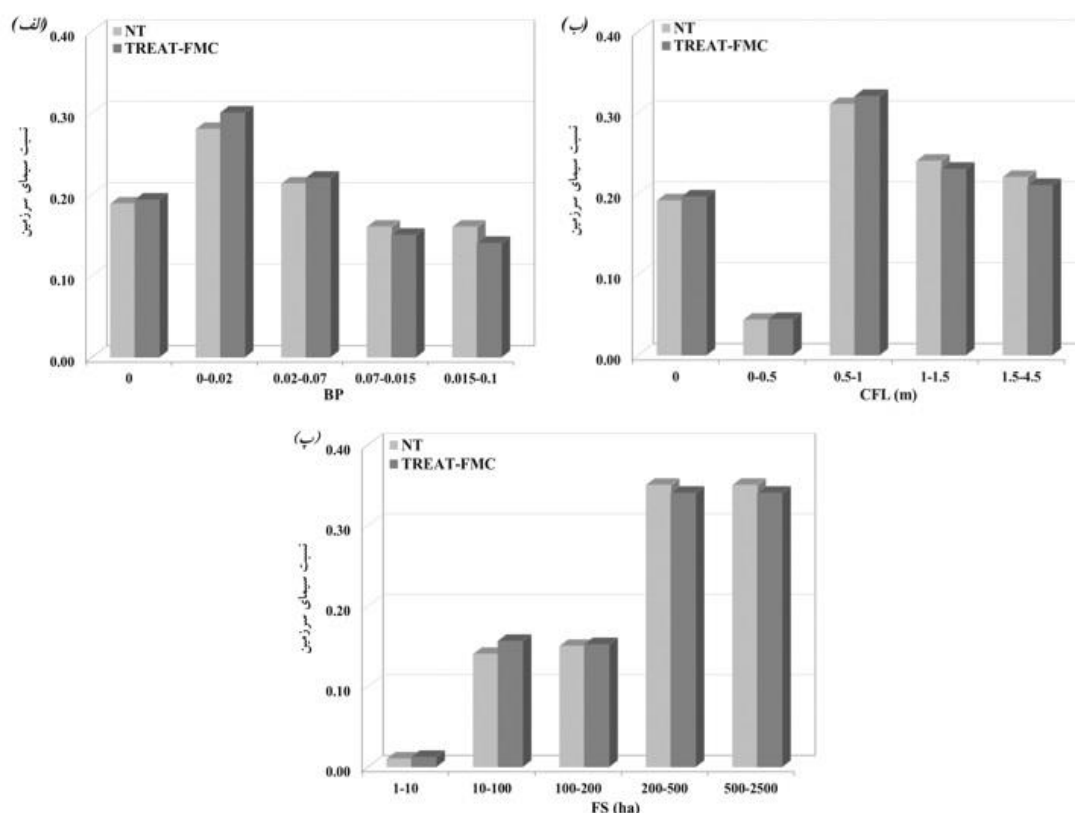
1 Whitehead

2 Russell

این مطالعه، در ارتباط با تیمار تنک کردن انجام شده هر دو سناریو رطوبت ماده سوختنی ثابت و رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته، در کاهش طول شعله شرطی نسبت به احتمال سوختن و اندازه آتش موثرتر بوده اند. این یافته با نتایج مطالعه آرلانو-پرز^۱ و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد، در حالی که مغایر با نتیجه مطالعه اچودو مونوز^۲ (۲۰۱۶) است. همچنین، نتایج این مطالعه نیز نشان می دهد که تفاوت های رطوبت ماده سوختنی ناشی از تنک کردن اثر قابل توجهی روی رفتار آتش نداشته است که مطابق با مطالعه استس و همکاران (۲۰۱۲) است.

در تکمیل ارائه نتایج، نمایه ای از توزیع فراوانی ارزش های سه مؤلفه آتش شبیه سازی شده در کلاس های مختلف، در دو سیمای سرزمین بدون تیمار و تیمار شده در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به معنی دار نبودن تفاوت های مؤلفه های رفتار آتش در دو سناریو رطوبت ماده سوختنی ثابت (TREAT-FMC) و رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته (TREAT-LMC) مطابق با نتایج جدول ۱، در ادامه بررسی نتایج به مقایسه سناریو بدون تیمار (NT) و تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی ثابت (TREAT-FMC) پرداخته می شود. بر اساس شکل ۴، کاهش طول شعله شرطی و افزایش احتمال سوختن و اندازه آتش برای سناریو تیمار شده (TREAT-FMC) نسبت به سناریو بدون تیمار (NT) در کلاس های مختلف متقارن نیست. به طور کلی نسبت سیمای سرزمین با مقادیر کمتر این سه مؤلفه رفتار آتش افزایش یافته است. در مورد احتمال سوختن، سهم سیمای سرزمین مطالعه شده با مقادیر احتمال سوختن کمتر از ۰/۰۷ افزایش داشته است، در حالی که این سهم در مقادیر بین ۰/۰۷ الی ۰/۱ کاهش قابل توجهی را نشان می دهد. در مورد طول شعله شرطی نیز توزیع کلاس های با ارزش های کمتر از یک متر افزایش داشته است، اما توزیع کلاس ها با مقادیر طول شعله بیش از یک متر کاهش دارد. توزیع کلاس های اندازه آتش نیز با افزایش در کلاس های کمتر از ۲۰۰ هکتار و کاهش در کلاس های با اندازه آتش بزرگتر مشاهده شده است.

1 Arellano-Pérez
2 Acevedo Muñoz



شکل ۴- توزیع فراوانی احتمال سوختن (BP؛ الف)، طول شعله شرطی (CFL (متر)؛ ب) و اندازه آتش (FS) (هکتار؛ پ) برای سناریوهای NT (بدون تیمار) و TREAT-FMC (تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی ثابت بعد از تنک کردن)

با توجه به ثابت بودن مدت سوختن برای آتش سوزی های شبیه سازی شده در هر دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده، کاهش در مقادیر بالاتر مولفه های رفتار آتش می تواند ناشی از کاهش نرخ گسترش آتش تحت تأثیر تیمار ماده سوختنی (تنک کردن) باشد. کاهش نرخ گسترش آتش و در واقع کاهش آسیب ناشی از آتش سوزی های شدیدتر (مقادیر زیادتر احتمال سوختن، طول شعله بلندتر و اندازه آتش بزرگتر) می تواند در نتیجه اجرای تیمار جنگل شناسی تنک کردن در توده های جنگل کاری باشد که مطابق با نتایج چی اونو^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، ارنی^۲ و همکاران (۲۰۱۸) و جانسون و همکاران (۲۰۲۱) است.

1 Chiono

2 Erni

۴- جمع‌بندی

در طول دهه گذشته، تحقیقات زیادی برای ارزیابی تیمارهای ماده‌سوزنی در آتش‌سوزی‌های جنگلی با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی انجام شده است. زیرا مدل‌سازی رفتار آتش درک بهتری از فرآیندهایی که فعالیت و الگوهای آتش را هدایت می‌کنند، فراهم می‌کند. علاوه بر این، استفاده از مدل‌های مشخص مکانی می‌تواند راهبردهای مدیریتی مؤثرتری را ارتقا دهد و از سیاست‌های پیشگیری از آتش‌سوزی حمایت کند. این کار اولین مطالعه‌ای است که اثربخشی بالقوه تیمارهای جنگل‌شناسی شبیه‌سازی شده بر رفتار آتش‌سوزی جنگل‌های هیرکانی ایران را گزارش می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تنک‌کردن در جنگل‌های دست‌کاشت تأثیر قابل‌توجهی در تغییر ساختار ماده‌سوزنی و در نتیجه رفتار بالقوه آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دارد. به‌طور کلی تنک‌کردن در کاهش طول شعله شرطی و در نتیجه کاهش شدت آتش در منطقه مورد مطالعه مؤثر بوده است، اگرچه افزایش اندکی در احتمال سوختن و اندازه آتش در برخی از نواحی مشاهده شد. عدم قطعیت‌هایی در ارتباط با مدل‌سازی رفتار آتش‌سوزی وجود دارد، اما تفاوت‌های نسبی در پارامترهای رفتار آتش‌سوزی در مقایسه با سیمای سرزمین تیمارنشده، می‌تواند تاحدی قابل‌اعتماد باشد. علاوه بر این، سطح جنگل‌کاری سالانه به دلیل تضادهای سیاست عمومی با توجه اندک به احیای جنگل‌های بومی، که سهم تاریخی در افزایش اخیر فعالیت آتش‌سوزی‌های جنگلی دارند، در حال افزایش است. این موضوع مستلزم برنامه‌ریزی پیشگیرانه استفاده از زمین و مدیریت ماده‌سوزنی به‌عنوان بخش کلیدی اجرای مدیریت پایدار جنگل در جنگل‌های شمال کشور است.

کتابنامه

- جهدی، رقیه؛ درویش‌صفت، علی‌اصغر؛ اعتماد، وحید؛ ۱۳۹۴. ارزیابی اثر وضعیت رطوبت ماده سوختنی بر گسترش و رفتار آتش در پارک ملی گلستان. *جنگل و فرآورده‌های چوب*. مجله منابع طبیعی ایران. ۶۸ (۴): ۸۱۳-۷۹۹.
<https://doi.org/10.22059/jfwp.2015.57116>
- جهدی، رقیه؛ عربی، مهدی؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی مسیرهای آتش در اکوتون‌های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۹ (۳): ۱۴۲-۱۲۵.
<https://doi.org/10.22067/geoe.2020.67030.0>
- خسروی، محمود؛ زهرایی، اکبر؛ حیدری، حسین؛ بنی‌نعمه، سارا؛ ۱۳۹۱. تعیین مناطق هم‌خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱ (۳): ۲۰-۱.
<https://doi.org/10.22067/geo.v1i3.13231>
- خوشدل، ناصر؛ رضایی، پرویز؛ متولی، صدرالدین؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۳۹۹. تبیین اقلیم گردشگری شرق استان گیلان و طبقه‌بندی مکانی آن به روش آماری چندمتغیره. *فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونت‌گاه‌های انسانی*. ۱۵ (۴): ۱۱۱۹-۱۱۳۶.
https://jshsp.rasht.iau.ir/article_676362.html

عابد، حسین؛ صحرائیان، فاطمه؛ رضایی، پرویز؛ ۱۳۹۴. اثرات باد گرمش بر وضعیت جوی ایستگاه همدیدی رشت.

جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۴ (۲): ۵۹-۷۶. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i2.29820>

کاظمی راد، لادن؛ محمدی، حسین؛ ۱۳۹۴. ارزیابی مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی

استان گیلان. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۴ (۴): ۵۵-۷۴. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i4.38892>

Acevedo Muñoz, L., 2016. A novel approach to reduce fire exposure and promote nature conservation in Mediterranean ecosystems: the case study of Reserva Natural da Serra da Malcata, Portugal. Lisboa: ISA, 2016, 80 p. <http://hdl.handle.net/10400.5/12176>

Agee, J.K., & Lolley, M.R., 2006. Thinning and prescribed fire effects on fuels and potential fire behavior in an eastern Cascades Forest, Washington, USA. *Fire Ecol.* 2: 3-19. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0202003>

Ager, A.A., Bahro, B., & Barber, K., 2006. Automating the fireshed assessment process with ArcGIS. In: Andrews, P.L., Butler, B.W., (comps), *Fuels Management—How to Measure Success: Conference Proceedings*. Portland, OR, March 28-30, 2006, pp. 163-167; Proceedings RMRS-P-41. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 809 pp. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/25943>

Ager, A.A., Barros, A.M.G., Houtman, R., Seli, R., & Day, M.A., 2020. Modelling the effect of accelerated forest management on long-term wildfire activity. *Ecological Modelling*. 421:108962. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108962>

Ager, A.A., Vaillant, N.M., & Finney, M.A., 2011. Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning. *Journal of Combustion*. 2011, Article ID 572452: 1-19. <https://doi.org/10.1155/2011/572452>

Arellano-Pérez, S., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G., Alonso-Rego, C., Vega, J.A., & Ruiz-González, A.D., 2020. Mid-term effects of a thin-only treatment on fuel complex, potential fire behavior and severity and post-fire soil erosion protection in fast-growing pine plantations. *For. Ecol. Manag.* 460:117895. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117895>

Banerjee, T., 2020. Impacts of forest thinning on wildland fire behavior. *Forests*. 11(9):918. <https://doi.org/10.3390/f11090918>

Chiono, L.A., Fry, D.L., Collins, B.M., Chatfield, A.H., & Stephens, S.L., 2017. Landscape-scale fuel treatment and wildfire impacts on carbon stocks and fire hazard in California spotted owl habitat. *Ecosphere*. 8(1):e01648. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1648>

de Castro Galizia, L.F., & Rodrigues, M., 2019. Modeling the Influence of Eucalypt Plantation on Wildfire Occurrence in the Brazilian Savanna Biome. *Forests*. 10(10): 844. <https://doi.org/10.3390/f10100844>

Erni, S., Arseneault, D., & Parisien, M.A., 2018. Stand Age Influence on Potential Wildfire Ignition and Spread in the Boreal Forest of Northeastern Canada. *Ecosystems*. 21: 1471-1486. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0235-3>

Estes, B.L., Knapp, E.E., Skinner, C.N., & Uzoh, F.C., 2012. Seasonal variation in surface fuel moisture between unthinned and thinned mixed conifer forest, northern California, USA. *Int. J. Wildland Fire*. 21: 428-435. <https://doi.org/10.1071/WF11056>

Finney, M.A., 2006. An overview of FlamMap fire modelling capabilities. In: Andrews, P.L., Butler, B.W. (Eds.), 'Fuels Management – How to Measure Success: Conference Proceedings', 28-30 March 2006, Portland, OR, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P 41, pp. 213-220 (Fort Collins, CO. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/25948>

- Freer-Smith, P., Muys, B., Bozzano, M., Drössler, L., Farrelly, N., Jactel, H., Korhonen, J., Minotta, G., Nijnik, M., & Orazio, C., 2019. Plantation forests in Europe: challenges and opportunities. From Science to Policy 9. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs09>
- Gomez-Gonzalez, S., Ojeda, F., & Fernandes, PM., 2018. Portugal and Chile: Longing for sustainable forestry while rising from the ashes. *Environmental Science and Policy*. 81: 104-107. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.006>
- Hahn, G.E., Coates, T.A., Aust, W.M., Bolding, M.C., & Thomas-Van Gundy, M.A., 2021. Long-term impacts of silvicultural treatments on wildland fuels and modeled fire behavior in the Ridge and Valley Province, Virginia (USA). *For. Ecol. Manag.* 496:119475. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119475>
- Hood, S.M., Baker, S., & Sala, A., 2016. Fortifying the forest: thinning and burning increase resistance to a bark beetle outbreak and promote forest resilience. *Ecol Appl.* 26:1984–2000. <https://doi.org/10.1002/eap.1363>
- Jaque Castillo, E., Fernández, A., Fuentes Robles, R., & Ojeda, C.G., 2021. Data-based wildfire risk model for Mediterranean ecosystems – case study of the Concepción metropolitan area in central Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 21(12): 3663-3678. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3663-2021>
- Johnston, J.D., Olszewski, J.H., Miller, B.A., Schmidt, M.R., Vernon, M.J., Ellsworth, L.M., 2021. Mechanical thinning without prescribed fire moderates wildfire behavior in an Eastern Oregon, USA ponderosa pine forest. *For. Ecol. Manag.* 501:119674. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119674>
- Kalies, E.L., & Kent, L.L.Y., (2016. Tamm review: are fuel treatments effective at achieving ecological and social objectives? A systematic review. *For. Ecol. Manag.* 375:84–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.021>
- Knapp, E.E., Lydersen, J.M., North, M.P., & Collins, B.M., 2017. Efficacy of variable density thinning and prescribed fire for restoring forest heterogeneity to mixed-conifer forest in the central Sierra Nevada, CA. *For. Ecol. Manag.* 406: 228-241. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.028>
- Marshall, G., Thompson, D.K., Anderson, K., Simpson, B., Linn, R., Schroeder, D., 2020. The impact of fuel treatments on wildfire behavior in North American Boreal fuels: a simulation study using FIRETEC. *Fire*. 3(2):18. <https://doi.org/10.3390/fire3020018>
- Martín, A., Botequim, B., Oliveira, T.M., Ager, A., & Pirotti, F., 2016. Temporal optimization of fuel treatment design in blue gum (*Eucalyptus globulus*) plantations. *Forest Systems*. 25 (2): eRC09. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016252-09293>
- Mofidi, A., Soltanzadeh, I., Yousefi, Y., Zarrin, A., Soltani, M., Samakosh, J.M., Azizi, G., & Miller, S.T.K., 2015. Modeling the exceptional south Foehn event (Garmij) over the Alborz Mountains during the extreme forest fire of December 2005. *Nat Hazards*. 75:2489–2518. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1440-9>
- Paritsis, J., Landesmann, J.B., Kitzberger, T., Tiribelli, F., Sasal, Y., & Quintero, C., Dimarco, R.D., Barrios-García, M.N., Iglesias, A.L., Diez, J.P., Sarasola, M., Nuñez, M.A., 2018. Pine Plantations and Invasion Alter Fuel Structure and Potential Fire Behavior in a Patagonian Forest-Steppe Ecotone. *Forests*. 9: 117. <https://doi.org/10.3390/f9030117>
- Parsons, R.A., Pimont, F., Wells, L., Cohn, G., Jolly, W.M., de Coligny, F., Rigolot, E., Dupuy, J.L., Mell, W., & Linn, R.R., 2018. Modeling thinning effects on fire behavior with STANDFIRE. *Ann. For. Sci.* 75:7. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0686-2>

- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p. <https://doi.org/10.2737/INT-GTR-143>
- Russell, E.S., Liu, H., Thistle, H., Strom, B., Greer, M., & Lamb, B., 2018. Effects of thinning a forest stand on sub-canopy turbulence. *Agric. For. Meteorol.* 248: 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.019>
- Salis, M., Del Giudice, L., Arca, B., Ager, A.A., Alcasena, F.J., Lozano, O., Bacciu, V., Spano, D., Duce, P., 2018. Modelling the effects of different fuel treatment mosaics on wildfire spread and behaviour in a Mediterranean agro-pastoral area. *J. Environ. Manage.*, 212: 490–505. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.020>
- Thompson, M.P., & Calkin, D.E., 2011. Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. *J. Environ. Manag.* 92: 1895–1909. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.015>
- Whitehead, R.J., Russo, G.L., Hawkes, B.C., Taylor, S.W., Brown, B.N., Barclay, H.J., Benton, R.A., 2006. Effect of a Spaced Thinning in Mature Lodgepole Pine on Within-Stand Microclimate and Fine Fuel Moisture Content. In: Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 523-536. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/25975>



The Evaluation of Landslide Sensitivity using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models (Case Study: Khorramabad-Arak Freeway)



Siamak Baharvand^{a*}

^a Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Khorramabad Branch, Khorramabad, Iran

Received: 15 March 2022

Revised: 29 April 2022

Accepted: 8 May 2022

Abstract

Landslide risk zoning plays a significant role in the development of safe and sustainable infrastructure, urbanization, land use, and environmental planning. Identifying and determining sensitive and landslide-prone areas not only prevents damages but also provides a basis for the implementation of slope stabilization plans. Landslide risk zoning is done through different methods including statistical, expert evaluation and definitive methods. Choosing appropriate zoning method depends on the type of analysis, study area, experts' skills and knowledge, and the type of geological and geomorphic parameters affecting landslide risk. The main goal of this study were preparing a landslide distribution map, identifying the factors affecting landslides, and zoning its danger in Khorramabad-Arak Freeway (Khorramabad to Boroujerd). Using satellite images and field studies as well as frequency ratio (FR) model, a landslide distribution map was prepared, and the factors influencing landslides including slope, lithology, slope direction, elevation classes, land use, rainfall, distance from fault factors and the network of waterways were analyzed. Fuzzy gamma (0.9) was used for zoning the landslide risk. The landslide hazard map was divided into very low (18.55%), low (30.67%), medium (26.51%), high (18.15%) and very high category (6.12%) and finally validated by ROC curve. The results of ROC curve analysis for Fuzzy GAMMA showed that the landslide sensitivity map in the study area has excellent predictive power with area under the curve of AUC=0.94. Therefore, it is suggested to apply the obtained results for freeway security and regional planning.

Keywords: Landslide, Zoning, Khorramabad-Arak Freeway, ROC Curve, Fuzzy Gamma

*. E-mail: sbbaharvand53@gmail.com

Tel: + 98 9163672294

How to cite this Article: Siamak B. (2022). Evaluation of landslide sensitivity using frequency ratio and fuzzy logic models (Case study: Khorramabad-Arak freeway). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 103-116.

DOI:10.22067/geoh.2022.75264.1201



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75264.1201>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۱۶-۱۰۳

مطالعه موردی

ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و منطق فازی

(مطالعه موردی: آزادراه خرم‌آباد-اراک)

سیامک بهاروند^۱- دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱۸

چکیده

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نقش مهمی در توسعه زیرساخت‌های ایمن و قابل دوام، شهرنشینی، کاربری زمین و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی ایفا می‌کند. شناسایی و تعیین مناطق حساس و مستعد لغزش می‌تواند ضمن جلوگیری از بروز آسیب‌ها، زمینه را برای اجرای طرح‌های پایدارسازی دامنه‌ها فراهم سازد. هدف اصلی این مطالعه تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، شناسایی عوامل مؤثر بر لغزش و پهنه‌بندی خطر آن در آزادراه خرم‌آباد-اراک (قطعه خرم‌آباد تا بروجرد) است. بدین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی نقشه پراکنش لغزش‌ها تهیه و با استفاده از مدل نسبت فراوانی (FR) عوامل مؤثر بر لغزش شامل شیب، لیتولوژی، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری زمین، بارندگی و فاصله از عوامل گسل و شبکه آبراهه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از روش منطق فازی (گامای ۰/۹) استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نقشه خطر زمین لغزش حاصل به پنج طبقه، مناطق خطر بسیار کم (۱۸/۵۵٪)، کم (۳۰/۶۷٪)، متوسط (۲۶/۵۱٪)، زیاد (۱۸/۱۵٪) و بسیار زیاد (۶/۱۲٪) تقسیم‌بندی و در نهایت با استفاده از منحنی Receiver Operating Characteristic (ROC) اعتبارسنجی شد. نتایج تحلیل منحنی ROC برای روش گامای فازی نشان

Email: sbbaharvand53@gmail.com

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۶۳۶۷۲۲۹۴

نحوه ارجاع به این مقاله:

بهاروند، سیامک؛ ۱۴۰۲. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و منطق فازی (مطالعه موردی: آزادراه

خرم‌آباد-اراک). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۱۱۶-۱۰۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75264.1201>

داد که نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه شده در منطقه مورد مطالعه با سطح زیر منحنی $AUC=0.94$ دارای قدرت پیش‌بینی عالی است.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، پهنه‌بندی، آزادراه خرم‌آباد-اراک، منحنی ROC، گامای فازی

۱- مقدمه

زمین لغزش به‌عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان، دارای اهمیت خاصی است، با توجه به اینکه زمین لغزش‌ها نسبت به سایر بلایای طبیعی مدیریت‌پذیرترند؛ لذا شناخت این پدیده در جهت جلوگیری از خسارات ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸). بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای به کمک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت لغزش در محدوده فعالیت بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه و زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده‌ها حائز اهمیت بوده و در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد (برا و همکاران، ۲۰۱۹).

مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است که کارایی هر کدام از آن‌ها در مناطق مختلف متفاوت است. در این تحقیق به منظور تهیه نقشه پهنه‌های خطر زمین لغزش در آزادراه خرم‌آباد-اراک از عملگر گامای فازی استفاده شده است. منطق فازی ابزاری دقیق و توانمند در مدل‌سازی پدیده‌های ژئومورفیک به‌ویژه حرکات توده‌ای است؛ زیرا بیشتر پدیده‌های ژئومورفیک غیرخطی و پیچیده هستند و در وقوع آن‌ها چندین متغیر با درجه شدت‌های متفاوت دخالت دارند. ضمناً برخی از این پدیده‌ها مانند لغزش‌ها را نمی‌توان از طریق سری‌های زمانی منطقه‌بندی کرد و مدل‌های ریاضی برای آن‌ها ناکافی است؛ اما سیستم‌های فازی ابزاری مفید برای مدل‌سازی لغزش‌ها و سایر پدیده‌های دینامیکی محسوب می‌شوند. تئوری فازی اولین بار توسط پروفیسور لطفی‌زاده مطرح شد و برای توسعه استدلال تقریبی به کار گرفته شد (تاناکا^۱، ۱۹۹۶). در سال‌های اخیر این روش کاربرد زیادی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش داشته که در این زمینه می‌توان به مطالعاتی در ایران و سایر نقاط جهان اشاره کرد که بر روی این روش تأکید داشته‌اند؛ از جمله: پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸) ارزیابی خطر زمین لغزش در بخشی از حوضه آبخیز هراز با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، دسترنج و همکاران (۱۴۰۰) ارزیابی پهنه‌های حساس به وقوع زمین لغزش در رشته‌کوه بینالود؛ زالی و شاهدی (۱۴۰۰) ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از رویکرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز نکارود؛ بوی^۳ و همکاران (۲۰۱۲) پیش‌بینی خطر

1 Bera

2 Tanaka

3 Bui

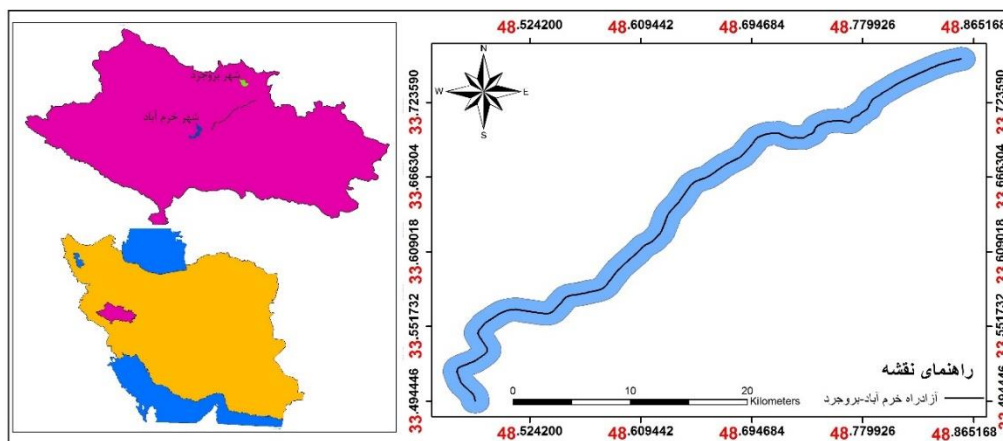
زمین لغزش در استان هواپین ویتنام با استفاده از تئوری فازی؛ **آنبالاگان^۱ و همکاران (۲۰۱۵)** استفاده از نسبت فراوانی و منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دره لاجونگ واقع در منطقه سیکیم هیمالیا؛ **کومار^۲ و همکاران (۲۰۲۱)** بررسی خطر زمین لغزش در منطقه اوتارکاشی هندوستان و **سور^۳ و همکاران (۲۰۲۱)** پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در کریدور جاده‌ای کالسی-چاکراتا واقع در هندوستان، اشاره کرد.

راه‌ها به‌عنوان یکی از ساختارهای زیربنایی، نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصاد ملی دارد. باید توجه داشت که انتخاب مسیرهای نامناسب برای احداث جاده می‌تواند اثرهای منفی محیطی گسترده‌ای را به دنبال داشته باشد. بدین دلیل، جاده‌های پیشنهادی باید با رعایت ویژگی‌های محیطی منطقه طراحی و اجرا شوند. لذا این تحقیق به بررسی و ارزیابی خطر زمین لغزش در مسیر آزادراه خرم‌آباد-اراک (قطعه خرم‌آباد-بروجرد) با استفاده از عملگر گامای فازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

آزادراه خرم‌آباد-اراک به طول ۱۳۴ کیلومتر یکی از پروژه‌های مهم اقتصادی است که در سال‌های اخیر در حال اجرا است. طول مسیر آزادراه از چهار قطعه تشکیل شده است که قطعه ۳ و ۴ آن با طول ۵۲ کیلومتر از خرم‌آباد به سمت بروجرد امتداد دارد و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آزادراه خرم‌آباد-بروجرد

1 Anbalagan

2 Kumar

3 Sur

۲-۲- روش کار

فعالیت‌های انسانی در حین ساخت بزرگراه، شیب‌های طبیعی را مختل کرده و آن‌ها را در برابر خرابی‌ها آسیب‌پذیرتر می‌کند؛ بنابراین، ارزیابی خطر زمین‌لغزش در امتداد بزرگراه‌ها برای برنامه‌ریزی و هدایت صحیح زیرساخت‌های راه ضروری است (سینگ و کومار^۱؛ ۲۰۱۸؛ پانچال و شریواستاوا^۲، ۲۰۲۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با توجه به رویکردهای مختلف انجام می‌شود. چنین رویکردهایی می‌تواند به سه روش اصلی شامل روش‌های آماری، روش‌های ارزیابی کارشناسی و روش‌های قطعی تقسیم شوند (دی و لی^۳، ۲۰۰۱؛ ون‌وستن^۴ و همکاران، ۲۰۰۳؛ دو^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). انتخاب روش پهنه‌بندی مناسب به نوع تحلیل، منطقه مورد مطالعه، مهارت و تخصص کارشناسان و نوع پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومورفیک مؤثر در خطر زمین‌لغزش بستگی دارد (فال^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). فرآیند پهنه‌بندی در محیط (GIS) شامل پیش عملیات و عملیات متعددی است. نخست باید معیارها و محدودیت‌های مورد نظر به صورت لایه‌های نقشه، انتخاب و آماده‌سازی شده و سپس در محیط این نرم‌افزار پردازش گردند. در این مطالعه برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از ۸ عامل استفاده شده است. این عوامل شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، بارندگی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه می‌باشند. به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI، آمار بارندگی ایستگاه‌های خرم‌آباد و بروجرد، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و مطالعات میدانی استفاده شده است.

۲-۲-۱- بررسی عوامل مؤثر بر لغزش با استفاده از نسبت فراوانی

نسبت فراوانی یک تکنیک کمی برای ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های مکانی است (چن^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ دینگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۷). این روش ارتباط کمی میان رخداد زمین‌لغزش‌ها و متغیرهای مختلف تأثیرگذار در آن را مشخص می‌نماید. در تعیین نرخ نسبت فراوانی، نسبت رخداد لغزش در هر کلاس از فاکتورهای تأثیرگذار نسبت به کل لغزش‌ها به دست آمده و نسبت به سطح هر کلاس به کل مساحت منطقه نیز محاسبه می‌گردد. در نهایت با تقسیم نرخ رخداد لغزش‌ها در هر کلاس بر نرخ مساحت هر کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه، نسبت فراوانی کلاس‌های هر فاکتور محاسبه می‌گردد. مراحل محاسبه نسبت فراوانی برای هر کلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش در رابطه ۱ بیان شده است (موندال و میتی^۹، ۲۰۱۳). در این

1 Singh and Kumar

2 Panchal and Shrivastava

3 Dai and Lee

4 Van Westen

5 Du

6 Fall

7 Chen

8 Ding

9 Mondal and Maiti

رابطه اگر نسبت فراوانی بزرگتر از یک باشد همبستگی عامل مؤثر بر لغزش بسیار زیاد و اگر این مقدار کمتر از یک باشد این همبستگی کمتر است (آگکان^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

$$Fr = \frac{A/B}{C/D} = \frac{E}{F} \quad (۱)$$

که در آن Fr: نسبت فراوانی، A: تعداد پیکسل های لغزش یافته در هر کلاس، B: مجموع پیکسل های لغزشی کل حوزه، C: تعداد پیکسل های هر زیر کلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش، D: تعداد کل پیکسل های یک منطقه است. E: درصد رخداد لغزش در هر زیر کلاس از فاکتورهای مؤثر و F: درصد نسبی مساحت هر زیر کلاس از کل مساحت است.

۲-۲-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از گامای فازی

استانداردسازی: با تعیین مجموعه ای از معیارها برای ارزیابی گزینه های تصمیم گیری، لازم است که هر معیار به صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده های GIS ذخیره شود. در اندازه گیری صفات، دامنه متنوعی از مقیاس ها مورد استفاده قرار می گیرد. بر همین اساس لازم است، ارزش های موجود در لایه های مختلف نقشه به واحدهای قابل مقایسه و در تناسب با هم تبدیل شوند. با انجام این کار نقشه های استاندارد و قابل مقایسه خواهیم داشت. یکی از روش های استانداردسازی، روش فازی است. عملیات فازی سازی، ورودی ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه، یک درجه مناسب به هر یک نسبت می دهد. یکی از اساسی ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش های فازی با روش های دیگر، در تعریف تابع عضویت است (تاناکا، ۱۹۹۶). تابع عضویت را می توان به صورت درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه های آن تعریف کرد و به شکل $\mu_C(X)$ نمایش داده می شود. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل گیری و تعریف تابع عضویت می تواند مؤثر باشد. در این تحقیق با استفاده از توابع عضویت User defined نقشه های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش به نقشه های فازی تبدیل شده اند.

عملگر گاما فازی: این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت رابطه ۲

تعریف می شود.

$$\mu_{Combination} = (Fuzzy A \lg. Sum)^{0^y} * (Fuzzy A \lg. Product)^{0^{1-y}} \quad (۲)$$

که در آن y پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی $y=0$ باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه y بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهش و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. عملگر گاما نسبت به سایر عملگرهای فازی کاربرد بیشتری دارد و زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهش و اثر برخی افزایشی باشد. به همین دلیل در این تحقیق از عملگر گاما ۰/۹ به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده است.

۲-۲-۳- ارزیابی روش گامای فازی

نمودار مشخصه عملکرد (منحنی ROC^1) یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه‌ی خصوصیات، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند. سطح زیر منحنی (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم رخداد آن است. مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱ تغییر می‌کند و بیشترین دقت، مربوط به مدلی است که مقدار AUC آن برابر ۱ باشد. همبستگی کیفی-کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۱-۰/۹، عالی؛ ۰/۷-۰/۸، خیلی خوب؛ ۰/۶-۰/۷، خوب؛ متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف) بیان می‌شود (ایسیناکار^۲، ۲۰۰۵).

۳- نتایج و بحث

برای مدیریت خطر زمین‌لغزش که هدف آن کاهش زیان‌ها و خطرات ناشی از پلیده زمین‌لغزش است، بلید برنامه‌های کاهش خطر تنظیم شود. یکی از اقدامات بسیار مهم در این زمینه، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش در سطح منطقه شناسایی و برای تکمیل اطلاعات و ثبت لغزش‌های جدید، بازدید میدانی انجام گرفت که در منطقه مورد مطالعه ۱۳ نقطه لغزشی شناسایی شده است (شکل ۴). بررسی زمین‌لغزش‌های مشاهده شده در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد این لغزش‌ها به طور عموم شامل خزش و لغزش در اثر برش‌های کنار جاده‌ای هستند (شکل ۲).

1 Receiver Operating Characteristic

2 Yesilnacar



شکل ۲- تصاویری از وقوع زمین لغزش در حین و بعد از عملیات ساخت آزادراه

حرکت توده‌ای پدیده‌ای فرایندی مرکب و چند عامله است که وقوع آن از چند فرآیند متفاوت حاصل می‌شود. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته و نقشه آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است (شکل ۳). به منظور استفاده از این لایه‌های اطلاعاتی ابتدا با استفاده از نسبت فراوانی هر یک از عوامل مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۱). بررسی نتایج به دست آمده از وزن‌دهی هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش به شرح زیر است:

بررسی شیب‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در کلاس ۱۵-۳۰ قرار دارد. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل کاهش نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل تضعیف فرآیند خاکزایی به تبع آن عدم وجود مواد مستعد برای وقوع لغزش بر روی دامنه‌ها، احتمال آن کاهش می‌یابد.

بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که واحد آهک مارن‌دار از بیشترین حساسیت در مقابل لغزش برخوردار است. علت این امر را می‌توان جنس این واحد و حساسیت آن در برابر زمین لغزش دانست.

نتایج به دست آمده از بررسی پراکنندگی لغزش‌ها نسبت به فاصله از آبراهه نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش، در فواصل نزدیک به شبکه آبراهه‌ها قرار دارد که علت آن کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی شیب‌ها به دلیل نفوذ آب آبراهه‌ها در رسوبات اطراف است.

نتایج به دست آمده از بررسی طبقات فاصله از گسل نشان داد که بیشترین حساسیت در فواصل ۹۰۰-۶۰۰ متر وجود دارد و در فواصل نزدیک به گسل حساسیت به صفر می‌رسد که نتایج دور از انتظار بود. بررسی ارتباط بین طبقات ارتفاعی و نقشه پراکنش لغزش‌ها نشان می‌دهد بیشترین حساسیت به لغزش در طبقات متوسط وجود دارد و در ارتفاعات بالاتر به علت کمبود شرایط مناسب برای پدیده خاک‌سازی لغزش‌های کمتری رخ داده است.

نتایج حاصل از کاربری اراضی نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش در واحد اراضی زراعی آبی وجود دارد که این امر را می‌توان کاهش مقاومت برشی مصالح در اثر جذب آب نسبت داد. بررسی نتایج به دست آمده از عامل بارش دور از انتظار بود و بیشترین حساسیت در کلاس‌های با بارندگی پایین واقع شده بود.

بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در طبقات شمالی وجود دارد. علت این امر را می‌توان به رطوبت بالا در این جهات نسبت داد.

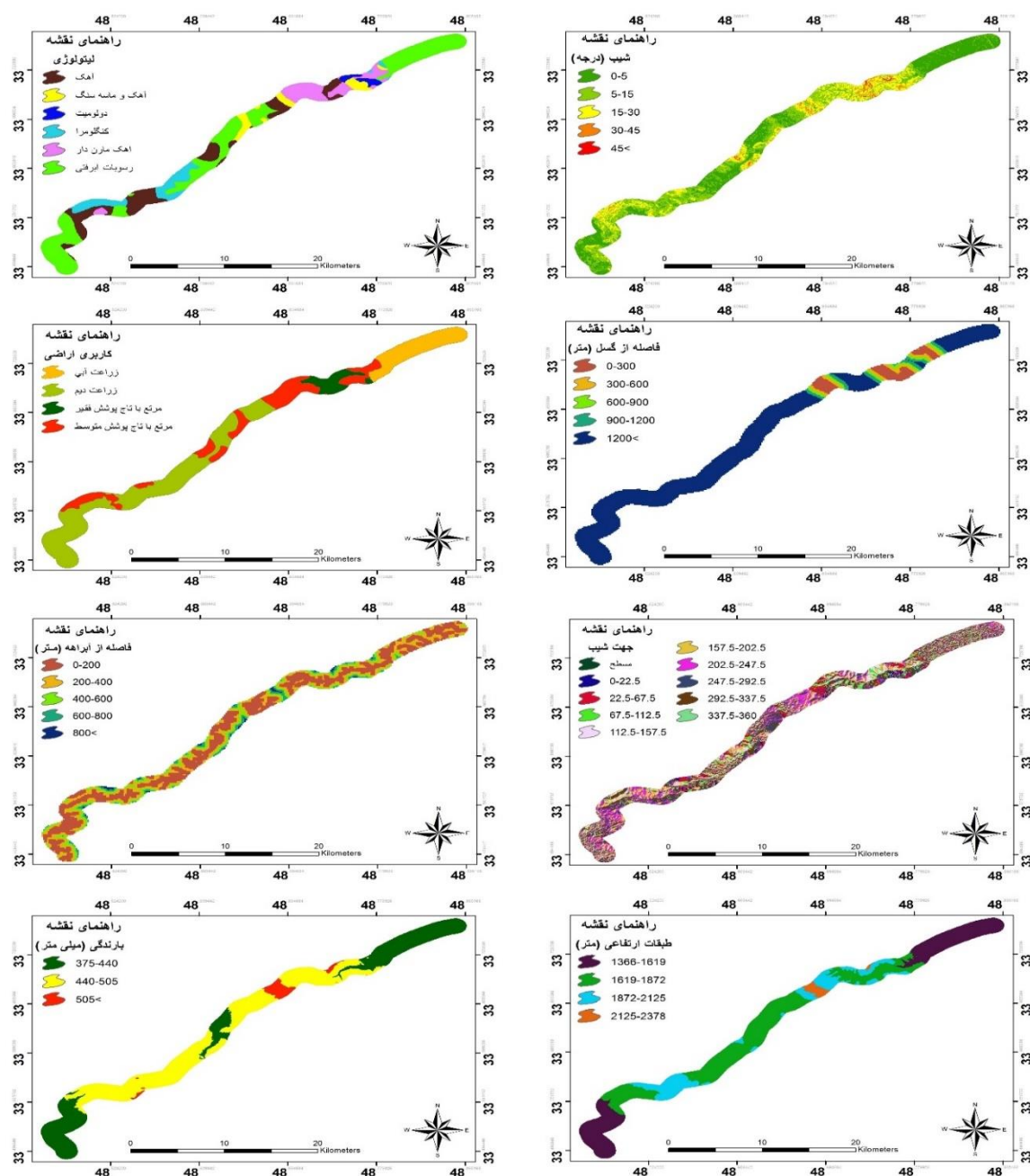
جدول ۱- تحلیل عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی

نرمال‌سازی	FR	F	E	کلاس	معیار
۰/۰۷	۰/۱۳	۳۸/۶۸	۵/۰۰	۵-۰	شیب (درجه)
۰/۹۳	۱/۶۱	۳۵/۷۱	۵۷/۵۰	۱۵-۵	
۱	۱/۷۴	۲۱/۵۸	۳۷/۵۰	۳۰-۱۵	
۰	۰	۳/۸۰	۰	۴۵-۳۰	
۰	۰	۰/۲۳	۰	۴۵<	
۰/۱۹	۰/۸۸	۲۰/۹۳	۱۸/۴۲	آهک	لیتولوژی
۰	۰	۶/۴۵	۰	آهک و ماسه‌سنگ	
۰	۰	۲/۲۵	۰	دولومیت	
۰	۰	۱۰/۹۹	۰	کنگلومرا	
۱	۴/۷۵	۱۲/۷۳	۶۰/۵۳	آهک مارن‌دار	
۰/۰۹	۰/۴۵	۴۶/۶۶	۲۱/۰۵	رسوبات آبرفتی	
۰/۸۲	۱/۵۴	۱۹/۴۶	۳۰/۰۰	۲۰۰-۰	فاصله از آبراهه (متر)
۱	۱/۸۷	۳۳/۴۰	۶۲/۵۰	۴۰۰-۲۰۰	
۰/۲۴	۰/۴۴	۱۷/۰۳	۷/۵۰	۶۰۰-۴۰۰	
۰	۰	۷/۹۵	۰	۸۰۰-۶۰۰	
۰	۰	۲۲/۱۶	۰	۸۰۰<	
۰	۰	۸/۸۶	۰	۳۰۰-۰	فاصله از گسل (متر)
۰/۱۱	۱/۳۷	۳/۸۴	۵/۲۶	۶۰۰-۳۰۰	

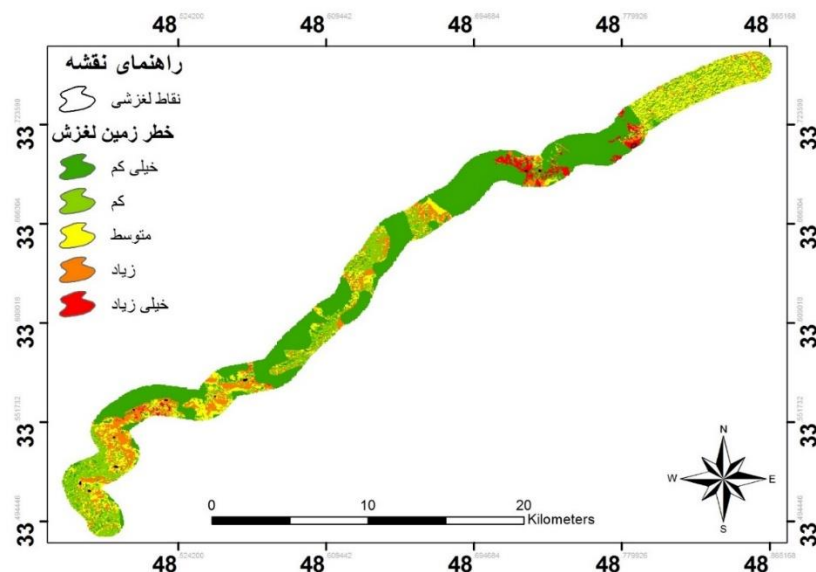
نرمال سازی	FR	F	E	کلاس	معیار
۱	۱۲/۴۶	۳/۸۰	۴۷/۳۷	۹۰۰-۶۰۰	
۰/۰۵	۰/۶۴	۴/۱۳	۲/۶۳	۱۲۰۰-۹۰۰	
۰/۰۵	۰/۵۶	۷۹/۳۷	۴۴/۷۴	۱۲۰۰<	
۰/۵۱	۰/۷۶	۳۳/۱۱	۲۵/۰۰	۱۶۱۹-۱۳۶۶	طبقات ارتفاعی (متر)
۱	۱/۴۷	۴۵/۷۹	۶۷/۵۰	۱۸۷۲-۱۶۱۹	
۰/۲۷	۰/۴۰	۱۸/۶۰	۷/۵۰	۲۱۲۵-۱۸۷۲	
۰	۰	۲/۵۰	۰	۲۳۷۸-۲۱۲۵	
۱	۳/۱۱	۱۷/۸۵	۵۵/۵۶	زراعت آبی	کاربری اراضی
۰/۲۴	۰/۷۴	۴۸/۸۲	۳۶/۱۱	زراعت دیم	
۰/۳۶	۱/۱۳	۷/۳۴	۸/۳۳	مرتفع با تاج پوشش فقیر	
۰	۰	۲۵/۹۸	۰	مرتفع با تاج پوشش متوسط	
۱	۱/۶۴	۴۲/۵۹	۷۰/۰۰	۴۴۰-۳۷۵	بارش (میلی متر)
۰/۳۵	۰/۵۷	۵۲/۹۰	۳۰/۰۰	۵۰۵-۴۴۰	
۰	۰	۴/۵۱	۰	۵۰۵<	
۰/۵۰	۱/۷۴	۱/۴۴	۲/۵۰	مسطح	جهت شیب
۰/۴۲	۱/۴۳	۵/۲۳	۷/۵۰	۲۲-۰/۵	
۰/۳۹	۱/۳۴	۱۳/۰۳	۱۷/۵۰	۲۲/۶۷-۵/۵	
۰/۰۷	۰/۲۵	۹/۹۰	۲/۵۰	۶۷/۱۱۲-۵/۵	
۰	۰	۱۱/۵۰	۰	۱۱۲/۱۵۷-۵/۵	
۰/۱۵	۰/۵۲	۱۴/۵۶	۷/۵۰	۱۵۷/۲۰۲-۵/۵	
۰/۴۲	۱/۴۴	۱۵/۵۹	۲۲/۵۰	۲۰۲/۲۴۷-۵/۵	
۰/۱۹	۰/۶۴	۱۱/۷۰	۷/۵۰	۲۴۷/۲۹۲-۵/۵	
۰/۳۶	۱/۲۵	۱۱/۹۸	۱۵/۰۰	۲۹۲/۳۳۷-۵/۵	
۱	۳/۴۵	۵/۰۷	۱۷/۵۰	۳۳۷/۳۶۰-۵	

به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از عملگر گامای فازي، نسبت فراوانی نقاط لغزشی در هر یک از کلاس های عوامل مؤثر بر لغزش محاسبه شده است (جدول ۱). بر اساس نسبت های فراوانی به دست آمده و استفاده از تابع عضویت User defined در محیط نرم افزار ArcMap، نقشه های عوامل مختلف به نقشه های فازي تبدیل گردیده و با استفاده از عملگر گامای فازي ۰/۹ نقشه های فازي تمام عوامل هم پوشانی داده شده اند و نقشه خطر لغزش تهیه و به پنج کلاس خطر بسیار کم (۱/۷۵۵٪)، کم (۳۰/۶۷٪)، متوسط (۲۶/۵۱٪)، زیاد (۱/۷۱۵٪) و بسیار زیاد (۶/۱۲٪) طبقه بندی شده است (شکل ۴).

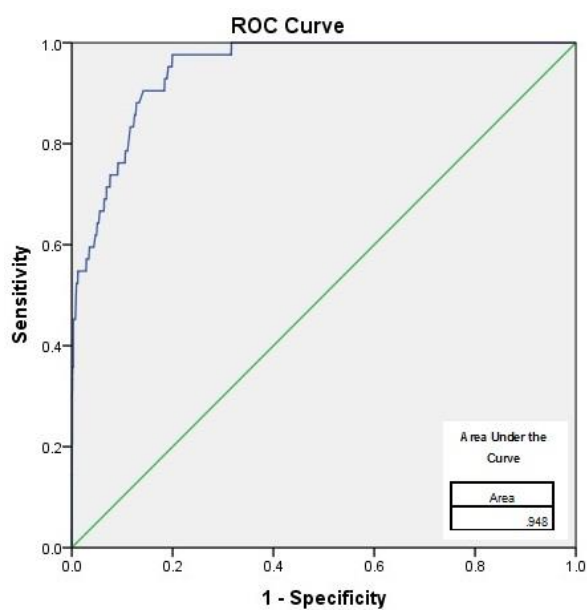
ارزیابی نتایج به دست آمده با استفاده از منحنی ROC نشان از دقت عالی روش استفاده شده در پهنه‌بندی خطر لغزش‌های محدوده مورد مطالعه را دارد ($AUC=0.948$) (شکل ۵). در این مطالعه ترسیم منحنی ROC برای ارزیابی نتایج به دست آمده در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شده است.



شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های محدوده مطالعاتی



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محدوده آزادراه خرم‌آباد-بروجرد



شکل ۵- ارزیابی روش عملگر گامای فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های آزادراه خرم‌آباد-بروجرد

۴- نتیجه‌گیری

محدوده مطالعه شده به دلیل قرارگیری در زون زاگرس چین‌خورده، خصوصیات متنوع زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، زمین‌ساخت و شرایط خاص آب و هوایی مستعد بروز خطرات ناشی از پدیده زمین لغزش است. با توجه

به متفاوت بودن درجه اهمیت عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش‌ها، شناسایی و وزن‌دهی درست عوامل برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش و جلوگیری از وقوع خطر امری الزامی است. در این پژوهش از روش نسبت فراوانی برای وزن‌دهی عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه استفاده شده است. نتایج به دست آمده از ارزیابی عوامل مؤثر بر لغزش نشان داد که عوامل بارندگی و فاصله از گسل بیشتر تحت تأثیر سایر عوامل بوده و نقش مستقیمی در رخداد لغزش‌های محدوده مطالعاتی ندارند.

بر اساس نتایج به دست آمده بیش از ۲۴ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه در پهنه‌های خطر متوسط به بالا واقع شده است که حاکی از پرمخاطره بودن منطقه از لحاظ خطر زمین لغزش است. این پهنه‌ها بیشتر منطبق بر آهک‌های مارن‌دار می‌باشند که علت آن را می‌توان رفتار این مصالح در هنگام مرطوب شدن نسبت داد که باعث به وجود آمدن فشار آب بین منفذی شده و با از بین رفتن تنش مؤثر در اسکلت خاک، مصالح مقاومت برشی خود را از دست می‌دهند و به حرکت بر روی سطوح شیب‌دار تمایل پیدا می‌کنند.

نتایج حاصل از ارزیابی مطالعه انجام شده با استفاده از منحنی ROC نشان می‌دهد که روش گامای فازی در شناسایی مناطق خطر زمین لغزش از عملکرد عالی برخوردار است. پس پیشنهاد می‌شود از نتایج به دست آمده در ایمن‌سازی آزادراه و برنامه‌ریزی منطقه‌ای استفاده گردد.

کتابنامه

- پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ فاطمی عقدا، محمود؛ مهدوی فر، محمدرضا؛ محمدی، مجید؛ ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. شماره ۸، صص ۵۱-۶۲. <https://www.sid.ir/paper/134813/fa>
- دسترنج، علی؛ وکیلی تجربه، فرزانه؛ نور، حمزه؛ ۱۴۰۰. ارزیابی پهنه‌های حساس به وقوع زمین لغزش در رشته‌کوه بینالود. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. شماره ۵۳. صص ۱۲-۲۲.
- <http://jwmsei.ir/article-1-978-fa.html>
- رمضانی، بهمن؛ ابراهیمی، هدی؛ ۱۳۸۸. زمین لغزش و راهکارهای تثبیت آن. *فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط*. شماره ۷. صص ۱۲۹-۱۳۹. <https://www.magiran.com/paper/902037>
- زالی، مهرباب؛ شاهدی، کاکا؛ ۱۴۰۰. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از رویکرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز نکارود. *نشریه مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. شماره ۱. صص ۶۷-۸۰.
- <https://civilica.com/doc/1224970>

Akgun A, Dag S, Bulut F., 2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Eng. Geol.*, 54: 1127-1143. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0882-8>

Anbalagan R, Kumar R, Lakshmanan K, Parida S, Neethu S., 2015. Landslide hazard zonation

- mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2(6): 1-17. DOI:10.1186/s40677-014-0009-y
- Bera A, Mukhopadhyay BP, Das D., 2019. Landslide hazard zonation mapping using multicriteria analysis with the help of GIS techniques: a case study from Eastern Himalayas, Namchi, South Sikkim. *Natural Hazards*, 96(2): 935-959. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03580-w>
- Bui DT, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick O., 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *CATENA*, 96: 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.001>
- Chen W, Chai H, Sun X, Wang Q, Ding X, Hong H., 2016. A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arab. J. Geosci.*, 9(3): p. 204. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2150-7>
- Dai FC, Lee CF., 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian Geot Journal*, 38(5):911–923. DOI:10.1139/t01-021
- Ding Q, Chen W, Hong H., 2017. Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping. *Geocarto International*, 32(6): 619-639. DOI:10.1080/10106049.2016.1165294
- Du G, Zhang Y, Iqbal J, Yang Z, Yao X., 2017. Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China. *Journal of Mountain Sci.*, 14(2):249–268. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4126-9>
- Fall M, Azzam R, Noubactep C., 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Eng Geol*, 82:241–263. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.11.007>
- Kumar P, Mital A, Ray PKC, Chatteraj SL., 2021. Landslide Hazard and Risk Assessment Along NH-108 in Parts of Lesser Himalaya, Uttarkashi, Using Weighted Overlay Method. *Geohazards*, 86: 163-180. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6233-4_12
- Mondal S, Maiti R. 2013. Integrating the analytical hierarchy process (AHP) and the frequency ratio (FR) model in landslide susceptibility mapping of Shiv-khola watershed. *Int. J. of Dis. Risk Sci.*, 4(4): 200-212. <https://doi.org/10.1007/s13753-013-0021-y>
- Panchal S, Shrivastava AK., 2021. Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India. *Ain Shams Engineering Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.021>.
- Shano L, Raghuvanshi TK, Meten M., 2022. Landslide Hazard Zonation using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. *Geotech Geol Eng.*, 40, 83–101. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01873-1>
- Singh K. Kumar V., 2018. Hazard assessment of landslide disaster using information value method and analytical hierarchy process in highly tectonic Chamba region in bosom of Himalaya. *J Mountain Sci.*, 15 (4): 808-824. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4634-2>
- Sur U, Singh P, Rai PK., 2021. Landslide probability mapping by considering fuzzy numerical risk factor (FNRF) and landscape change for road corridor of Uttarakhand, India. *Environ Dev Sustain*, 23: 13526–13554. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01226-1>
- Tanaka K., 1996. An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications. Springer New York, 148p. <https://link.springer.com/book/9780387948072>
- Van Westen CJ, Rengers N, Soeters R., 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. In: *Natural Hazards*, Vol. 30. Kluwer Academic

Publishers: 330–419. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007097.42735.9e>
Yesilnacar E, Topal T., 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). Engineering Geology, 79(3), 251-266. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.02.002>



Collaborative Investigation of the Floods of Balikhlochai Watershed in Ardabil (Case Study: March 07, 2010 and December 08, 2010)

 **Behrooz Sobhani^{a*}, Mahdi Foroutan^b**

^a Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^b PhD Candidate in Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 8 March 2022

Revised: 15 May 2022

Accepted: 17 June 2022

Abstract

Flood as a natural disaster with the highest relative frequency of occurrence has always threatened human life. The purpose of this study was discovering the relationship between atmospheric circulation patterns and floods in the Balikhlochai watershed of Ardabil in order to prevent its dangers with an environmental approach to circulation. For this purpose, discharge data for three stations of Almas, Nir, and Gilandeh from the period 2009-2017 were obtained from the regional water department of Ardabil province. Using the ward hierarchical clustering method, two floods occurred on March 7, 2010 and December 8, 2010 were selected and analyzed. The data related to the upper levels of the atmosphere were obtained from the National Center for Environmental Prediction (NCEP-NCAR) website and combined maps of sea level pressure with geopotential height of 500 hectopascals, wind vector with precipitable water, omega with tawai and half-molar specific humidity in Gardes software were drawn. The results of the synoptic analysis showed that the dominance of the Mediterranean thermal low pressure system and the Chinese thermal high pressure system were important factors in the atmospheric disturbance, and besides that, the location of the studied area in front of the landing axis of the Eastern Mediterranean fleet resulted in rotating air movements. And the vertical air velocity of the studied area showed an unstable atmosphere. The specific humidity has also increased since the day before the flood in the lower layers of the atmosphere, and the flow of moisture from the Mediterranean Sea through the western subtropical winds on the atmosphere of the studied area has played an important role in causing torrential rains.

Keywords: Synoptic Analysis, Flood, Balikhlochai Basin, Ardabil

* Corresponding author: Behrooz Sobhani

E-mail: sobhaniardabil@gmail.com

tel: +989141529568

How to cite this Article: Sobhani, B., & Foroutan, M. (2023). Collaborative investigation of the floods of Balikhlochai watershed in Ardabil (Case study: March 07, 2010 and December 08, 2010). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 117-135

DOI: 10.22067/geoeh.2022.75724.1196



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75724.1196> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۱۷-۱۳۵

مقاله پژوهشی

بررسی همدیدی سیل حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل

(مطالعه موردی: ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹)

بهروز سبحانی^۱ - عضو هیأت علمی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
مهدی فروتن - دانشجوی دکتری تخصصی رشته آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۲۵ تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۷

چکیده

سیلاب به عنوان یکی از بلایای طبیعی با داشتن بیشترین فراوانی نسبی وقوع همواره زندگی بشر را تهدید نموده است. هدف از انجام این تحقیق کشف روابط الگوهای گردش جوی با سیلاب‌های حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل به منظور جلوگیری از مخاطرات آن با رویکرد محیطی به گردش است. برای این کار داده‌های دبی برای سه ایستگاه پل الماس، نیر، گیلانده از سال (۱۳۵۳-۱۳۹۲) از اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد و با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ward دو مورد از سیلاب رخ داده در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹ به عنوان فرین انتخاب و تحلیل گردید. داده‌های مربوط به سطوح فوقانی جو از سایت مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP-NCAR) تهیه شد و نقشه‌های ترکیبی فشار تراز سطح دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، بردار باد با آب قابل بارش، امگا با تاوایی و هاف مولر رطوبت ویژه در محیط نرم‌افزار گرسیم گشت. نتایج تحلیل سینوپتیکی نشان داد حاکمیت سامانه کم‌فشار حرارتی مدیترانه‌ای و پرفشار حرارتی چین عامل مهمی در اغتشاش جوی بوده و

Email: sobhaniardabil@gmail.com

انویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۵۲۹۵۶۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

سبحانی، بهروز؛ فروتن، مهدی؛ ۱۴۰۲. بررسی همدیدی سیل حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل (مطالعه موردی: ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹)، جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۱۱۷-۱۳۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75724.1196>

در کنار آن قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلوی محور فرود ناوهی شرق مدیترانه حرکات چرخندی هوا را در پی داشته و وضعیت سرعت قائم هوا و تاوایی روی منطقه مورد مطالعه بیانگر جوی ناپایدار بوده است. مقدار نم ویژه نیز از روز قبل از وقوع سیل در لایه‌های پایینی اتمسفر افزایش یافته و شار رطوبت دریای مدیترانه از طریق بادهای غربی جنب‌حاره‌ای بر جو منطقه مورد مطالعه در ایجاد بارش‌های سیل‌آسا نقش مهمی داشته است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل همدید، سیل، حوضه بالیخلوچای، اردبیل.

۱- مقدمه

بارش‌های شدید و سیل‌آسا از شاخه‌های مهم علم آب‌وهواشناسی همدید است (احمدی و جعفری، ۱۳۹۵) که وقوع آن با شدت زیاد در صورتی که مقدار آن از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد باعث تشکیل رواناب می‌شود (پژوه و جعفری، ۱۳۹۹)؛ همان‌طور که بارش‌های شدید و سیل‌آسا از پیچیدگی رفتاری بارزتری برخوردار است کشور ایران نیز متأثر از رفتار بی‌قاعده و ناهنجار آن است (سلامتی هرمزی و همکاران، ۱۳۹۹). این تغییرپذیری بارش در مسائلی مانند فعالیت‌های کشاورزی، مدیریت منابع آب، مراتع، تأمین آب قابل نوشیدنی و مخاطراتی مانند خشکسالی، سیلاب و گردوغبار تأثیر زیادی دارد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹) اکثر بارش‌های سیل‌آسای ایران به دلیل عبور چرخندهای مدیترانه‌ای است در مناطقی که این سامانه با سیستم‌های کم‌فشار سودانی و شرایط صعودی همراه باشد منجر به بارش‌های رگباری شدید و سیل‌آسا می‌شود (فنودی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ بنابراین این موضوع کانون توجه محققین قرار گرفته و مطالعاتی در این زمینه انجام داده‌اند.

حجتی‌زاده (۱۳۸۸) به بررسی سینوپتیکی و ترمودینامیکی سیل‌های بزرگ در غرب کشور پرداخت و نشان داد هر وقت دو سامانه سودانی و مدیترانه‌ای باهم ترکیب می‌شوند باعث ایجاد این پدیده می‌شوند. **حلییان و همکاران (۱۳۹۱)**، سیلاب فروردین سال ۱۳۸۸ در استان قم را با رویکرد محیطی به گردشی موردبررسی قرار دادند و نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد ادغام سامانه‌های کم‌فشارهای مهاجر همراه با جبهه از سمت شرق مدیترانه با سامانه‌های کم‌فشار منطقه دریای سرخ بارش‌های سیل‌زا را پدید آورده و دریای مدیترانه شرقی، دریای سرخ شمالی خلیج فارس منبع تغذیه رطوبتی این بارش‌ها بوده است. **امینی و همکاران (۱۳۹۲)**، سامانه‌هایی را که منجر به بارش سیل‌آسا در حوضه رودخانه کشکان در طول دوره ۱۳۵۰ - ۱۳۸۴ شده بودند، مورد تحلیل سینوپتیک قرار دادند. آن‌ها سه توفان شدید را به‌عنوان نماینده انتخاب نمودند و بیان داشتند که سه عامل در ریزش این بارش‌ها نقش داشته‌اند و این عوامل عبارتند از: ۱- حاکمیت سامانه پرفشار در شمال غرب اروپا هوای سرد عرض‌های بالاتر را به پشت کم‌فشار مستقر در شرق مدیترانه هدایت نموده؛ ۲- قدرتمند شدن کم‌فشار سودانی و حرکت شمال‌شرق سوی

آن؛ ۳- ادغام کم فشار سودانی با مدیترانه در غرب ایران و تقویت آن از طریق رطوبت هدایت شده به درون این سامانه‌ها توسط پرفشار عربستان.

قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) الگوهای سینوپتیک مولد بارش‌های سیل‌آسا در جیرفت را مورد شناسایی قرار دادند. نتیجه کار آن‌ها نشان داد استقرار سامانه کم‌فشار بر روی ایران مرکزی، واقع شدن منطقه مورد مطالعه در زیر منطقه واگرایی بالایی، حاکمیت پیچانه منفی و چرخندگی مثبت هوا که موجبات صعود هوا شده بودند و دریای خلیج فارس، دریای عرب و خلیج عمان نقش اصلی تأمین رطوبت بارش را برعهده داشته‌اند. **حلبیان و حسینعلی پورجزی (۱۳۹۴)**، با رویکرد محیطی به گردشی بارش‌های سنگین سیل‌زا در آذرماه ۱۳۹۱ در جنوب غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند به هنگام ریزش بارش، فرود عمیقی در شرق مدیترانه تشکیل یافته و با توجه به قرارگیری مناطق مورد مطالعه در شرق این فرود جو ناپایداری را تجربه کرده و دریای مدیترانه، سرخ، خلیج فارس و دریای عرب در تغذیه منابع آبی نقش بسزایی داشته‌اند. **حلبیان و همکاران (۱۳۹۵)**، بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های خزر را با رویکرد محیطی به گردشی مورد تحلیل همدید قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ward بر روی نقشه‌های فشار تراز دریا ۵ الگوی بارشی را شناسایی نمودند و نشان دادند که سیستم‌های پرفشار واقع در روی دریای سیاه، فرود عمیق شرق دریای مدیترانه و شمال غرب دریای خزر و شار رطوبت از دریای خزر، دریای سیاه و مدیترانه در این ریزش‌های بارش مؤثر بوده‌اند.

سبحانی و همکاران (۱۳۹۵)، موج بارشی ابرسنگین استان چهارمحال و بختیاری را با رویکرد همدید-ماهواره‌ای واکاوی نمودند و نشان دادند که گرادیان فشار ایجادشده بین مراکز پرفشار اروپای مرکزی، شمال خزر و غرب چین با مراکز کم‌فشار شمال غرب عربستان، خلیج فارس، غرب هندوستان و شمال غرب آفریقا و دیگر شرایط سیکلونیک، فرودهای عمیق ناشی از بلوکی‌نگ، تغذیه رطوبتی توسط دریای سرخ و خلیج فارس منجر به ایجاد بارش ۵۵۱ میلی‌متری شده است. **محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۵)**، اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش‌های سیلابی فروردین‌ماه ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران را مورد تحلیل همدید قرار دادند نتایج آن‌ها نشان داد پدیده بلاکینگ دوقطبی باعث دوشاخه شدن امواج بادهای غربی شده و شاخه جنوبی انشعاب یافته از امواج غربی با دسترسی بیشتر به منابع رطوبتی جنوبی کشور بارش‌های شدیدی را موجب شده‌اند. **علیجانی و همکاران (۱۳۹۸)**، به شناسایی الگوهای همدید منجر به بارش‌های شدید و سیل‌آسا طی بازه زمانی ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹ در ایران پرداختند. آن‌ها سه سامانه بارشی را بررسی نمودند و نشان دادند عبور سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی و حرکت چرخندی آن مسبب بارش در استان گلستان بوده است. سازوکار اصلی در سامانه‌های دوم و سوم نیز بر اثر ترکیب کم‌فشار سودانی و مدیترانه‌ای بوده است.

کو^۱ و همکاران (۱۹۸۶)، سیل رخداد در تاریخ ۱۱ تا ۱۵ ژوئیه ۱۹۸۱ در حوضه سیچوان چین را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد با تقویت جریان موسمی هند و عبور یک ناوه عمیق از روی دریاچه بایکال که هوای سرد و خشک سیبری را به سمت جنوب غربی چین هدایت کرده بود سرانجام این دو جریان در فلات شرقی و روی حوضه سیچوان به هم برخورد کرده و منطقه‌ای از همگرایی در مقیاس بزرگ ایجاد نموده و در نهایت به رخداد این پدیده انجامیده است. سبزی پرور و همکاران (۲۰۱۰)، به شناخت و طبقه‌بندی الگوهای سیستم‌های هم‌مدیدی منجر به بارش‌های سیل‌آسا در حوضه آبخیز رودخانه دالکی واقع در جنوب غرب ایران پرداختند. آن‌ها برای این کار ۲۰ سیلاب را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد زمانی که سیستم‌های سودانی با مدیترانه‌ای ادغام گشته سیل‌های شدیدی را حوضه مذکور متحمل شده است.

رامیس^۲ و همکاران (۱۹۹۴)، مکانیسم سینوپتیکی سیل‌های اکتبر ۱۹۸۷ در کاتالونیا را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند ناپایداری همرفتی، همگرایی رطوبت در سطوح پایین و مقادیر بالای آب قابل بارش بر روی شمال غربی دریای مدیترانه مشخصه منطقه در طول دوره بارندگی شدید بوده است. دایان^۳ و همکاران (۲۰۰۱)، طوفان شدید پاییزی بر فراز خاور میانه را که همراه با تگرگ و سیل بوده‌اند مورد تحلیل سینوپتیکی قرار دادند و نشان دادند ناپایداری شرطی ایجاد شده توسط دریای سرخ، انتقال رطوبت در سطح متوسط از شمال آفریقا و واگرایی در سطح بالایی که توسط جت قطبی و نیمه گرمسیری ایجاد شده بر شکل‌گیری و تشدید طوفان‌ها تأثیر داشته‌اند.

بالتاچی^۴ (۲۰۱۷)، سیل رخداد در آرتوین (شمال ترکیه) در تاریخ ۲۴ آگوست ۲۰۱۵ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و بیان داشتند یک سیستم کم‌فشار موسمی تابستانی در شرق دریای سیاه استقرار داشته و با تقویت همرفتی در سطح زمین به صعود هوا منجر شده و دمای سطح دریا نیز افزایش ۱/۵ درجه بالاتر از حد معمول را تجربه کرده است علاوه بر این، انتقال رطوبت از دریای سیاه به تقویت طوفان منجر شده است. آرمون^۵ و همکاران (۲۰۱۸)، الگوهای بارش و سیل در سرزمین‌های خشک شام را مورد تحلیل سینوپتیک قرار دادند. آن‌ها سه الگوی گردشی: طوفان مدیترانه (MC)، گذرگاه فعال دریای سرخ (ARST)، توده‌های استوایی (TPs) را شناسایی نمودند و بیان داشتند طوفان‌های MC رطوبت را از مدیترانه می‌کشند و بارش متوسطی را در قسمت شمالی منطقه ایجاد می‌کنند و طوفان‌های ARST و TP مقادیر زیادی رطوبت را از جنوب منتقل می‌کنند که در جنوبی‌ترین بخش‌های خشک لوانت به بارندگی تبدیل می‌شود. گیل‌گیرادو^۶ و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر سیل در سواحل مدیترانه اسپانیا از سال ۱۹۶۰

1 Kuo et al

2 Ramis

3 Dayan et al

4 Baltaci

5 Armon et al

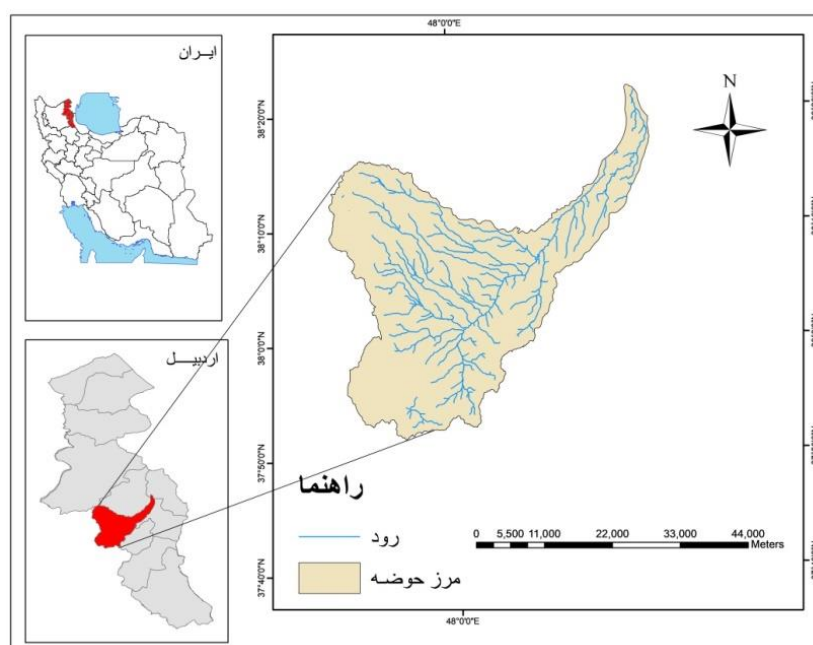
6 Gil-Guirado et al

تا ۲۰۱۵ بر اساس الگوهای همدیدی غالب مورد بررسی قرار دادند آن‌ها ۱۲ الگوی همدیدی جوی را شناسایی نمودند که در رخداد ۳۶۰۸ مورد سیل بین سال‌های مورد مطالعه نقش مؤثری داشته‌اند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته وقوع سیل به عنوان بلای طبیعی همواره زندگی بشر را دگرگون ساخته و از طرفی چون حوضه‌های آبریز از این پدیده بیشتر متأثر هستند؛ لذا در این مقاله هدف غایی بر این بوده عوامل گردش جوی مولد سیلاب شناسایی شود تا تدابیر لازم برای مقابله با این پدیده از سوی برنامه‌ریزان اتخاذ شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه بالیخلوچای از زیر حوضه‌های آبریز دریای خزر در تقسیمات حوضه‌های آبریز کشور است که از جنوب غربی شهر نیر، از میان دو رشته‌کوه سبلان در دامنه‌های جنوبی آن و دامنه‌های شمال غربی بزغوش سرچشمه می‌گیرد و در انتها به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد. موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه بالیخلوچای ۴۷ درجه ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه ۵۲ دقیقه تا ۳۸ درجه ۱۵ دقیقه عرض شمالی واقع گشته است. مساحت حوزه آبریز این رودخانه ۱۰۹۳ کیلومتر مربع و طول اصلی این رودخانه ۶۵ کیلومتر است و حدود ۸۰ میلیون مترمکعب ظرفیت ذخیره‌سازی آب را دارد (رئوف و علی‌اوغلی، ۱۳۹۹: ۳۰۱). هم‌چنین حداکثر ارتفاع حوضه برابر است با ۴۷۸۸ متر و حداقل ارتفاع آن به ۱۲۹۸ متر می‌رسد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه مذکور را در کشور ایران و استان اردبیل نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بالیخلوچای در استان اردبیل

۲-۲- روش انجام پژوهش

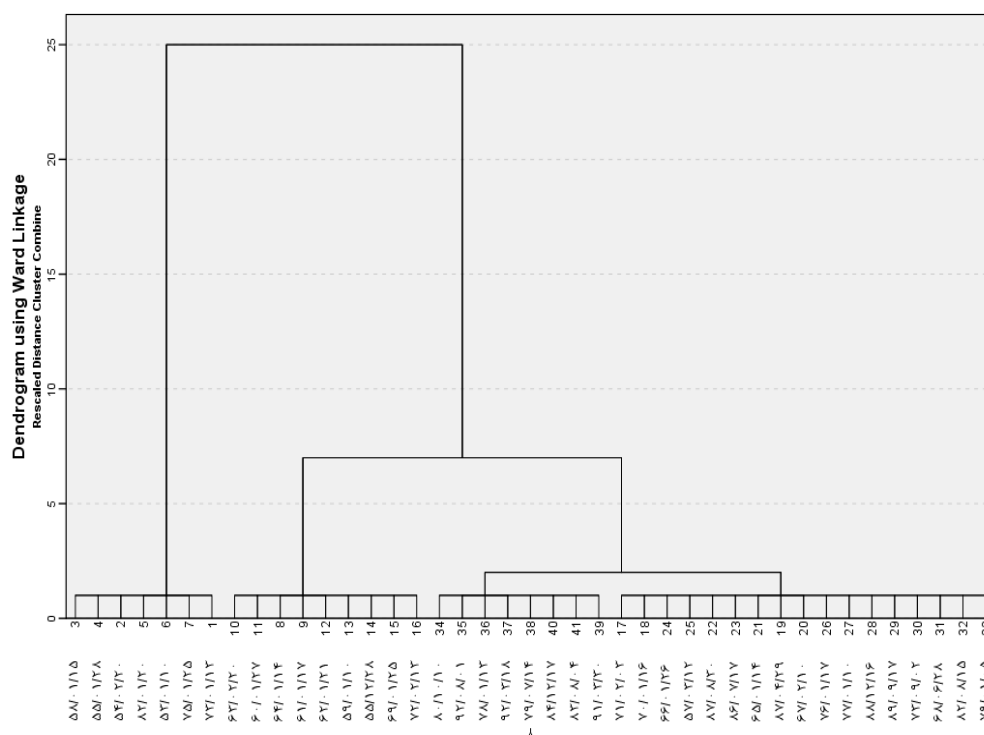
هدف از ارائه این تحقیق شناسایی همدیدی علل وقوع سیلاب حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل از نظر الگوهای گردش جوی با روش محیطی به گردشی است. برای این کار داده‌های مربوط به دبی سیلاب از اداره آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد و با توجه به اینکه شدیدترین دبی‌های جریان آب در ایستگاه پل الماس ثبت شده است و از طرفی به علت رعایت اختصار از این ایستگاه برای انجام روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی ward، استفاده شد. ۴۱ مورد سیل رخ داده از تاریخ ۱۳۵۳-۱۳۹۲ با توجه به قدرت دبی‌های آن در خوشه‌های مختلف قرار گرفتند و از بین آن‌ها سیلاب‌های رخ داده در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ و ۱۷ آذر ۱۳۸۹ به‌عنوان فرین انتخاب گردید و در این تحقیق مورد تحلیل همدیدی قرار گرفت. برای این کار داده‌های سطوح فوقانی جواز مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) (NCAR¹) دریافت شد و به ترسیم نقشه‌های جوی روز وقوع سیل و قبل از آن به‌صورت ترکیبی شامل فشار تراز سطح دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با آب قابل بارش سطح زمین تا سطوح فوقانی جو، امگا با تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و هاف مولر برای رطوبت ویژه در محیط نرم‌افزار گردش پرداخته شد.

1 <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2>

۳- نتایج و بحث

در مطالعات اقلیمی روش‌هایی برای گروه‌بندی افراد یک نمونه مطرح می‌شود که در آن هدف بر این است افراد مشابه در گروه‌های خاصی قرار بگیرد و درعین حال می‌تواند داده‌ها را کاهش دهد که به این روش تحلیل خوشه‌ای می‌گویند. یکی از الگوریتم‌های این روش، تحلیل سلسله‌مراتبی است که در آن تعداد گروه‌ها و یا خوشه‌ها نامشخص است و روش بر پایه تکنیک‌های متعدد، خوشه‌ها یا گروه‌ها را شناسایی نموده و به صورت یک نمودار شاخه درختی آن را نشان می‌دهد (فرج‌زاده، ۱۳۹۴:۹۹).

شکل ۲، نمودار دندروگرام داده‌های دبی ایستگاه پل‌الماس را برای دوره آماری ۱۳۵۳-۱۳۹۲ نشان می‌دهد. مطابق این شکل ۴۱ مورد سیل رخ داده در منطقه مورد مطالعه به خوشه‌های مختلف با دبی شدید و ضعیف تقسیم‌بندی شدند و از بین این فرین‌ها سیلاب رخ داده در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۳۸۸ با دبی پیک ۱۹/۴۱ مترمکعب بر ثانیه و ۱۷ آذرماه ۱۳۸۹ با دبی پیک ۱۸/۵۳ مترمکعب در ثانیه به‌عنوان روزهای نماینده در نظر گرفته شد.

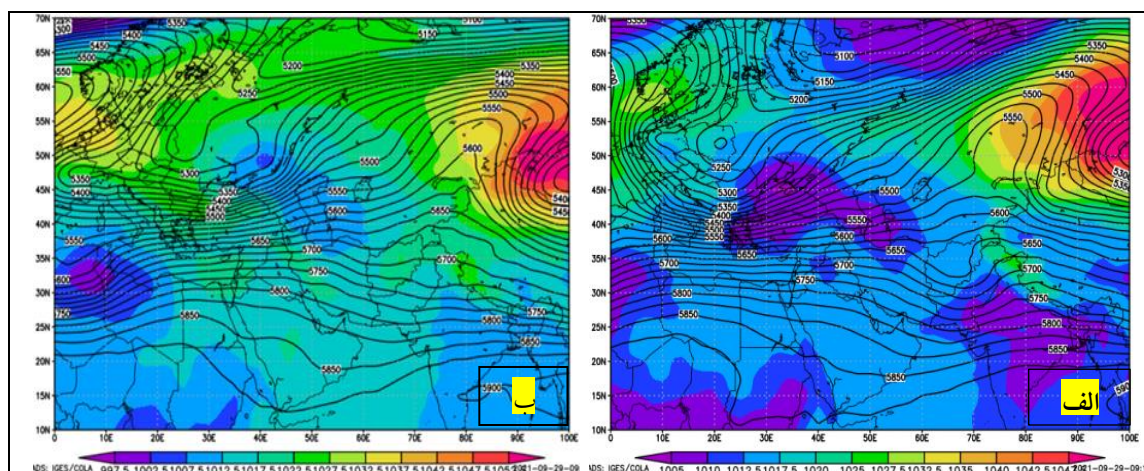


شکل ۲- نمودار درختی خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ward برای داده‌های دبی ایستگاه پل‌الماس (۱۳۵۳-۱۳۹۲)

۳-۱- تحلیل همدید سیل مورخه ۷/مارس/۲۰۱۰ (معادل ۱۳۸۸/۱۲/۱۶)

در روز ذکرشده سبلی با دبی پیک ۱۹/۴۱ مترمکعب در ثانیه به ثبت رسیده است. بر اساس شکل ۳ در بررسی نقشه فشار سطح زمین برای روز ۱۵ اسفند سال ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود یک سیستم کم‌فشار حرارتی مدیترانه‌ای با مرکزیت ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه مستقر شده و زبانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌بار آن بر فراز منطقه مورد مطالعه و قسمت‌های شمالی کشور ایران کشیده شده است. حاکمیت سامانه مذکور بر نواحی یادشده باعث ایجاد هوای گرم و صعودی شده است. هم‌چنین در این روز یک سامانه پرفشار قدرتمندی با کانون ۱۰۵۰ هکتوپاسکال در شمال مغولستان تشکیل یافته و اطراف آن را سیستم‌های کم‌فشاری احاطه نموده است. شیب گرادیان فشار ایجادشده بین این مراکز فشار و حرکت دینامیکی آن‌ها باعث انتقال جریان هوا از مراکز پرفشار به سمت مراکز کم‌فشار و قسمت‌های شمالی ایران شده است. مکش جریانات هوای طی حرکت درون‌گرد سامانه کم‌فشار حرارتی مدیترانه‌ای رطوبت دریای خزر را نیز بر جو منطقه مورد مطالعه کشانده است. در روز ۱۶ اسفندماه، سیستم فروبار مدیترانه‌ای جهت شمال شرق سو یافته و از حیث محدوده فعالیت کوچک‌تر و قدرت مرکزی آن نسبتاً ضعیف گشته است؛ اما کماکان زبانه‌های آن بر شمال ایران حاکمیت داشته و گذر خط هم‌فشار ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکال آن بر فراز منطقه مورد مطالعه به تقویت حرکات چرخندی هوا و صعود آن منجر شده و در صورت تغذیه رطوبت پتانسیل ریزش بارش را به دنبال داشته است.

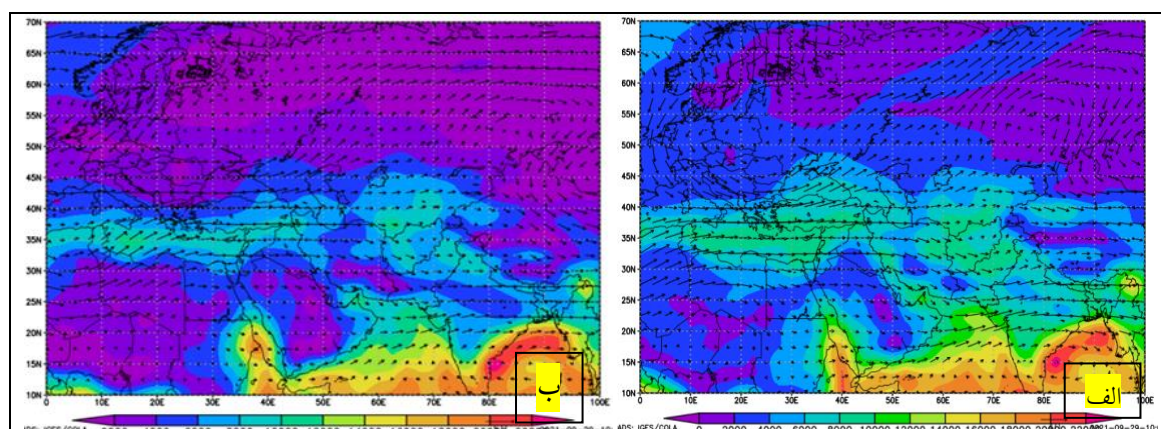
بر اساس شکل ۳ در مطالعه نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۵ اسفند سال ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود یک بلوکینگی از نوع کم‌ارتفاع بریده در مرکز اروپا پدید آمده و موجب انشعاب جریانات غربی و تشکیل یک ناوهای در شمال دریای مدیترانه شده است. در جلوی محور فرود این ناوه شرایط کُزفشاری حاکم بوده و چرخندگی مثبت هوا باعث انتقال رطوبت دریای مدیترانه به سمت عرض‌های بالاتر شده است؛ اما در روی منطقه مطالعاتی جریان هوا بیشتر به‌صورت مداری بوده و بادهای غربی با حرکت مستقیم خود رطوبت دریای مدیترانه را وارد جو منطقه پژوهشی نموده‌اند. در روز رخداد سیل بن‌دال مذکور نابود گشته و ناوه جنوب آن به‌صورت مداری شده و خطوط هم‌ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال فشرده‌شده‌اند؛ و منطقه مورد مطالعه همچنان تحت هجوم حرکت مستقیم بادهای غربی قرار گرفته و این عامل به شار رطوبت هر چه بیشتر از دریای مدیترانه منتهی شده است.



شکل ۳- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف) ۶ مارس، ب) ۷

مارس ۲۰۱۰

شکل ۴ نقشه ترکیبی آب قابل بارش از سطح زمین تا سطوح فوقانی جو و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای روز ۱۵ اسفند سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. مطابق این شکل یک نوار رطوبتی به صورت کمربندی در بین عرض‌های ۳۰ تا ۴۰ درجه فعالیت داشته و منشأ آن دریای مدیترانه بوده است. در این روز بادهای غربی که خاستگاه حرکت آن‌ها از روی اقیانوس اطلس بوده است مسیری شمال-جنوبی در غرب اروپا داشته و در ادامه، حرکت آن‌ها متأثر از کانال ناوه واقع در شمال مدیترانه قرار گرفته و قسمتی از آن به سمت شمال غرب ایران هدایت یافته است؛ اما در روز اوج بارش با مداری شدن ناوه مذکور، بادهای غربی با حرکت مستقیم خود منابع رطوبتی را بر قسمت‌های شمال غرب ایران شارش نموده و مقدار ۸ کیلوگرم در یک مترمربع آب قابل بارش در جو منطقه مطالعاتی آماده ریزش بارش بوده است.

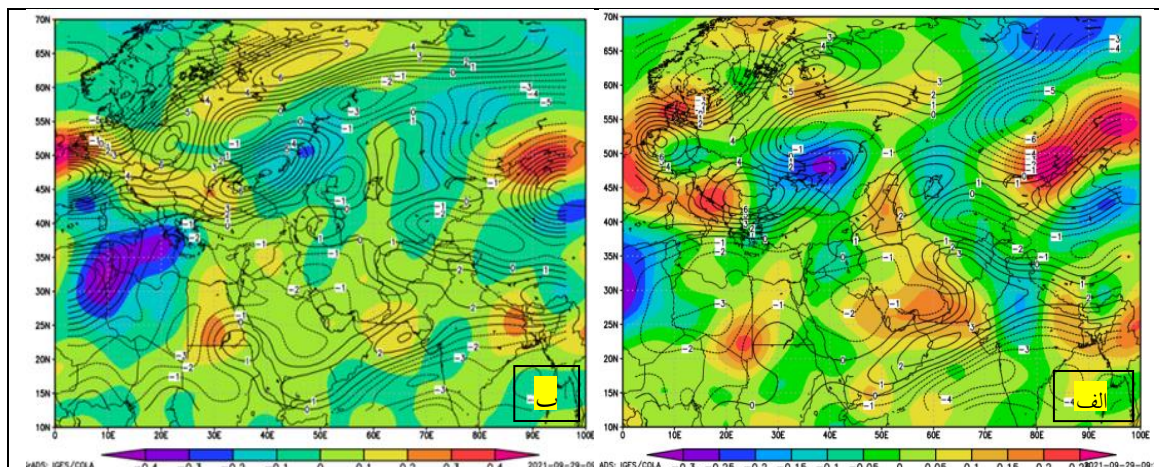


شکل ۴- نقشه ترکیبی بردار باد با آب قابل بارش تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف) ۶ مارس، ب) ۷ مارس

۲۰۱۰

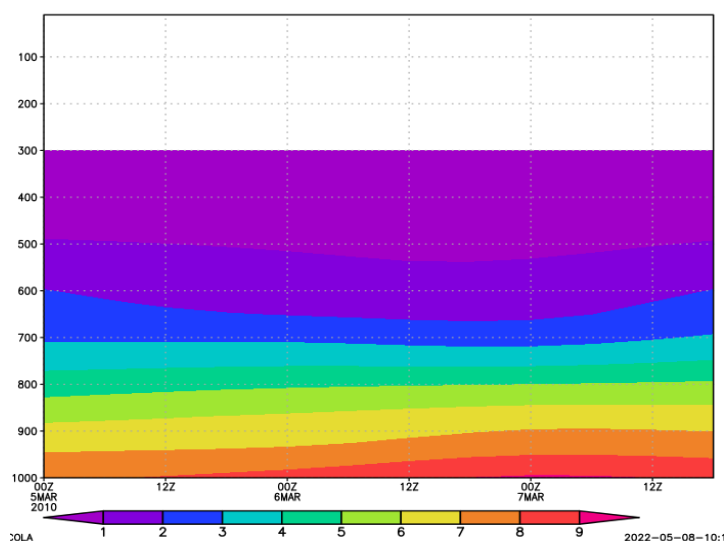
بر اساس شکل ۵ وضعیت حرکات سرعت قائم هوای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۵ فروردین سال ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود در روز قبل از وقوع سیل یک هسته مثبت امگا درروی دریای خزر با بیشینه $+0.2$ پاسکال بر ثانیه پدید آمده و حاکمیت زبانه $+0.1$ پاسکال بر ثانیه در منطقه دلالت بر پایداری هوا، تقویت واگرایی و نزولی بودن هوا داشته است. مشابه این وضعیت برای جنوب شرق ایران نیز صادق است؛ اما در روز وقوع سیل هسته‌های مثبت امگا پراکنده گشته‌اند و حاکمیت مقدار صفر امگا بر منطقه نشان می‌دهد جریان هوا نسبت به روزهای قبل ناپایدار گشته است.

مطابق شکل ۵ در نقشه تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۵ فروردین سال ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود یک هسته مثبت تاوایی در غرب دریاچه آرال با بیشینه مقدار $+3$ تاوایی به وجود آمده و زبانه $+2$ آن بر روی منطقه مطالعاتی کشیده شده که نشان می‌دهد وضعیت چرخندی هوا در منطقه حاکم بوده است. در روز وقوع پدیده با توجه به مداری شدن ناوه شمال مدیترانه مقدار چرخندگی هوا نیز در منطقه مورد مطالعه به $+1$ تنزل نموده ولی همچنان نشان دهنده این حالت است که جریانات هوا صعودی و چرخش افقی هوا موافق با حرکت وضعی زمین بوده و شرایط کژفشاری در منطقه حاکم بوده است.



شکل ۵- نقشه ترکیبی امگا با تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف (۶ مارس، ب) ۷ مارس ۲۰۱۰

شکل ۶، نقشه هافمولر رطوبت ویژه را برای طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در آن زمان و ارتفاع متغیر بوده است. بر حسب این شکل این نتیجه حاصل می‌آید که بیشینه مقدار نم ویژه جوی در تراز سطح زمین ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از ساعت ۱۲ زولو ۵ مارس تا ساعت ۱۸ زولو ۸ مارس قابل مشاهده است و مقدار آن به ۱۰ گرم در کیلوگرم هوا رسیده است؛ اما هرچقدر به سمت ارتفاعات بالاتر می‌رویم به تدریج از مقدار نم ویژه جوی کاسته شده و در ترازهای میانی جو (۶۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال) مقدار نم ویژه ۲ تا ۳ گرم در کیلوگرم هوا تا ساعت ۱۲ زولو ۶ مارس به ترازهای پایین نفوذ کرده ولی به تدریج تا روز فرین به سمت ارتفاعات بالاتر میل نموده است.

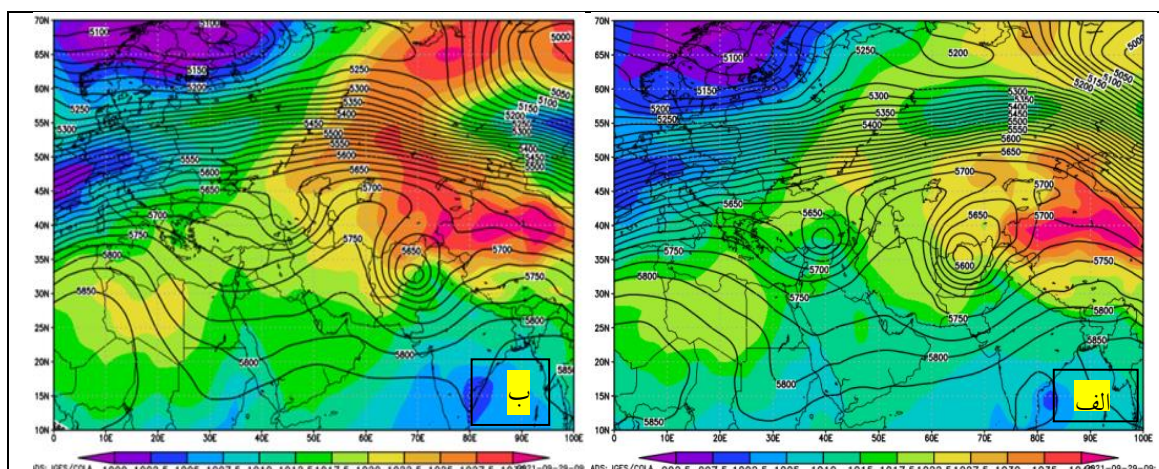


شکل ۶- نقشه هافمولر رطوبت ویژه صفر زولو ۵ مارس تا ۱۸ زولو ۷ مارس ۲۰۱۰ تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال (طول و عرض ثابت، زمان و ارتفاع متغیر)

۳-۲- تحلیل همدید سیل مورخه ۸/ دسامبر / ۲۰۱۰ (معادل ۱۳۸۹/۹/۱۷)

در روز یادشده در منطقه مورد مطالعه میزان سیل رخ داده با دبی پیک ۱۸/۵۳ مترمکعب در ثانیه بوده است. طبق شکل ۷ در بررسی نقشه فشار سطح زمین برای روز ۱۶ آذرماه سال ۱۳۸۹، مشاهده می شود یک سامانه پرفشار حرارتی با مرکزیت ۱۰۴۰ هکتوپاسکال بر روی چین به وجود آمده و حرکت برون گرد آن موجب انتقال جریان هوا به سمت مرزهای شرقی ایران شده است. در این روز کل پهنه خاکی ایران زیر سلطه زبانهای سامانه مزبور بوده و جو هوا وضعیت باروتروپیکی تجربه کرده است. در روز وقوع سیل، سیستم پرفشار مذکور حرکت غرب سو داشته و حتی در جهت نصف النهاری نیز تا شمال روسیه امتداد یافته است. گسترش محدوده فعالیت آن در جهات مداری و نصف النهاری باعث کشیده شدن زبانه ۱۰۲۰ هکتوپاسکال آن بر روی منطقه مطالعاتی شده و این عامل باعث پایداری هوا به جز در بخش های جنوبی ایران شده است. هم چنین حرکت ساعت گرد هوا در این سامانه باعث انتقال رطوبت دریای خزر به سمت حوضه مورد مطالعه شده است. گسترش این سامانه بر غرب آسیا و قرارگیری آن در همسایگی مراکز کم فشار اروپا یک شیب گرادیان فشاری بین این مراکز ایجاد نموده است.

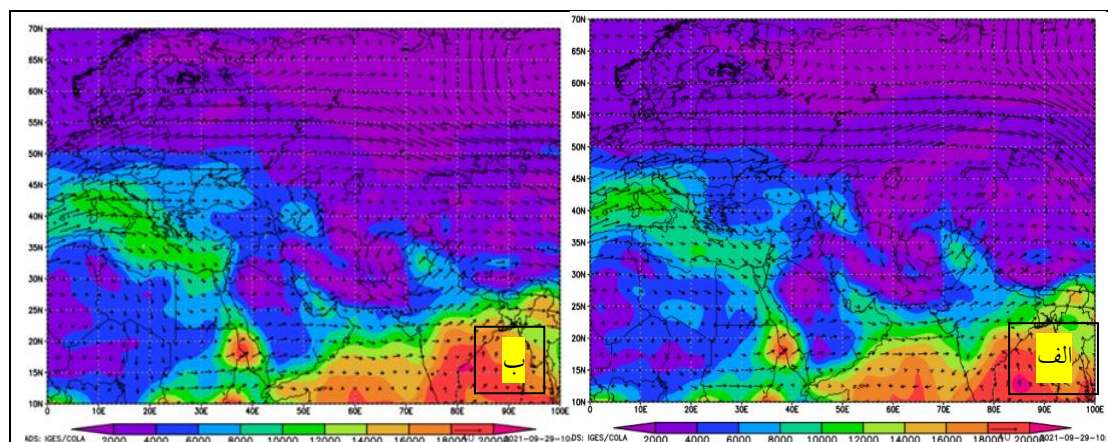
مطابق شکل ۷ وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۶ آذر سال ۱۳۸۹ نشان می دهد یک سردچالی در روی ترکیه به وجود آمده و باعث دوشاخه شدن جریان هوای بادهای غربی شده است. در قسمت جنوب این پدیده که خطوط تراز هم فشار انحنا یافته اند منجر به تشکیل یک ناوه در شرق دریای مدیترانه شده اند. چرخندگی مثبت هوا در قسمت جلوی محور فرود این ناوه صعود هوا را در جو منطقه مطالعاتی منجر شده است. در روز رخداد سیل سردچال مذکور نابود گشته و ناوه یادشده حرکتی شمال شرق سو یافته است و همچنان منطقه مورد مطالعه در جلوی محور فرود و پشت محور فراز واقع گشته است. وضعیت دینامیکی هوا در این حالت به گونه ای بوده که هم گرایی در عرض های پایین و واگرایی در عرض های بالا اتفاق افتاده و منجر به تقویت صعود هوا در منطقه مورد مطالعه شده است. هم چنین می توان گفت رطوبت دریای سیاه و دریای مدیترانه از طریق کانال این ناوه به همراه هوای گرم عراق به سمت ناحیه مورد بررسی شارش یافته است.



شکل ۷- نقشه ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف) ۷ دسامبر، ب) ۸

دسامبر ۲۰۱۰

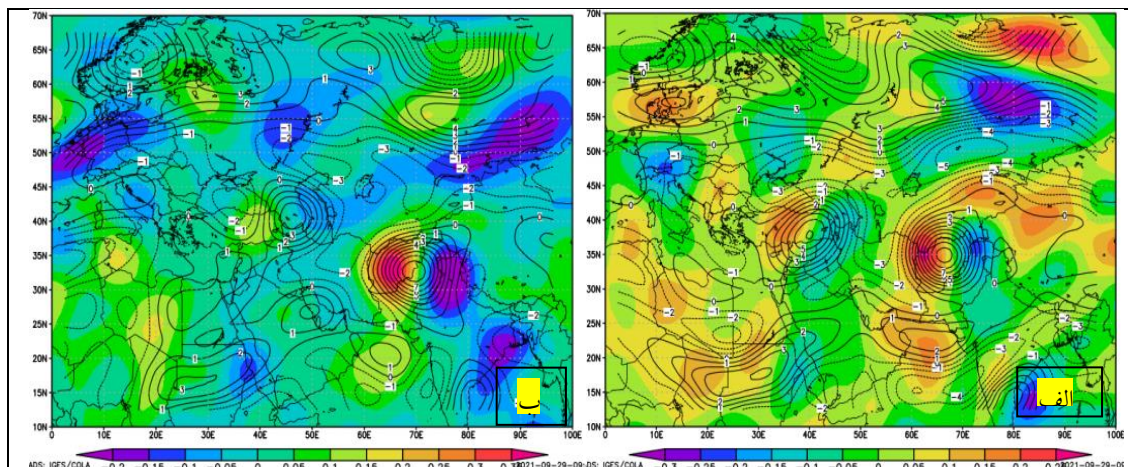
بر اساس شکل ۸ نقشه آب قابل بارش از سطح زمین تا سطوح فوقانی جو و بردار باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۶ آذرماه سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد در محدوده جغرافیایی دریای مدیترانه، یک هسته رطوبتی با بیشینه ۱۲ کیلوگرم بر یک مترمربع پدید آمده و توسط بادهای غربی جنب حاره حمل شده و در ترکیه تحت تأثیر انشعاب ایجاد شده توسط سردچال موجود قرار گرفته‌اند. دو شاخه شدن جریان بادهای غربی در این ناحیه موجب شده قسمتی از این بادهای غربی از طریق کانال ناوه واقع در جنوب سردچال مذکور به سمت شمال غرب کشور ایران هدایت شوند. با منحل شدن سردچال مذکور در روز رخداد سیل و نزدیکی ناوه به سمت ناحیه مورد مطالعه و به تبع شدت یافتن سرعت باد در جلوی محور ناوه بر شدت ناپایداری در منطقه افزوده شده است و میزان رطوبت موجود در جو به مقدار ۸ کیلوگرم در یک مترمربع رسیده است؛ بنابراین دریای مدیترانه نقش پررنگی در تغذیه رطوبتی بارش روز مذکور داشته است.



شکل ۸- نقشه ترکیبی بردار باد با آب قابل بارش تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف) ۷ دسامبر، ب) ۸ دسامبر ۲۰۱۰

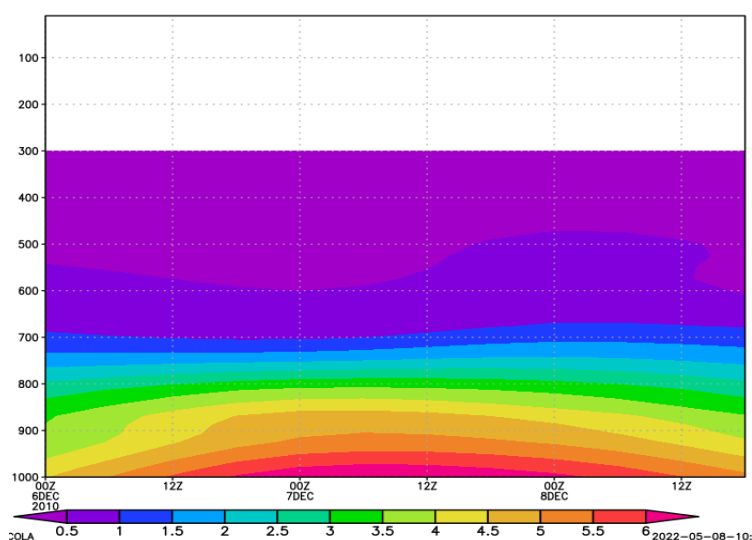
بر اساس شکل ۹ وضعیت امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۶ آذرماه سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد یک هسته امگای منفی ضعیفی در شمال غرب ایران به وجود آمده و بیشینه آن به ۰/۱- پاسکال بر ثانیه رسیده است حاکمیت آن بر روی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد از میزان فشار هوا کاسته شده و جریانات هوا صعودی بوده است. در روز ۱۷ آذرماه هسته منفی امگای یادشده به عرض‌های شمالی نقل مکان نموده و یک هسته مثبت امگا جای آن را اشغال کرده است و بخش‌هایی از شمال غرب ایران را تحت پوشش خود درآورده است. در این روز حاکمیت مقدار صفر امگا در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد از شدت جریانات صعودی هوا نسبتاً کاسته شده است.

مطابق شکل ۹ وضعیت تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۱۶ آذرماه سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد در شمال غرب و شمال شرق ایران هسته‌های مثبت تاوایی قدرتمندی به وجود آمده است؛ درحالی‌که قسمت‌های مرکزی ایران و حتی منطقه مورد مطالعه وضعیت متفاوت از آن داشته و حاکمیت مقدار ۱- تاوایی در منطقه نشان از نزول هوا داشته است. هسته مثبت تاوایی شمال غرب ایران در روز وقوع سیل حرکت شمال شرق سو داشته و توانسته با عقب راندن زبانه منفی تاوایی بر منطقه مورد مطالعه تسلط یابد و حاکمیت مقدار تاوایی ۲+ بر منطقه دلالت بر این داشته که گردش افقی هوا موافق با حرکت وضعی زمین بوده و منجر به صعود هوا شده است.



شکل ۹- نقشه ترکیبی امگا با تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز الف (۷ دسامبر، ب) ۸ دسامبر ۲۰۱۰

در شکل ۱۰، نقشه هاف مولر رطوبت ویژه ساعات صفر زولو ۶ دسامبر تا ۱۸ زولو ۸ دسامبر ۲۰۱۰ برای تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال را مشاهده می‌کنیم. مطابق این شکل مقدار بیشینه رطوبت ویژه در تراز سطح زمین (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) بوده که به ۷ گرم در کیلوگرم هوا در روز قبل از وقوع سیل رسیده است. مشابه این وضعیت با مقدار نم ویژه نسبتاً کم‌تر تا تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود؛ اما در ترازهای ۶۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال مقدار نم ویژه موجود در جو از بی‌نظمی زمانی برخوردار بوده و در ساعات مختلف بین ارتفاعات متفاوت حدود ۰/۵ تا ۱ گرم در کیلوگرم هوا در نوسان بوده است.



شکل ۱۰- نقشه هاف مولر رطوبت ویژه ساعات صفر زولو ۶ دسامبر تا ۱۸ زولو ۸ دسامبر ۲۰۱۰ تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال (طول و عرض ثابت، زمان و ارتفاع متغیر)

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر سعی بر این بود تا با تحلیل همدیدی دو مورد از سیلاب‌های رخ داده در حوضه آبخیز بالیخلوچای اردبیل عوامل جوی مولد بارش‌های سیل‌آسای منطقه مذکور از دیدگاه محیطی به گردشی شناسایی شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در تراز سطح زمین سامانه‌های فشار از جمله کم‌فشار حرارتی مدیترانه‌ای و پرفشار حرارتی واقع در چین در درجه اول عامل مهمی در اغتشاش جوی بوده‌اند. بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی‌بار نیز نشان داد منطقه مورد مطالعه در جلوی محور فرود ناوه‌ی شرق مدیترانه قرار گرفته و حرکات چرخندی هوا به تقویت جریان‌ات و اگرایی در سطوح فوقانی جو شده است؛ اما نقشه‌های کمکی نظیر امگا و تاوایی نشان داد مقادیر صفر امگا و تاوایی مثبت در روزهای فرین بر منطقه غالب بوده که بیانگر صعودی بودن هوا بوده‌اند. هم‌چنین حرکت بادهای غربی جنب حاره به گونه‌ای بوده که بیشتر از روی دریای مدیترانه عبور کرده و بر رطوبت آن را بر جو منطقه مورد مطالعه شارش نموده است بنابراین می‌توان گفت دریای مدیترانه نقش مهمی در تغذیه رطوبتی بارش‌های سیل‌آسا داشته است. وضعیت رطوبت ویژه در نقشه‌های هاف مولر نشان داد که مقدار نم موجود در هوا بیشتر در لایه‌های پایینی زمین بوده و از روز قبل از وقوع سیل بر میزان آن افزوده شده است.

مطابق تحقیقات سینوپتیکی اشاره شده در قسمت پیشینه تحقیق، نتایج این پژوهش نیز با نتایج کار دیگر محققین تداومی داشته است. همان‌طور که **قوبدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳)** بیان داشتند استقرار سامانه کم‌فشار بر روی ایران مرکزی، واقع شدن جیرفت در زیر منطقه و اگرایی بالایی، صعود هوا به علت چرخندگی مثبت و تأمین رطوبت از دریای خلیج فارس، دریای عرب و خلیج عمان نقش اصلی را در ایجاد بارش‌های سیل‌آسا بر عهده داشته‌اند. **حلبیان و همکاران (۱۳۹۱)** اشاره داشتند ادغام سامانه‌های کم‌فشار مهاجر همراه با جبهه از سمت شرق مدیترانه با سامانه‌های کم‌فشار منطقه دریای سرخ بارش‌های سیل‌زا را پدید آورده و دریای مدیترانه شرقی، دریای سرخ شمالی خلیج فارس منبع تغذیه رطوبتی این بارش‌ها بوده است. هم‌چنین **حجتی‌زاده (۱۳۸۸)** بیان داشت هر وقت دو سامانه سودانی و مدیترانه‌ای باهم ترکیب می‌شوند باعث ایجاد این پدیده می‌شوند؛ بنابراین طبق این نتایج می‌توان ادعا بر این داشت که کم‌فشارهای حرارتی تشکیل شده بر روی دریای مدیترانه، عمده بارش‌های سیل‌آسای ایران را عهده‌دار بوده است؛ بنابراین لازم است تدابیری برای زمان قبل از وقوع سیل و اقداماتی بعد از رخداد آن انجام شود.

کتابنامه

- احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدیدی سیل و ویرانگر تیرماه سال ۱۳۹۴ شمال ایران. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۳۴، ۸۳-۱۰۴. https://jopg.larestan.iau.ir/article_531683.html
- امینی، میترا؛ لشکری، حسن؛ کرمپور، مصطفی؛ حجتی، زهرا؛ ۱۳۹۲. تحلیل سینوپتیک سامانه‌های همراه با بارش سنگین و سیل‌زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری (۱۳۵۰-۱۳۸۴). نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۳، ۲۰-۱. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_3_17.html
- پژوه، فرشاد؛ جعفری، فرزانه؛ ۱۳۹۹. واکاوی همدیدی بارش‌های سیل‌آسا و مخاطره‌آمیز غرب و جنوب غرب ایران در دهه اول فروردین ۱۳۹۸. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۱۴، ۱۶۵-۱۸۴. http://www.sepehr.org/article_44600.html
- حجتی‌زاده، رحیم؛ ۱۳۸۸. بررسی سینوپتیکی و ترمودینامیکی سیل‌های بزرگ در غرب کشور. مجموعه علوم نظامی، شماره ۳۸-۳۹، ۸۳-۹۸. http://rmmc.ihuo.ac.ir/article_205667.html
- حلبیان، امیرحسین؛ حسینعلی پورجزی، فرشته؛ ۱۳۹۴. تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی در جنوب غرب ایران مورد مطالعه: بارش‌های سنگین سیل‌زا در آذر ۱۳۹۱. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۴، ۳۱-۴۶. <https://system.khu.ac.ir/jsaeh/article-1-2530-fa.pdf>
- حلبیان، امیرحسین؛ حسینعلی پورجزی، فرشته؛ صابری، بیژن؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدید سامانه‌های سیل‌زا در قم (مطالعه موردی: سیلاب فروردین سال ۱۳۸۸). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۸، ۱۲۱-۱۳۷. <https://www.magiran.com/paper/1116715>
- حلبیان، امیرحسین؛ دهقانپور، علیرضا؛ عاشوری قلعه رودخانه، زینب؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدید بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های شرقی خزر. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۹، ۳۷-۵۷. https://geoeh.um.ac.ir/article_30090.html
- رثوف، مجید؛ علی‌اوغلی، سیمین؛ ۱۳۹۹. برآورد جریان محیط زیستی رودخانه بالیخلوچای و بررسی تأثیر بهره‌برداری از سد یامچی بر رژیم جریان هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی رودخانه. منابع طبیعی ایران، شماره ۲، ۲۹۹-۳۱۲. https://jne.ut.ac.ir/article_77253.html
- سبحانی، بهروز؛ عالی‌جهان، مهدی؛ زینالی، بتول؛ ۱۳۹۵. واکاوی همدید-ماهواره‌ای موج بارشی سنگین استان چهارمحال و بختیاری. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۰، ۱۰۹-۱۳۴. https://geoeh.um.ac.ir/article_30562.html
- سلامتی هرمزی، وحید؛ امیدوار، کمال؛ کاوسی، رضا؛ حمزه‌نژاد، مجتبی؛ ۱۳۹۶. شناسایی و تحلیل همدیدی - دینامیکی الگوهای جوی سیلاب آبان ۱۳۹۴ در استان‌های ایلام و لرستان. مجله علمی و ترویجی نیوار، شماره ۹۶-۹۷، ص ۲۷-۹. <https://www.magiran.com/paper/1716366>

- شهبازی، علی؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ ملکیان، آرش؛ سلاجقه، علی؛ ۱۳۹۳. انتخاب بهترین فرمول تجربی برای برآورد زمان تمرکز در حوضه‌های آبخیز شهری (مطالعه موردی: شهر ماهدشت). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی/ایران، شماره ۳، ۴۱۹-۴۳۵. https://jrwm.ut.ac.ir/article_52835.html
- علیجانی، بهلول؛ میرزایی، نبی‌اله؛ جاهدی، آرمان؛ ۱۳۹۸. واکاوی همدید بارش‌های حدی و سیل‌آسای کشور مطالعه موردی: ۱۶-۳۱ مارس ۲۰۱۹. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی، شماره ۲، ۷۰-۱۱۴. http://cccd.znu.ac.ir/article_44665.html
- علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا.
- فرج‌زاده، منوچهر؛ ۱۳۹۴. تکنیک‌های اقلیم‌شناسی. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- فنودی، محسن؛ امیدوار، کمال؛ مزیدی، احمد؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹۷. تحلیل الگوهای گردشی مؤثر بر بارش‌های رگباری ناحیه کوهپایه داخلی ایران. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱، ۱۳۷-۱۶۳. https://jgrd.um.ac.ir/article_32824.html
- قوبدل رحیمی، یوسف؛ احمدی، محمود؛ حاتمی زرنه، داریوش؛ رضایی، محمد؛ ۱۳۹۳. شناسایی الگوهای سینوپتیک بارش سنگین مولد سیلاب مخرب در شهرستان جیرفت، جغرافیا، شماره ۴۱، ۱۶۱-۱۷۸. <https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1393801>
- کریمی، مصطفی؛ جعفری، ایوب؛ بنی عامریان، امیر؛ کاکي، سیف‌اله؛ ۱۳۹۹. تحلیل آماری - همدیدی تاریخ اولین بارش مؤثر در غرب و شمال‌غرب ایران. جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۵، ۱-۱۹. <https://www.sid.ir/paper/960327/fa>
- محمودآبادی، مهدی؛ امیدوار، کمال؛ مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احد؛ نارنگی فرد، مهدی؛ فاطمی، مهران؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدید اثرات پدیده بلاکینگ بر بارش‌های سیلابی فروردین ماه ۱۳۹۲ در نیمه جنوبی ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۲۵-۲۶، ۶۷-۸۲. https://clima.irimo.ir/article_42077.html
- مهدوی، محمد؛ ۱۳۷۱. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران.

- Armon M, Dente E, Smith JA, Enzel Y, Morin E., 2018. Synoptic-Scale Control over Modern Rainfall and Flood Patterns in the Levant Drylands with Implications for Past Climates. Journal of Hydrometeorology 19(6): 1077-1096. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018JHyMe..19.1077A/abstract>
- Baltaci H., 2017. Meteorological analysis of flash floods in Artvin (NE Turkey) on August 24, 2015. Nat. Hazards Earth Syst. Sci 404: 1-23. <https://nhess.copernicus.org/articles/17/1221/2017/>
- Dayan U, Ziv B, Margalit A, Morin E, Sharon D., 2001. A severe autumn storm over the middle-east: synoptic and mesoscale convection analysis. Theoretical and Applied Climatology volume 69: 103-122. <https://link.springer.com/article/10.1007/s007040170038>
- Gil-Guirado S, Pérez-Morales A, Pino D, CarlosPeña J, LópezMartínez F., 2022. Flood impact on the Spanish Mediterranean coast since 1960 based on the prevailing synoptic patterns. Science of The Total Environment 807 (1): 1-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721058551>

- Kuo YH, Cheng L, Anthes RA., 1986. Mesoscale Analyses of the Sichuan Flood Catastrophe, 11–15 July 1981. *Monthly Weather Review* 114(11): 1984–2003.
https://www.researchgate.net/publication/234182830_Mesoscale_Analyses_of_the_Sichuan_Flood_Catastrophe_11_15_July_1981
- Ramis C, Llasat MC, Genovés A, Jansà A., 1994. The October-1987 floods in Catalonia: Synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorological Applications* 1(4): 337-350.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/met.5060010404>
- Sabziparvar AA, Parandeh A, Lashkari H, Yazdanpanah H., 2010. Mid-level synoptic analysis of flood-generating systems in South-west of Iran (case study: Dalaki watershed river basin). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci* 10(11): 2269–2279.
<https://nhess.copernicus.org/articles/10/2269/2010/>



Investigating the Most Suitable Observation Points in Natural Resources Monitoring using Spatial Analysis

 **Mohsen Mostafa^{a*}, Shaban Shataee Jouibary^b**

^a Assistant Professor, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

^b Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 8 April 2022

Revised: 7 May 2022

Accepted: 29 May 2022

Abstract

A basic critical phase in watershed monitoring is choosing the most suitable observation points which are followed by monitoring the natural resources with a wide range of view using visibility spatial analysis. Monitoring towers are crucial assets in detecting forest fires, in addition to other technological advancements. For this study 30 villages, located in Chehelchai watershed, were selected as the observation points along with 26 convenient and accessible perspective points as the observer points. For this purpose, visibility analysis lookout towers were determined using QGIS software and the percentages of visible and invisible areas were determined for the study area. Four scenarios were employed aimed at looking into the good visibility of the points for indirect watershed monitoring using Viewshed analysis in QGIS software; First scenario: Offset A = 1.6M, Radius 2 = 1200M; Second scenario: Offset A = 11.6M, Radius 2 = 1200M, Third scenario: Offset A = 1.6M, Radius 2 = 10000 and Fourth scenario: Offset A = 1.6M, Radius 2 = 10000M. The results showed that the Viewshed side program makes it possible to locate visible and invisible areas from the observer points according to different scenarios. Moreover, it was concluded that visibility analysis is a very useful and practical method for evaluating monitoring lookout towers and determining the potential location of the towers.

Keywords: Viewshed, Visible Area, Monitoring, Natural Resources

*. Corresponding author: Mohsen Mostafa E-mail: M.Mostafa@areeo.ac.ir Tel: + 989374059797

How to cite this Article: Mostafa, M., & Shataee Jouibary, Sh. (2023) Investigating of the most suitable observation points in natural resources monitoring using spatial analysis. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 137-154.

DOI: 10.22067/GEOEH.2022.76598.1220



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76598.1220> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۵۴-۱۳۷

مقاله پژوهشی

شناسایی مناسب‌ترین نقاط دیده‌بانی در پایش عرصه‌های منابع طبیعی با استفاده از تحلیل‌های مکانی

محسن مصطفی^۱ - استادیار بخش منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، ساری، ایران

شعبان شتایی جویباری - استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۸

چکیده

شناسایی نقاط مناسب دیده‌بانی و پایش عرصه‌های منابع طبیعی برای تهدیداتی نظیر آتش‌سوزی با میدان دید وسیع یکی از مراحل اصلی پایش یک حوزه آبخیز با استفاده از تحلیل رؤیت‌پذیری سامانه‌های اطلاعات مکانی است. تعبیه برج‌های دیده‌بانی علاوه بر تشخیص تخریب‌های صورت گرفته دارای کاربردهای دیگری با توجه به توسعه تکنولوژی می‌باشند. در این تحقیق ۳۰ روستای قرار گرفته در حوزه آبخیز چهل‌چای همراه با ۲۶ نقطه با چشم‌انداز مناسب و قابل‌دسترس به‌عنوان نقاط مشاهده‌گر انتخاب شدند. بدین منظور، تجزیه و تحلیل رؤیت‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار QGIS جهت تعیین درصد مناطق رؤیت‌پذیر انجام گرفت. رؤیت‌پذیری این نقاط در چهار سناریو (ارتفاع نقطه مشاهده‌گر برابر ۱/۶ متر و شعاع دید ۱۲۰۰ متر، ارتفاع نقطه مشاهده‌گر برابر ۱۱/۶ متر و شعاع دید ۱۲۰۰ متر، ارتفاع نقطه مشاهده‌گر برابر ۱/۶ متر و شعاع دید ۱۰۰۰ متر و ارتفاع نقطه مشاهده‌گر برابر ۱۱/۶ متر و شعاع دید ۱۰۰۰ متر) برای پایش غیرمستقیم حوزه آبخیز با استفاده از برنامه جانبی Viewshed در محیط نرم‌افزار QGIS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برنامه جانبی Viewshed مکان‌یابی مناطق قابل‌رؤیت و غیرقابل‌رؤیت را از نقاط مشاهده‌گر با توجه به سناریوهای مختلف

Email: M.Mostafa@areeo.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۴۰۵۹۷۹۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

مصطفی، محسن؛ شتایی، شعبان. ۱۴۰۲. شناسایی مناسب‌ترین نقاط دیده‌بانی در پایش عرصه‌های منابع طبیعی با استفاده از تحلیل‌های مکانی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۱۵۴-۱۳۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76598.1220>

امکان‌پذیر می‌کند. به‌علاوه با ترکیب این نقاط با همدیگر می‌توان پوشش مناطق قابل دید برای پایش کل حوضه را افزایش داد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل رؤیت‌پذیری یک روش بسیار مفید و کاربردی برای ارزیابی برج‌های مراقبتی و تعیین موقعیت بالقوه این برج‌ها است. درنهایت، علاوه بر تعیین برج‌های دیدبانی، رویکردهای مبتنی بر GIS که شامل تجزیه و تحلیل رؤیت‌پذیری و فناوری‌های سنجش‌ازدور می‌شود، با هدف برنامه‌ریزی بهینه سیستم‌های نظارتی از نظر اقتصادی، فنی و کاربردی، پیشنهاد می‌شود. کلیدواژه‌ها: Viewshed، مناطق قابل رؤیت، پایش، عرصه‌های منابع طبیعی.

۱- مقدمه

مدیریت مناسب اراضی طبیعی جهت دستیابی به فواید بالقوه آن ازجمله، خدمات اکوسیستمی، زیبایی‌شناسی، اقتصادی غیره امری ضروری است. پایش این اراضی جهت درک کامل کارشناسان و مدیران از شرایط موجود برای اجرای دقیق برنامه‌های حفاظت، احیا و توسعه مهم‌ترین ابزار مدیریتی است. پایش منظم و مداوم این عرصه‌ها به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع جهت انجام پروژه‌های مدیریتی، عملیات بهره‌برداری، جلوگیری از قاچاق و دخل و تصرف، اطفاء حریق و مشاهده هر نوع تغییرات انسانی و غیرانسانی در آن‌ها از مهم‌ترین و کاراترین روش‌های کنترل و حفاظت است (مصطفی و همکاران، ۱۳۹۹)؛ زیرا در طول زمان، الگوهای پوشش زمین و به تبع آن کاربری اراضی دچار تغییر و دگرگونی اساسی می‌شوند و عامل انسانی می‌تواند نقش مهم‌تری داشته باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). حوزه‌آبخیز یک سیستم تولیدی است که دارای ورودی‌های طبیعی و مصنوعی است، از طرف دیگر طبیعت پویای یک حوزه‌آبخیز تعادل حساس بین نیروهای مخرب‌کننده و سازنده است (بروکس^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از راه‌های رسیدن به اهداف توسعه پایدار در حوزه‌های آبخیز پایش تمام مؤلفه‌های حوزه‌آبخیز با استفاده از روش‌های موجود است که یکی از آن‌ها بهره‌گیری از امکانات موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس^۲) است. ازجمله این ابزارها می‌توان به برنامه ویوکید^۳ اشاره نمود. در مباحث مربوط به پایش و نظارت از راه دور واژه نقاط رؤیت‌پذیر دارای کاربرد ویژه‌ای است، طوری که تحلیل رؤیت‌پذیری^۴ و نقاط رؤیت‌پذیر با همدیگر و به‌طور مترادف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در همین راستا، واژه نقاط رؤیت‌پذیر که وسیله طراحان منظر به کار برده شد به محلی گفته می‌شود که از آنجا خطوط دید بدون مانع از نقطه مشاهده‌گر خارج می‌شوند. این واژه برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ به‌وسیله اداره جنگلبانی ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفت (اروین و استینتز^۵، ۲۰۰۳).

1 Brooks et al

2 Geographic Information System (GIS)

3 Viewshed

4 Visibility

5 Ervin and Steinitz

در سال‌های اخیر از امکانات موجود در جی‌آی‌اس برای تحلیل‌های مبتنی بر ویژگی‌های بصری چشم‌اندازها در مطالعات مختلف استفاده شده است. [زارعی و همکاران \(۱۳۹۵\)](#)، بهینه‌سازی پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، [احمدی و همکاران \(۱۳۹۷\)](#)، تحلیل رؤیت‌پذیری ساختمان‌های بلندمرتبه در سنندج، [کریمی و وحیدنیا \(۱۳۹۹\)](#)، مکان‌گزینی و بهینه‌سازی پوشش دوربین‌های مداربسته، [فلاحی و همکاران \(۱۴۰۰\)](#)، ارزیابی زیستگاه گفتار راه راه در ارتفاعات شاهو، کرمانشاه، [ژانگ^۱ و همکاران، \(۲۰۱۵\)](#) [بائو^۲ و همکاران \(۲۰۲۰\)](#)، جهت تعیین نقاط مناسب دیده‌بانی آتش‌سوزی در چین، [ایو و کرما^۳ \(۲۰۱۴\)](#)، در رؤیت‌پذیری مزارع، [لی^۴ و همکاران \(۲۰۱۹\)](#)، برای نصب ایستگاه‌های پایش جنگل در کره جنوبی، [اسکارفو و همکاران \(۲۰۱۳\)](#)، جهت ارزیابی بصری اثرات بهره‌برداری جنگل در ایتالیا، [باریان^۵ و همکاران \(۲۰۱۱\)](#)، به‌منظور تعیین محل‌های عکس‌برداری از طبیعت، [باومن و رایوس^۶ \(۲۰۲۱\)](#)، برای بررسی رؤیت‌پذیری مناطق اطراف معابد در تبت و [سانچز فرناندز^۷ \(۲۰۲۲\)](#)، جهت طراحی مسیر پرواز پهپادها برای پایش مناطق مساحت زیاد و ناهمگن در اسپانیا از قابلیت ویوشید استفاده نموده‌اند.

برنامه‌های تجزیه و تحلیل مکانی توسعه داده‌شده در جی‌آی‌اس دارای کاربردهای متنوع در علوم منابع طبیعی می‌باشند. بر همین اساس ابزارها و تکنیک‌های مختلفی از جمله برنامه‌جانبی ویوشید^۸ توسعه داده شده‌اند. این برنامه در محیط جی‌آی‌اس با استفاده از یکسری الگوریتم‌ها، داده‌های مکانی با فرمت رستر را تجزیه و تحلیل می‌کند، به‌طوری‌که اطلاعات مکانی در پیکسل‌ها کدگذاری شده و شبکه‌ای همانند نقشه رقومی ارتفاع (دم)^۹ تشکیل می‌دهند ([سوپرنانت^{۱۰}، \(۲۰۱۴\)](#)). با استفاده از تکنیک ویوشید^۳ مناطق قابل دید و غیرقابل دید از یک نقطه مشخص تشخیص داده می‌شوند ([بایشاپ^{۱۱}، \(۲۰۰۳\)](#)). این برنامه اغلب برای تعیین مناطق با میدان دید مناسب با توجه به وضعیت چشم‌انداز آن به کار می‌رود و منجر به توسعه الگوریتم‌ها و روش‌های تجزیه تحلیل مختلف شده است ([نوتسفورد^{۱۲}، \(۲۰۱۵\)](#)

در مطالعات قبلی، تحقیقات بیشتر بر روی مکان‌یابی نقاط مشاهده‌گر و توانایی آن در پوشش مناطق به‌صورت موردی تمرکز شده است و از طرفی در محدوده یک حوضه آبخیز و پایش تمام مؤلفه‌های آن تحقیقی صورت نگرفته است. لازم به ذکر است در داخل کشور روی چگونگی استفاده از قابلیت ویوشید^۳ در پایش عرصه‌های منابع

1 Zhang et al

2 Bao et al

3 Eve and Crema

4 Lee et al

5 Brabyn and Mark

6 Bowman and Ryavec

7 Sanchez-Fernandez et al

8 Viewshed

9 Digital Elevation Model (DEM)

10 Supernant

11 Bishop

12 Nutsford et al

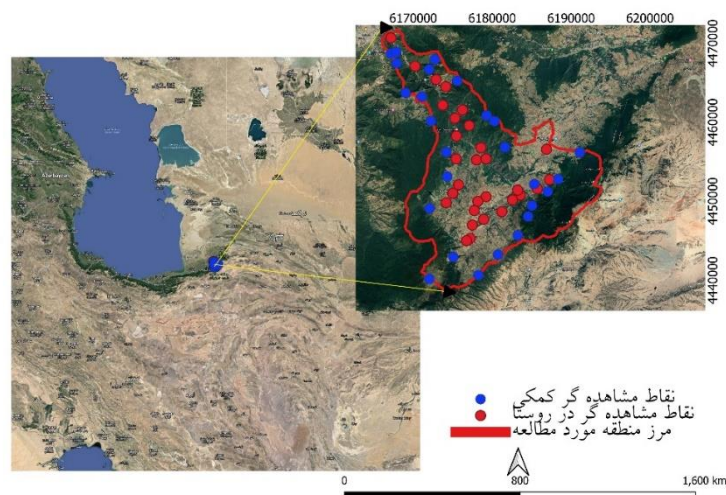
طبیعی و تحقیقی یافت نشد، جهت حفاظت از عرصه‌های جنگلی و مرتعی در مقیاس حوزه‌های آبخیز، در مقابل عوامل مخربی مانند آتش‌سوزی، تغییر کاربری اراضی، قاچاق چوب و مبارزه با آفات و بیماری‌ها پایش مداوم آن‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های پایش غیرمستقیم تعیین محل‌های دیدبانی بوده، در حالی مکان‌یابی و تعیین مناطق رؤیت پذیر از این نقاط نیازمند بازدیدهای زمینی و استفاده از روش‌های علمی می‌باشد. با توجه به موارد مذکور پژوهش با استفاده از قابلیت برنامه جانبی ویشید^۳ در محیط جی‌آی‌اس به منظور بررسی وضعیت رؤیت‌پذیری روستاها و همچنین نقاط با چشم‌انداز مناسب و قابل دسترس به عنوان نقاط مشاهده‌گر جهت پایش عرصه‌های منابع طبیعی از حوادث و عوامل تخریب‌زا به خصوص آتش‌سوزی در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان بعنوان یک حوضه دارای مشکلات متعدد اقتصادی و اجتماعی و حوادث مختلف تخریب‌زا و دارای تغییرات کاربری شدید در سال‌های گذشته انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهل‌چای با وسعت ۲۵۶۸۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}57'30''$ تا $37^{\circ}15'00''$ عرض شمالی و $55^{\circ}22'30''$ تا $55^{\circ}37'30''$ طول شرقی و بر مبنای سیستم مختصات سامانه مختصات جهانی مرکاتور (یوتی‌ام)^۱ در زون ۴۰ شمالی در استان گلستان، شهرستان مینودشت واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۹۰ و حداکثر آن ۲۵۶۷ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه ۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. پوشش گیاهی غالب حوضه در بخش شمالی، جنگل و در بخش جنوب به پوشش مرتعی و خشک تغییر می‌یابد. اقتصاد عمومی مردم بر پایه زراعت و دامداری می‌باشد. کاربری‌های اصلی منطقه مورد مطالعه شامل اراضی جنگلی (۶۷٪)، کشاورزی (۲۸/۸٪)، مراتع (۴/۰۹٪) و مسکونی (۰/۵۳٪) می‌باشد. حوزه آبخیز چهل‌چای دارای مشکلات زیادی از جمله تغییرات گسترده کاربری اراضی از جنگل به اراضی زراعی، آتش‌سوزی‌های فراوان و گسترده در اراضی جنگلی و مرتعی، حساس بودن بعضی از سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش آبی، فشار چرای دام، رسوب‌دهی بالا و سیل‌خیز بودن، تخریب اکولوژیک اراضی طبیعی و مشکل اشتغال و درآمد می‌باشد. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه و نقاط مشاهده‌گر را نشان می‌دهد.

1 Universal Transverse Mercator (UTM)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط مشاهده‌گر

۲-۲- انتخاب محل نقاط مشاهده‌گر^۱

ارزیابی نقاط مناسب برای انتخاب محل‌ها دیدبانی بر اساس رؤیت‌پذیری آن اغلب از فردی به فرد دیگر متفاوت است (فرانچ پاردو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). به همین منظور محققان همواره به دنبال روش‌هایی بودند که بر اساس داده‌های کمی و الگوریتم‌های مناسب تحلیل‌های مکانی این نقاط را انتخاب نمایند و این مهم در محیط جی‌آی‌اس امکان‌پذیر شده است. نقطه مشاهده‌گر، نقطه‌ای است که محدوده‌ای قابل رؤیت یا یک خط ممتد وسیع را رؤیت می‌کند و یکی از مؤلفه‌های اصلی ارزیابی چشم‌انداز می‌باشد. این نقطه، به‌عنوان یک پارامتر کنترل‌کننده برای ارزیابی فاصله، اختلاف ارتفاع، زاویه عمودی بین نقطه مشاهده‌گر و نقطه هدف دید به کار می‌رود (کاسترو^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). در این مطالعه به‌صورت پیش‌فرض، هرکدام از روستاهای موجود در منطقه به دلیل شرایط دیده‌بانی و به‌عنوان نقاط قابل دسترسی به‌عنوان مشاهده‌گر انتخاب شدند. همچنین در درون حوضه، با کمک و راهنمایی کارشناس منابع طبیعی، مردم محلی و بررسی میدانی، نقاطی به‌عنوان نقاط مشاهده‌گر کمکی پیش‌فرض مناسب انتخاب شدند. این نقاط دارای شرایطی بودند که هم به جاده دسترسی داشته باشند و از طرفی از لحاظ شیب هم امکان نصب ایستگاه دیدبانی را داشته باشند. تعداد ۳۰ روستای قرار گرفته در منطقه مورد مطالعه و ۲۶ نقطه کمکی به‌عنوان نقاط اولیه مشاهده‌گر انتخاب شدند. موقعیت مکانی این نقاط روی شکل ۱ نشان داده شده است.

1 Viewpoint

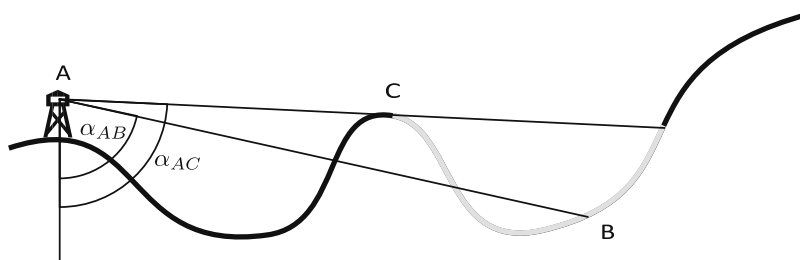
2 Franch-Pardo et al

3 Castro et al

۲-۳- تعیین سناریوها برای تعیین مناطق قابل دید

اصل این الگوریتم بر اساس خطوط تابش نقطه‌ای است که باید میدان دید آن در یک زاویه ثابت بررسی شود. در امتداد هر خط زاویه عمودی تا نزدیک‌ترین پیکسل محاسبه می‌شود، اگر این زاویه حالت افزایشی داشته باشد پیکسل‌های هدف قابل رؤیت هستند و هر جا این زاویه حالت کاهشی پیدا کرد، پیکسل موردنظر غیرقابل رؤیت است، این به این معنی است که پیکسل هدف توسط پیکسل دیگری که زاویه خطوط تابش بیشتری داشته و در جلوی آن قرار دارد، پوشش داده شده یا به عبارتی پنهان شده است. این روند غیرقابل رؤیت بودن پیکسل‌ها ادامه پیدا می‌کند تا به پیکسلی می‌رسد که زاویه خطوط تابش افزایش پیدا می‌کند و این پیکسل قابل رؤیت خواهد شد و این روند تا آخر ادامه پیدا می‌کند (بایوشاپ^۱، ۲۰۰۳).

درواقع ویوشید^۲ از ارتفاع هر پیکسل نقشه مدل رقومی ارتفاعی زمین برای تعیین رؤیت‌پذیری استفاده می‌کند. شکل ۲ چگونگی خط دید بین نقطه مشاهده‌گر و نقاط هدف را نشان می‌دهد. در این شکل نقطه B از نظر نقطه A (به‌عنوان مشاهده‌گر) غیرقابل رؤیت است، زیرا خط دید AB تانژانت شیب کمتری در زاویه α_{AB} از تانژانت شیب α_{AC} در خط دید AC دارد.



شکل ۲- شکل شماتیک خط دید نقطه مشاهده‌گر و نقاط هدف (فنگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵)

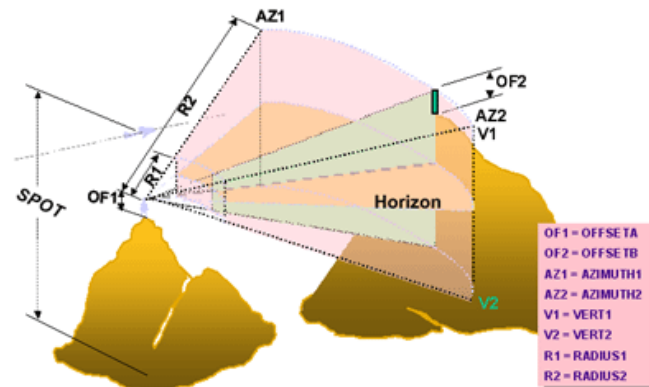
در این تحلیل، مؤلفه‌های تجزیه و تحلیل شامل موارد ذیل می‌شود: (OF1) فاصله عمودی که به ارتفاع نقطه مشاهده‌گر اضافه می‌شود، (OF2) فاصله عمودی به که ارتفاع بالای نقطه هدف (مشاهده شونده) اضافه می‌شود، (AZ1) آزمون نقطه ابتدا، (AZ2) آزمون نقطه انتها، (V1) زاویه ارتفاعی، (V2) زاویه فرورفتگی، (R1) فاصله بین نقشه مشاهده‌گر و اولین نقطه قابل رؤیت، (R2) فاصله بین نقشه مشاهده‌گر و آخرین نقطه قابل رؤیت (جدول ۱، شکل ۳)، (ویتکامپ^۴ و همکاران، ۲۰۱۱).

1 Bishop

2 Viewshed

3 Feng et al

4 Weitkamp et al



شکل ۳- شکل شماتیک خط دید نقطه مشاهده‌گر و نقاط هدف

بر همین اساس چهار سناریو برای هر نقطه مشاهده‌گر با استفاده از برنامه تجزیه و تحلیل رؤیت‌پذیری^۱ در نرم‌افزار کیوجی‌آی اس ۳/۱۶ تعیین شد که مبنای تعیین سناریوها ارتفاع از سطح زمین و حداکثر فاصله‌ای که فرد در دو حالت استفاده از دوربین و بدون استفاده از دوربین می‌باشد.

سناریوی یک: حالتی که فرد در نقطه مشاهده‌گر روی زمین با چشم غیرمسلح باشد، ارتفاع ۱/۶ متر از سطح زمین (میانگین قد یک انسان) و فاصله دید ۱۲۰۰ متری تعیین شد؛ زیرا حداکثر فاصله‌ای که فرد می‌تواند بین عناصر منظره عمودی تمایز قائل شود حدود ۱۲۰۰ متر است، البته مقدار حداکثر خط دید در میدان دید مفید ممکن است بسته به حالت ادراک و ارتفاع از سطح زمین فرد در نقطه مشاهده‌گر و دیگر شرایط متفاوت است (ویتکامپ^۳ و همکاران، ۲۰۱۱).

سناریوی دو: در این حالت فاصله دید ۱۲۰۰ متری در نظر گرفته شد، اما یک دکل با ارتفاع ۱۰ متر پیش‌بینی گردید که با احتساب قد فرد در نقطه مشاهده‌گر ۱۱/۶ متر در نظر گرفته شد (بائو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵).

سناریوی سه: حالتی که فرد در نقطه مشاهده‌گر روی زمین با بدون دوربین باشد ارتفاع ۱/۶ متر از سطح زمین و فاصله دید ۱۰۰۰۰ متری (حداکثر فاصله دید با استفاده از دوربین شکاری معمولی) تعیین شد، (ژانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۰).

1 Visibility analysis

2 QGIS3.16

3 Weitkamp et al

4 Bao et al

5 Zhang et al

سناریوی چهار: در این حالت فاصله دید ۱۰۰۰۰ متری در نظر گرفته شد، اما یک دکل با ارتفاع ۱۰ متر پیش‌بینی گردید که با احتساب قد فرد در نقطه مشاهده گر ۱۱/۶ متر در نظر گرفته شد. جزییات کامل هر کدام از سناریوها در **جدول ۱** توضیح داده شده است.

جدول ۱- مشخصات هر کدام از سناریوهای انتخاب‌شده

مؤلفه	کلاسه	شرح	سناریوی ۱ مقدار	سناریوی ۲ مقدار	سناریوی ۳ مقدار	سناریوی ۴ مقدار
OF1	خط انحراف عمودی A	فاصله عمودی که به ارتفاع نقطه مشاهده گر اضافه می‌شود.	۱/۶ متر	۱۱/۶ متر	۱/۶ متر	۱۱/۶ متر
OF2	خط انحراف عمودی B	فاصله عمودی به که ارتفاع بالای نقطه مشاهده شوند اضافه می‌شود.	۰ متر	۰ متر	۰ متر	۰ متر
AZ1	آزیموت ۱	آزیموت نقطه ابتدا	۰	۰	۰	۰
AZ2	آزیموت ۲	آزیموت نقطه انتها	۳۶۰ درجه	۳۶۰ درجه	۳۶۰ درجه	۳۶۰ درجه
V1	زاویه عمودی ۱	زاویه ارتفاعی	+۹۰ درجه	+۹۰ درجه	+۹۰ درجه	+۹۰ درجه
V2	زاویه عمودی ۲	زاویه فرورفتگی	-۹۰ درجه	-۹۰ درجه	-۹۰ درجه	-۹۰ درجه
R1	شعاع ۱	فاصله بین نقطه مشاهده گر و اولین نقطه قابل رؤیت	۰ متر	۰ متر	۰ متر	۰ متر
R2	شعاع ۲	فاصله بین نقطه مشاهده گر و آخرین نقطه قابل رؤیت	۱۲۰۰ متر	۱۲۰۰ متر	۱۰۰۰۰ متر	۱۰۰۰۰ متر

۲-۴- تعیین مناطق قابل دید و غیرقابل دید برای نقاط مشاهده گر

برای هر سناریوی تعریف‌شده، مناطق قابل دید و غیرقابل دید برای هر یک از نقاط مشاهده گر (روستاها و نقاط کمکی) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۱ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر با استفاده از برنامه Viewshed در نرم‌افزار کیوجی‌آس ۳۲/۱۶ به صورت جداگانه تعیین شد. سپس مساحت هر کدام از این مناطق بر روی کل منطقه محاسبه گردید، همچنین مناطق قابل دید و غیرقابل دید برای هر کدام از کاربری‌های جنگل، مرتع و سایر کاربری محاسبه گردید. در مرحله بعد کل نقاط مشاهده گر باهم تلفیق شدند و با استفاده از هر سناریو مناطق قابل دید و غیرقابل دید تعیین شدند و مانند حالت قبل مساحت این مناطق برای کل منطقه مورد مطالعه و هر کدام از کلاسه‌های کاربری اراضی محاسبه گردید. به این ترتیب، چهار آلترناتیو برای منطقه ارائه شد.

1 Digital Elevation Model (DEM)

2 QGIS3.16

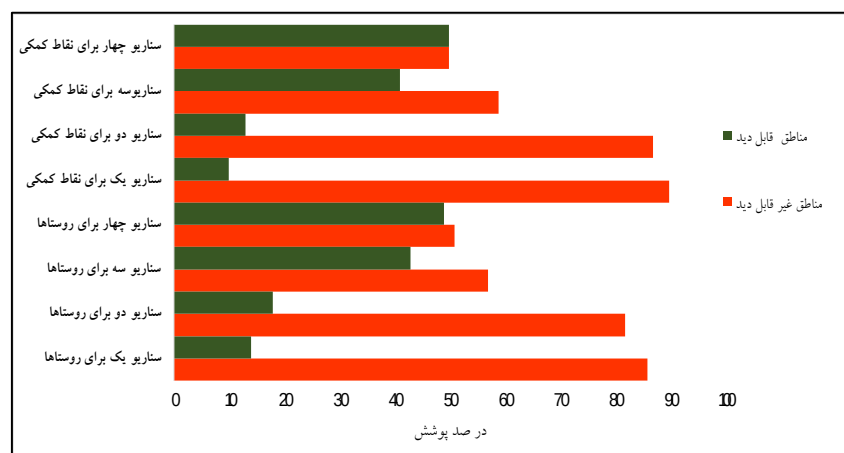
۳- نتایج و بحث

۳-۱- وضعیت مشاهده‌پذیری نقاط روستایی

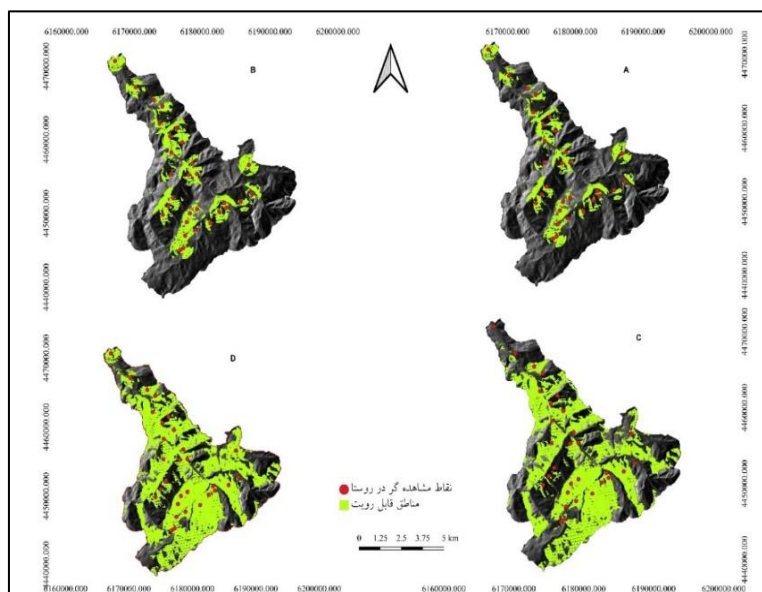
در سناریو یک در مناطق دیده‌بانی روستایی فقط ۱۴ درصد از منطقه قابل رؤیت می‌باشد، درحالی‌که در سناریوی دو با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده‌گر ۴ درصد به منطقه قابل رؤیت افزوده می‌شود و این مقدار به ۱۸ درصد می‌رسد. در سناریوی سه با افزایش شعاع دید ۴۳ درصد از منطقه در روستاها قابل رؤیت می‌باشند. در سناریوی چهار با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده‌گر حدود ۵۰ درصد منطقه قابل دید می‌باشد (جدول ۲، شکل ۴ و ۵).

جدول ۲- مساحت مناطق قابل رؤیت در نقاط مشاهده‌گر در روستاها و کمکی (هکتار)

سناریو چهار	سناریو سه	سناریو دو	سناریو یک	مناطق غیرقابل دید	نقاط مشاهده‌گر
۱۳۲۰۶/۲۲	۱۴۶۰۷/۰۴	۲۱۰۸۹/۱۲	۲۲۱۰۶/۶۱	مناطق قابل دید	روستاها
۱۲۴۷۳/۷۸	۱۱۰۷۲/۹۶	۴۵۹۰/۸۸	۳۵۷۳/۳۹	مناطق قابل دید	نقاط مشاهده‌گر
۱۲۷۴۶/۱	۱۵۲۱۹/۸۸	۲۲۲۸۵/۹۳	۲۳۱۶۲/۲۵	مناطق غیرقابل دید	کمکی
۱۲۹۳۳/۹	۱۰۴۶۰/۱۲	۳۳۹۴/۰۷	۲۵۱۷۵/۷	مناطق قابل دید	



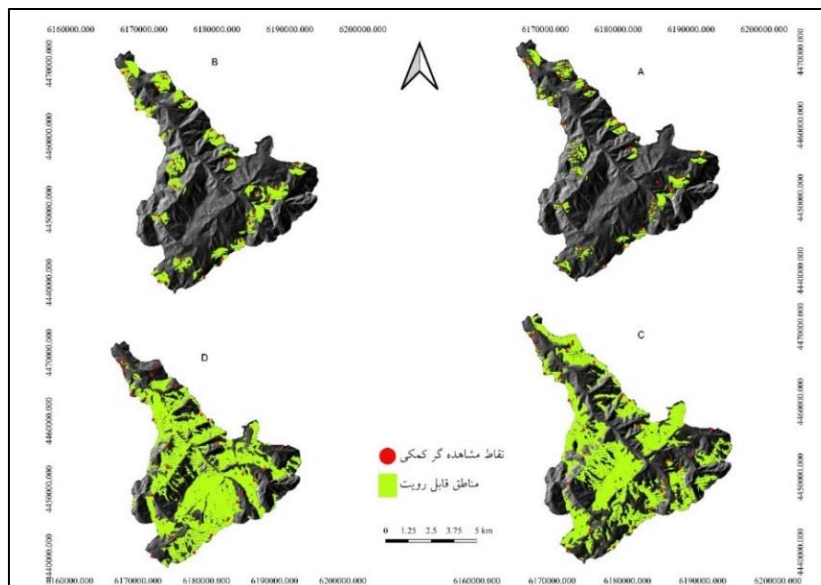
شکل ۴- درصد پوشش مناطق قابل رؤیت و غیرقابل رؤیت برای نقاط مشاهده‌گر روستایی و کمکی



شکل ۵- نقشه مناطق قابل رؤیت در نقاط مشاهده گر روستاها، (A) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو یک، (B) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو دو، (C) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو سه، (D) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو چهار.

۳-۲- وضعیت مشاهده پذیری نقاط کمکی در کل منطقه مورد مطالعه

بر روی نقاط کمکی در سناریوی یک، حدود ۲۵۱۷۵.۷ هکتار از کل منطقه قابل رؤیت می باشد، این مقدار برای سناریوی دو ۳۳۹۴.۰۷ هکتار می باشد که ۱۳ درصد منطقه را در بر می گیرد. در سناریوی سه ۴۱ درصد از منطقه مورد مطالعه قابل رؤیت است، با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده گر این مقدار افزایش یافته است و به عدد ۱۲۹۳۳.۹ هکتار می رسد و ۴۳ درصد از منطقه را پوشش می دهد (جدول ۲، شکل ۶).



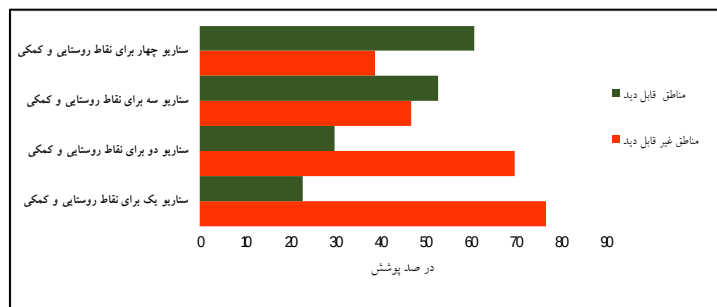
شکل ۶- نقشه مناطق قابل رؤیت در نقاط مشاهده گر کمکی نقشه مناطق قابل رؤیت در نقاط مشاهده گر روستاها، (A) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو یک، (B) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو دو، (C) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو سه، (D) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو چهار

۳-۳- وضعیت مشاهده پذیری نقاط روستایی و کمکی تلفیق شده در کل منطقه مورد مطالعه

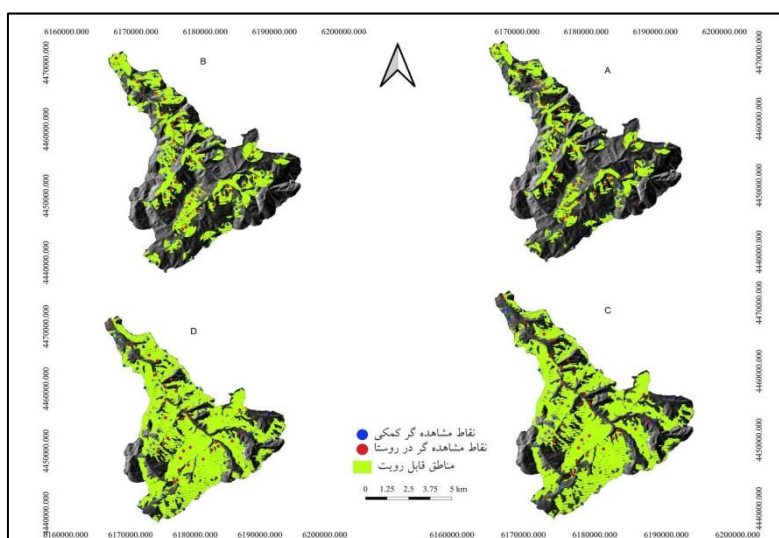
با تلفیق نقاط روستایی و کمکی در سناریوی یک ۵۹۷۶۷۶ هکتار از منطقه مورد مطالعه قابل دید می باشد که معادل ۲۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه است. در سناریوی دو ۳۰ درصد منطقه قابل دید می باشد که معادل ۷۷۳۹۰۹ هکتار از کل عرصه مورد مطالعه است. در سناریوی ۳ با افزایش شعاع دید نقطه مشاهده گر ۵۳ درصد از منطقه مورد مطالعه قابل دید می باشد، در حالی در سناریوی چهار با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده گر ۱۵۶۸۷۰۷۹ هکتار از منطقه مورد مطالعه قابل رؤیت می باشد که این مقدار معادل ۶۱ درصد منطقه مورد مطالعه است (جدول ۳، شکل ۷ و ۸).

جدول ۳- مساحت مناطق قابل رؤیت در نقاط مشاهده گر در روستاها و کمکی (هکتار)

سناریو چهار	سناریو سه	سناریو دو	سناریو یک	نقاط مشاهده گر روستایی و کمکی تلفیقی	
۹۹۹۲/۲۱	۱۲۱۹۱/۶۶	۱۷۹۴۰/۰۱	۱۹۷۰۳/۳۶	مناطق غیر قابل دید	
۱۵۶۸۷/۷۹	۱۳۴۸۸/۳۴	۷۷۳۹/۹	۵۹۷۶/۶۴	مناطق قابل دید	



شکل ۷- درصد پوشش مناطق قابل رؤیت و غیرقابل رؤیت برای نقاط مشاهده گر تلفیقی (روستاها و نقاط کمکی)



شکل ۸- نقشه مناطق قابل رؤیت برای نقاط مشاهده گر تلفیقی (روستاها و نقاط کمکی)، (A) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو یک، (B) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو دو، (C) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو سه، (D) مناطق قابلیت رؤیت در سناریو چهار

۳-۴- وضعیت مشاهده پذیری کاربری های اراضی با نقاط دیده بانی روستایی

با نقاط دیده بانی روستایی در سناریوی یک، حدود ۷.۲۵ درصد از کاربری جنگل قابل مشاهده می باشد، درحالی که ۶۰.۲۵ درصد این کاربری غیرقابل مشاهده می باشد، در سناریوی دو درصد پوشش مناطق قابل رؤیت در اراضی جنگلی افزایش یافته و به ۹.۳۷ درصد می رسد، به طور هم زمان نیز درصد پوشش مناطق قابل رؤیت در کاربری مرتع به ۰.۱۹ رسیده است. در سناریوی سه با افزایش شعاع دید نقاط مشاهده گر درصد پوشش مناطق قابل رؤیت در کاربری جنگل افزایش چشم گیری نسبت به سناریوی دوم داشت و به عدد ۲۶.۷۴ درصد رسید، لازم به ذکر است این روند در کاربری مرتع نیز وجود داشت و به مقدار ۲.۱۰ درصد افزایش یافت. در سناریوی چهارم

هم‌زمان با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده‌گر روند صعودی افزایش مناطق قابل‌رؤیت در کاربری‌های جنگل و مرتع نیز مشاهده شد و مقادیر آن ۳۰.۰۲ و ۱۶.۳۷ درصد به ترتیب برای کاربری‌های جنگل و مرتع می‌باشد. لازم به ذکر است در سناریوهای استفاده‌شده برای نقاط مشاهده‌گر در روستاها درصد مناطق قابل‌رؤیت از سناریوی یک به‌سوی سناریوی چهار در کلاسه سایر کاربری اراضی روند صعودی داشت (جدول ۴).

جدول ۴- درصد مناطق قابل‌رؤیت در نقاط مشاهده‌گر در روستاها بر روی نقشه کاربری اراضی

سناریو چهار	سناریو سه	سناریو دو	سناریو یک	نوع کاربری	
۳۷/۰۵	۴۰/۹۷	۵۸/۳۴	۶۰/۲۵	جنگل	مناطق غیرقابل دید
۱/۹	۱/۹۹	۳/۹	۳/۹۴	مرتع	
۱۲/۴۷	۱۳/۹۲	۱۹/۸۸	۲۱/۹۰	سایر اراضی	
۳۰/۰۲	۲۶/۷۴	۹/۳۷	۷/۲۵	جنگل	مناطق قابل دید
۲/۱۹	۲/۱	۰/۱۹	۰/۱۵	مرتع	
۱۶/۳۷	۱۴/۲۹	۸/۳۳	۶/۵۱	سایر اراضی	

۳-۵- وضعیت مشاهده‌پذیری نقاط کمکی بر روی نقشه کاربری اراضی

در سناریوی یک در نقاط کمکی ۵۵.۷۵ درصد از مناطق جنگلی غیرقابل‌رؤیت می‌باشد، با افزایش ارتفاع نقاط مشاهده‌گر در سناریوی دو درصد پوشش نواحی غیرقابل‌رؤیت کاهش یافت و مقدار آن به ۵۳.۴۶ درصد رسید. در سناریوی سه و چهار درصد پوشش مناطق غیرقابل دید در کاربری جنگل به ترتیب با مقادیر ۴۲.۳۸ و ۳۵.۹۴ درصد روند نزولی داشت. در کاربری مرتع از سناریوی یک به طرف سناریوی چهار درصد مناطق قابل‌رؤیت روند به ترتیب با مقادیر ۰.۶۸، ۱.۰۷، ۱.۴۸ و ۱.۹۸ درصد روند صعودی مشاهده گردید. جدول ۵ جزییات مشاهده‌پذیری منطقه مورد مطالعه را با استفاده از نقاط کمکی به‌عنوان نقطه مشاهده‌گر نشان می‌دهد.

جدول ۵- درصد مناطق قابل‌رؤیت در نقاط مشاهده‌گر کمکی بر روی نقشه کاربری اراضی

سناریو چهار	سناریو سه	سناریو دو	سناریو یک	نوع کاربری	
۳۵/۹۴	۴۲/۳۸	۵۳/۴۶	۵۵/۷۵	جنگل	مناطق غیرقابل دید
۲/۱۱	۲/۶۱	۴/۰۹	۷/۳	مرتع	
۱۱/۵۸	۱۴/۲۷	۲۹/۲۳	۳۷/۱۴	سایر اراضی	
۳۰/۷۳	۲۴/۲۹	۸/۹۶	۶/۷۹	جنگل	مناطق قابل دید
۱/۹۸	۱/۴۸	۱/۰۷	۰/۶۸	مرتع	
۱۷/۶۶	۱۴/۹۶	۳/۱۸	۲/۳۳	سایر اراضی	

۳-۶- وضعیت مشاهده‌پذیری نقاط روستای و کمکی بر روی نقشه کاربری اراضی

با ادغام نقاط روستایی و کمکی به‌عنوان نقاط مشاهده‌گر درصد پوشش مناطق قابل دید در مقایسه با هر کدام از نقاط مشاهده‌گر به‌صورت جداگانه روند افزایشی داشته است به‌طوری‌که درصد پوشش مناطق قابل‌رؤیت در کاربری جنگل از سناریوی یک به طرف سناریوی چهار با مقادیر ۱۳.۹۱، ۱۷.۳۷، ۳۲.۰۲ و ۳۷.۷۳ درصد روند صعودی داشته است. در کاربری مرتع و سایر کاربری اراضی نیز روند صعودی درصد پوشش مناطق قابل‌رؤیت از سناریوی یک به طرف سناریوی چهار مشاهده گردید، جزئیات آن در **جدول ۶** نشان داده شده است.

جدول ۶- درصد وضعیت مناطق قابل‌رؤیت در نقاط مشاهده‌گر روستاها و نقاط کمکی بر روی نقشه کاربری اراضی

نوع کاربری	سناریو یک	سناریو دو	سناریو سه	سناریو چهار
مناطق غیرقابل دید	جنگل	۵۲/۷۸	۴۹/۳	۲۸/۹۵
	مرتع	۳/۲۶	۲/۸۳	۱/۸
	سایر اراضی	۲۰/۶۹	۱۷/۷۳	۸/۱۶
مناطق قابل دید	جنگل	۱۳/۹۱	۱۷/۳۷	۳۷/۷۳
	مرتع	۰/۸۳	۱/۲۶	۲/۲۹
	سایر اراضی	۸/۵۴	۱۱/۵۱	۲۱/۰۷

در این تحقیق برای بررسی رؤیت‌پذیری حوضه آبخیز چهل‌چای با استفاده از برنامه جانبی ویوشید^۱ در محیط کیوجی‌آی‌اس^۲ از استفاده شد. ابتدا به‌صورت پیش‌فرض هرکدام از روستاهای منطقه به‌عنوان نقاط قابل‌دسترس به‌عنوان مشاهده‌گر و کمکی که هم به جاده دسترسی داشته باشند و از طرفی و از لحاظ شیب هم امکان نصب ایستگاه دیدبانی را داشته باشند به‌عنوان مشاهده‌گر انتخاب شدند و بر اساس چهار سناریوهای تعیین‌شده میزان رؤیت‌پذیری هر کدام از آن‌ها با استفاده از ویوشید^۲ موردبررسی قرار گرفت.

سناریوی یک به‌عنوان ممکن‌ترین سناریو در این تحقیق محسوب می‌شود؛ زیرا در این سناریو هیچ‌گونه نصب دکل و برنامه ایاب و ذهابی برای دسترسی به نقطه مشاهده‌گر نیاز نیست؛ اما در این سناریو با توجه به شعاع دید ۱۲۰۰ متری و قرارگیری فرد مشاهده‌گر در سطح زمین حدود ۸۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در روستاها به‌عنوان نقطه مشاهده‌گر غیرقابل‌رؤیت می‌باشد، این مقدار در نقاط کمکی ۹۰ درصد به دست آمد، اما تلفیق نقاط کمکی و روستایی این مقدار را به ۷۷ درصد رساند. تنها تفاوت سناریوی دو با سناریوی یک ارتفاع نقطه مشاهده‌گر می‌باشد زیرا در این سناریو تعبیه دکل ۱۰ متری پیش‌بینی شده است که پوشش منطقه قابل‌رؤیت را در نقاط مشاهده‌گر

1 Viewshed

2 QGIS

روستایی از ۱۴ درصد به ۱۸ درصد رسانده است، درحالی‌که این مقدار در نقاط کمکی ۱۳ درصد می‌باشد. تلفیق نقاط کمکی و روستایی مقدار پوشش مناطق قابل‌رؤیت را در این سناریو به ۳۰ درصد ارتقا داده است. در سناریوی سه شعاع دید نقطه مشاهده‌گر با چشم مسلح پیش‌بینی شد که در نتیجه ۴۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در نقاط مشاهده‌گر روستایی قابل‌رؤیت می‌باشد، اما این مقدار در نقاط کمکی ۴۱ درصد می‌باشد. با تلفیق نقاط کمکی و روستایی این مقدار به ۵۳ درصد افزایش یافت. پیش‌بینی نصب دکل‌های دیده‌بانی ۱۰ متری، شعاع دید ۱۰۰۰۰ متری درصد مشاهده‌پذیری در نقاط مشاهده‌گر در روستا، نقاط کمکی و تلفیق این نقاط به ترتیب به ۴۹، ۵۰ و ۶۱ درصد رساند. میزان رؤیت‌پذیری در هر نقطه تحت تأثیر توپوگرافی محل، وضعیت پوشش گیاهی، ارتفاع درختان و سازه‌های ساخته‌شده می‌باشد، به‌صورت تئوری می‌توان در مدل‌های جی‌آی‌اس^۱ همه موارد مذکور را به کار برد، اما در عمل به دلیل محدودیت‌های موجود امکان‌پذیریست (باربیان و مارک^۲، ۲۰۱۱). در این تحقیق زاویه عمودی دید بین ۹۰+ تا ۹۰- در نظر گرفته شد و این می‌تواند در میدان دید تأثیرگذار باشد؛ بنابراین تغییر هر کدام از پیش‌فرض‌ها می‌تواند نتایج تحقیق را تغییر دهد.

در سناریوی یک در روستاها ۷.۲۵ درصد از کاربری جنگل قابل مشاهده می‌باشد، درحالی‌که ۶۰.۲۵ درصد این کاربری غیرقابل مشاهده می‌باشد، این مقدار در نقاط کمکی ۶.۷۹ درصد می‌باشد، تلفیق نقاط مشاهده‌گر در روستاها و نقاط کمکی رؤیت‌پذیری مناطق جنگلی در منطقه مورد مطالعه را به ۱۳.۹۱ درصد رساند. این مقدار نیز در اراضی مرتعی برای نقاط روستایی، کمکی و تلفیقی به ترتیب ۰.۱۵، ۰.۶۸ و ۰.۸۳ درصد حاصل شد. با افزایش ارتفاع نقطه مشاهده‌گر در سناریوی دو ۹.۳۷ درصد کاربری جنگل در نقاط مشاهده‌گر روستاها قابل‌رؤیت می‌باشد. این مقدار در نقاط کمکی و تلفیقی به ترتیب ۸.۹۶ و ۱۷.۳۷ درصد می‌باشد. در سناریوی سه افزایش شعاع دید نقطه مشاهده‌گر باعث افزایش چشمگیر رؤیت‌پذیری در مناطق جنگلی شد به صورتی در نقاط روستایی، کمکی و تلفیق به ترتیب ۲۶.۷۴، ۲۴.۲۹ و ۳۲.۰۲ درصد جنگل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه قابل‌رؤیت می‌باشد. روند رؤیت‌پذیری مراتع نیز شبیه کاربری جنگل می‌باشد.

در سناریوی چهار حد نهایت شعاع دید و ارتفاع نقطه مشاهده‌گر در نظر گرفته شد. در این سناریو در نقاط روستایی مشاهده‌گر ۳۷.۰۵ درصد از منطقه جنگلی قابل‌رؤیت می‌باشد، درحالی‌که این مقدار در نقاط کمکی ۳۵.۹۴ درصد می‌باشد و با تلفیق این نقاط مقدار رؤیت‌پذیری در این کاربری به ۳۷.۷۳ درصد رسید. درصد مشاهده‌پذیری در کاربری مرتع برای نقاط مشاهده‌گر روستایی، کمکی و تلفیقی به ترتیب ۲.۱۹، ۱.۹۸ و ۲.۲۹ درصد است. کاربری جنگل بیش‌تر منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. در بعضی از نقاط مانند نقاط حساس به آتش‌سوزی یا مناطقی

1 GIS

2 Brabyn and Mark, 2011

که دارای جاذبه گردشگری در جنگل ممکن است اقدامات ویژه مورد نیاز باشد و نظارت مداوم مورد نیاز باشد (بائو^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از هر کدام از سناریوها با توجه به امکانات موجود امکان پذیر است، اما سناریوی چهارم و تلفیق نقاط روستایی و کمکی حداکثر پوشش را در منطقه ایجاد می نماید و این مستلزم پذیرفتن نصب دکل ها، استفاده از دوربین ها و انواع حس گر ها برای پایش جنگل ها و سایر کاربری های دیگر در منطقه می باشد. لایه رستری مورد استفاده در این تحقیق جهت بررسی وضعیت رؤیت پذیری نقشه رقومی ارتفاع^۲ می باشد، این مدل شامل ارتفاع در ناحیه بخصوص و در یک شبکه منظم بر روی سطح برهنه زمین می باشد. هر چه این شبکه دارای سلول های کوچکتری باشد، نقشه رقومی ارتفاع ایجاد شده جزئیات بیشتری از پستی و بلندی های سطح زمین را مشخص می کند، منابع متعددی برای تهیه نقشه رقومی ارتفاع مانند نقشه های توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای وجود دارد. امکان بهتر است به جای نقشه رقومی ارتفاع از نقشه رقومی سطح^۳ استفاده شود، این مدل در واقع معرف بازتاب سطحی درختان، ساختمان ها و دیگر عوارض بالای سطح و خود سطح زمین می باشد و تهیه این نقشه مستلزم صرف هزینه و زمان می باشد، اما استفاده از آن می تواند نتایج دقیق تری نشان می دهد. به علاوه استفاده داده های لیدار نیز می تواند نتایج با دقت بهتری را ارائه بدهد، بنابراین پیشنهاد می شود در تحقیقاتی آتی در صورت امکان از این لایه ها استفاده شود.

۴- جمع بندی

این تحقیق نشان داد که برنامه ویوشید^۴ می تواند میزان رؤیت پذیری هر نقطه را با توجه به پیش فرض های در نظر گرفته شده نشان دهد. در این تحقیق همچنین چگونگی استفاده از سناریوهای مختلف در هر نقطه نشان داده شد. در حالی هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان رؤیت پذیری هر نقطه با استفاده از نقطه های پیش فرض مشاهده گر بود و مکان یابی این نقاط و همچنین بحث هزینه ها به دلیل محدود بدون داده ها مورد استفاده قرار نگرفت، از طرف نکته کلیدی این تحقیق میزان پوشش در هر نقاط قابل دسترس به عنوان مشاهده گر بود.

1 Bao et al

2 Digital elevation model (DEM)

3 Digital Surface model (DSM)

4 Viewshed

کتابنامه

- احمدی، محمد آزاد؛ کریمی‌مشاور، مهرداد؛ ۱۳۹۷. تحلیل رؤیت‌پذیری ساختمان‌های بلندمرتبه در منظر شهری با استفاده از GIS. فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات شهری. شماره ۲۶، ۱-۱۲.
- <https://doi.org/10.34785/J011.2018.029>
- زارعی، رضا؛ آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ صادقی‌نیارکی، ابوالقاسم؛ ۱۳۹۵. بهینه‌سازی پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم. مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات. جلد ۵، شماره ۴، ۳۴-۴۴.
- https://jscit.nit.ac.ir/article_51685.html
- کریمی، جعفر؛ وحیدنیا، محمدحسن؛ ۱۳۹۹. مکان‌گزینی و بهینه‌سازی پوشش دوربین‌های مداربسته به منظور حمایت از مونیتورینگ بهتر با استفاده از الگوریتم S-ROPE و بصری‌سازی سه بُعدی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۲۲، شماره ۸، ۸۹-۱۰۰.
- <https://cbsearch.site/search?q=10.22034%2FJEST.2019.37346.4361&ac=7175382905>
- فلاحی، محمدحسین؛ فلاحی، سامان، فلاحی؛ کرمی، پیمان؛ ۱۴۰۰. ارزیابی زیستگاه گفتار راه راه (Hyaena hyaena) با استفاده از روش تجمیع در دامنه کوه شاهو استان کرمانشاه. فصلنامه علمی محیط زیست. سال ۱۳، شماره ۱، ۱-۱۱.
- <https://cbsearch.site/search?q=10.22034%2FAEJ.2021.131945&ac=7175382905>
- مصطفی، محسن؛ اسپهبدی، کامبیز؛ حاتمی، نیشتمان؛ ۱۳۹۹. بررسی سیاست‌های مدیریتی اجرا و عدم اجرای طرح جنگل‌داری بابل‌رود. نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. جلد ۲۸، شماره ۲، ۱۸۰-۱۹۱.
- <https://cbsearch.site/search?q=10.22092%2FIJFPR.2020.121963&ac=7175382905>
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ مختاری، داود؛ سمندر، نسرین؛ ۱۳۹۹. استخراج و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با بهکارگیری الگوریتم SVM با کرنل چندجمله‌ای و روش حداکثر احتمال در محدوده حوزه آبریز اوجان چای بستان‌آباد. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۳۶، ۲۵-۴۴.
- <https://cbsearch.site/search?q=10.22067%2FGEOEH.2021.67231.0&ac=7175382905>
- Bao, S, Xiao, N, Lai, Z, Zhang, H, Kim, C., 2015. Optimizing watchtower locations for forest fire monitoring using location models. Fire Safety Journal, 71:100-109.
- <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.11.016>
- Bishop, I, D., 2003. Assessment of visual qualities, impacts, and behaviors, in the landscape, by using measures of visibility. Environment and Planning B Planning Design, 30: 677-688.
- <https://doi.org/10.1068/b12956>
- Bowman, R, N, Ryavec, K, E., 2021. Viewsheds of cubic mountaintop tombs in Upper Tibet (Zhang Zhung). Journal of Archaeological Science, 37:1-9.
- <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102998>
- Brabyn, L, Mark, D, M., 2011. Using viewsheds, GIS, and a landscape classification to tag landscape photographs. Applied Geography, 31: 1115-1122.
- <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.03.003>
- Brooks, K, N, Folliott, F, P, Magner, J, A., 2013. Hydrology and the Management of Watersheds, Fourth Edition, Wiley-Blackwell. 522p.
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118459751>.

- Castro, M, Iglesias, L, Sánchez, J,A, Ambrosio, L., 2011. Sight distance analysis of highways using GIS tools. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol*, 19: 997–1005.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.05.012>.
- Ervin, S, Steinitz, C., 2003. Landscape visibility computation: necessary, but not sufficient. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30: 757-766.
<https://doi.org/10.1068/b2968>
- Eve, S , Crema, E.R., 2014. A house with a view? Multi-model inference, visibility fields, and point process analysis of a Bronze Age settlement on Leskernick Hil (Cornwall, UK). *Journal of Archaeological Science*, 43: 267-277. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.12.019>.
- Feng, W, Gang, W, Deji, P, Yuan, L, Liuzhong, Y, Hongbo, W., 2015. A parallel algorithm for viewshed analysis in three-dimensional Digital Earth. *Computers & Geosciences*, 75: 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.10.012>.
- Franch-Pardo, I, Napoletano, B, Bocco, G, Barrasa, S., 2017. The role of geographical landscape studies for sustainable territorial planning. *Sustainability*. 9, 2123.
<https://doi.org/10.3390/su9112123>.
- Lee, K.Y, Seo, J, Kim, K-N, Lee, Y, Kweon, H, Kim, J., 2019. Application of Viewshed and Spatial Aesthetic Analyses to Forest Practices for Mountain Scenery Improvement in the Republic of Korea. *Sustainability*, 11:1-16. <https://doi.org/10.3390/su11092687>.
- Nutsford, D, Reitsma, F, Pearson, A, L, Kingham, S., 2015. Personalizing the viewshed—Visibility analysis from the human perspective. *Applied Geography*, 62: 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.04.004>.
- Sanchez-Fernandez, A, J., 2022. VPP: Visibility-Based Path Planning Heuristic for Monitoring Large Regions of Complex Terrain Using a UAV Onboard Camera. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15: 944-955.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3134948>.
- Scarfo, F, Mercurio, R, Peso, D., 2013. Assessing visual impacts of forest operations on a landscape in the Serre Regional Park of southern Italy. *Landscape and Ecological Engineering*, 9:1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s11355-011-0168-x>.
- Supernant, K. 2014. Indivisibility and Inadvisability of rock feature sites: a method for testing viewshed within and outside the socio-spatial system of the Lower Fraser River Canyon, British Columbia. *Journal of Archaeological Science*, 50: 497-511.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.08.008>.
- Weitkamp, G, Bregt, A, Lammeren, R.V., 2011. Measuring Visible Space to Assess Landscape Openness. *Landscape Research*, 36(2):127-150.
<https://doi.org/10.1080/01426397.2010.549219>.
- Zhang, F, Zhao, P, Xu, Sh, Wua, Y, Yang, X, Zhang, Y., 2020. Integrating multiple factors to optimize watchtower deployment for wildfire detection. *Science of the Total Environment*, 737: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139561>



Evaluation of ECMWF Center Data in Monitoring and Forecasting Dust Storms in Southwestern Iran (Case Study: Khuzestan Plain)

Hassan HajiMohammadi^{a*}, Somaye Hajivand Paydari^b

^a PhD Candidate in Climatology, Faculty of Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

^b PhD Candidate in Climatology, Faculty of Geography, Khwarazmi University, Tehran, Iran

Received: 16 February 2022

Revised: 16 March 2022

Accepted: 21 April 2022

Abstract

In order to investigate dust storms in Khuzestan plain, statistics of 13 synoptic stations in a period of 17 years (2000-2000) were used. One day was chosen as a stormy day when the horizontal visibility of less than 200 to 100 meters was reported in more than 70% of the stations. To analyze the weather conditions, the networked data of the European Center for Medium-Term Forecasting were used. To show the spatial pattern of dust, the AOD values of the MODIS sensor were used. Studies have shown that four spatial patterns in the region cause such conditions. Dust transfer from the north and west of Iraq and eastern Syria as the main centers and dry border areas between Khuzestan province and Iraq are considered as intensifying dust activities. Increased unstable conditions in the lower levels and the existence of a series of atmospheric disturbances that have taken place in a dry manner have caused dust to rise from possible areas and flow into the area. By indexing, the relative fineness parameter of 850 hPa was found to be suitable in identifying possible foci of fine dust. Thus, to predict dust in the region when the wind speed reaches its maximum on the dust centers, it is expected to witness the occurrence of severe dust storms with a delay of 24 to 48 hours in the region. However, the existence of instabilities and the increase of relative equilibrium on the foci have caused the mentioned process to increase and the particles to flow to the region in less than 24 hours.

Keywords: Dust Storm, Relative Fever, Wind Speed, Forecast, Khuzestan Province

* Corresponding author: Hassan HajiMohammadi E-mail: hassan_eghlim@yahoo.com Tel:989376475006

How to cite this Article: HajiMohammadi, H., & Paydari, S. (2023). Evaluation of ECMWF data in monitoring and forecasting dust storms in southwestern Iran (Case study: Khuzestan plain). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 155-170.

DOI: 10.22067/geoh.2022.75342.1178



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75342.1178> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۷۰-۱۵۵

مقاله پژوهشی

بررسی داده‌های مرکز ECMWF در پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: جلگه خوزستان)

حسن حاجی محمدی^۱ - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
سمیه حاجی‌وند پایداری - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱

چکیده

به‌منظور بررسی توفان‌های گردوغبار جلگه خوزستان از آمار ۱۳ ایستگاه سینوپتیک در بازه ۱۷ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۶) استفاده شد. روزی به‌عنوان روز توفانی انتخاب شد که دید افقی کمتر از ۲۰۰ الی ۱۰۰ متر، در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها گزارش شده باشد. برای تحلیل شرایط جوی از داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپا و برای نمایش الگوی فضایی گردوغبار از مقادیر AOD سنجنده MODIS استفاده گردید. بررسی‌ها نشان دادند که ۴ الگوی فضایی در منطقه سبب رخداد چنین شرایطی می‌شوند. انتقال گردوغبار از کانون‌های شمال و غرب عراق و شرق سوریه به‌عنوان کانون‌های اصلی و مناطق خشک شده مرزی بین استان خوزستان و کشور عراق به‌عنوان تشدیدکننده فعالیت‌های ریزگردها به شمار می‌روند. افزایش شرایط ناپایداری در ترازهای زیرین و وجود یک سری اغتشاشات جوی که به‌صورت بی‌دررو خشک صورت پذیرفته، سبب خیزش گردوغبار از مناطق احتمالی و سرازیر شدن آن به منطقه شده است. با انجام شاخص سازی، پارامتر تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شناسایی کانون‌های احتمالی ریزگردها مناسب یافت شد. بدین‌صورت که برای پیش‌بینی گردوغبار در منطقه زمانی که سرعت باد به بیشینه خود بر روی کانون‌های ریزگردها می‌رسد، انتظار می‌رود با تأخیری ۲۴ الی ۴۸

Email: hassan_eghlim@yahoo.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۶۴۷۵۰۰۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

حاجی محمدی، حسن؛ پایداری، سمیه؛ ۱۴۰۲. بررسی داده‌های مرکز ECMWF در پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: جلگه خوزستان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۱۷۰-۱۵۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75342.1178>

ساعته در منطقه شاهد رخداد توفان‌های شدید گردوغبار بود؛ اما وجود ناپایداری‌ها و افزایش تاوایی نسبی بر روی کانون‌ها سبب شده تا فرآیند مذکور افزایش یافته و در کمتر از ۲۴ ساعت ذرات به منطقه شارش نمایند. در نهایت پیشنهاد می‌شود جهت پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری در منطقه از داده‌های با توان تفکیک بالا استفاده گردد تا بتوان در پیش‌بینی‌ها به یک دقت قابل قبول دست یافت.

کلیدواژه‌ها: توفان گردوغبار، تاوایی نسبی، سرعت باد، پیش‌بینی، استان خوزستان.

۱- مقدمه

گردوخاک یکی از فراوان‌ترین هواویزهای معلق در جو زمین است (چانگ^۱، ۲۰۰۱). در مقیاس جهانی، گردوخاک معلق در جو زمین عمدتاً ناشی از چشمه‌های طبیعی است (تیگن و همکاران^۲، ۲۰۰۴). سامانه‌های جوی و وضعیت ساختار سطح زمین (ساختار واقعی زمین و ساختاری که بر اثر دست کاری بشر حاصل شده است) از عوامل مؤثر در رخداد پدیده گردوغبار هستند (رنجبر سعادت‌آبادی، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر، وقوع پدیده گردوغبار در منطقه خاورمیانه در حال افزایش بوده و کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، به‌طور مداوم در معرض سیستم‌های گردوغبار محلی و سینوپتیک متعدد است (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی خاورمیانه نیز یکی از پنج منطقه از نظر تولید گردوغبار در جهان است (رضازاده و همکاران، ۲۰۱۳). توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مخرب هواشناختی بوده که متأثر از عناصر اقلیمی فشار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، دما و تبخیر است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷)؛ و همه‌ساله خسارات جبران‌ناپذیری به سلامتی انسان، مزارع، تأسیسات عمرانی و صنعتی، خطوط مواصلاتی و مراکز جمعیتی وارد می‌کند. این پدیده متأثر از شرایط خاص جوی است که در صورت شناخت منشأ، سازوکار تکوین، نحوه گسترش و ارتباط آن با الگوهای گردشی اتمسفری، می‌توان تا حدودی از آسیب‌های آن کاست و یا با آن مقابله نمود. دلیل اصلی نگرش‌های اخیر در مورد توفان‌های گردوغبار مربوط به آثار متفاوتی است که این پدیده بر سیستم‌ها و زیرسیستم‌های کره زمین می‌گذارد (گودی و میدلتون^۳، ۲۰۰۶؛ گودی^۴، ۲۰۰۹). از آن جمله می‌توان به اثرات گردوغبار از طریق جذب و پراکنده نمودن انرژی خورشید بر دمای هوا، تشکیل ابر، فعالیت‌های همرفتی، غلظت دی‌اکسید کربن و گوگرد در اتمسفر، چرخه‌های زمین-شیمی و تکامل خاک و بیلان‌زایی تأثیر گذارد (گودی، ۲۰۰۹؛ کنگ و همکاران^۵، ۲۰۱۰؛ آرمیتو^۶، ۲۰۰۱؛

1 Change

2 Tegen et al

3 Goudie and Middleton

4 Goudie

5 Kang et al

6 Arimoto

تون^۱، ۲۰۰۳؛ ونگ و دسلر^۲، ۲۰۰۵؛ ریچول^۳، ۲۰۰۳؛ یانگ و همکاران^۴، ۲۰۰۸). در این میان کشور ایران و به‌خصوص مناطق جنوب غرب کشور بیش‌ازپیش طی سال‌های اخیر با این پدیده دست‌وپنجه نرم کرده‌اند. باوجود چشمه‌های داخلی گردوخاک در ایران، مطالعات نشان داده است که مقدار قابل توجهی از گردوخاک واردشده به ایران از مناطق و کشورهای همسایه است (شاهسونی و همکاران، ۲۰۱۲؛ چوبری و همکاران، ۲۰۱۶). درواقع، ایران در پایین‌دست منابع عظیم گردوخاک قرار گرفته است که شامل زمین‌های رسوبی و خشک دجله و فرات و بیابان زبیر در عراق، بیابان سوریه و سه بیابان النفود در شمال غرب، الدنها در شمال شرق و ربع الخالی در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان می‌شود (علیزاده چوبری و همکاران، ۲۰۱۶). در بین این چشمه‌های گردوخاک، مناطق بیابانی عراق و بیابان سوریه ازجمله عمده‌ترین چشمه‌هایی هستند که مقادیر عظیمی از گردوخاک را تحت تأثیر باد شمال وارد مناطق غرب و جنوب غرب ایران می‌کنند (عبدی ویشکایی و همکاران، ۲۰۱۲).

بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی منطقه‌ی غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر MODIS نشان داد که بخش جنوب‌غربی ایران شامل استان خوزستان بیشترین مقدار متوسط عمق اپتیکی را طی بازه زمانی داشته است (نامداری و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی مسیر گرد و غبار به عراق با مدل طوفان‌های گرد و غبار کویر سوریه، صحرای آفریقای شمالی، صحرای آن النفود در عربستان سعودی، زمین‌های خشک در جنوب غربی ترکیه و جنوب غربی ایران منشأ می‌گیرند (عطیه و جونز، ۲۰۲۰). منشأ طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT در استان اصفهان دو منطقه مرزی بین عراق و سوریه، غرب و جنوب‌غربی عراق، منبع اصلی گرد و غبار منتقل شده به اصفهان هستند (جعفری و همکاران، ۲۰۲۱).

از تحقیقات اخیر که به اثرات توفان‌های گردوغباری شدید در منطقه پرداخته می‌توان به پژوهشی اشاره نمود که در یک مطالعه موردی به پایش و پیش‌بینی توفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی پرداخته‌اند. نتایج نشان دادند ذرات گردوخاک در سقف جو و سطح زمین دارای اثرهای گرمایشی، اما در میانه جو دارای اثر گرمایشی هستند (فرهادی پور و همکاران ۱۳۹۶). سبجانی و همکاران (۱۳۹۹) به مدل‌سازی آماری و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های آبادان، مسجدسلیمان و اهواز بیشترین درصد فراوانی رخداد این پدیده را در سال‌های آتی را خواهند داشت. حجتی (۱۴۰۰) به منشأیابی و ارزیابی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به برخی عناصر سنگین پرداخت. وی دریافت که رسوبات و گردوغبارهای سرازیر شده به شهر اهواز دارای دو کانون بوده که ترکیبی از کانون‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی است.

1 Toon

2 Wong and Dessler

3 Ridgwell

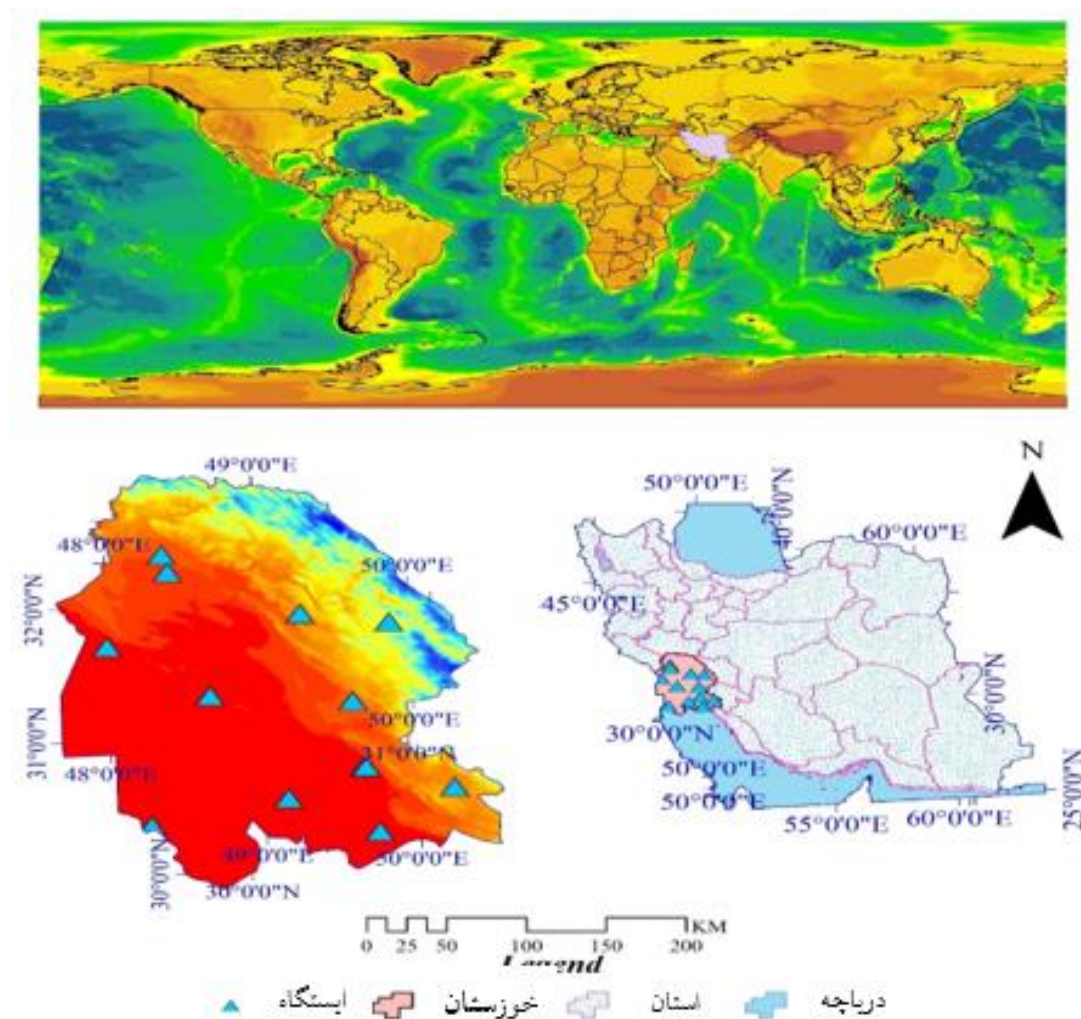
4 Yang et al

از آنجایی که جلگه خوزستان بنا به قرارگیری در موقعیت جغرافیای خاص در هم‌جواری با کانون‌های گردوغبار و افزایش چنددرصدی این پدیده هم از نظر شدت و هم از نظر فراوانی در منطقه، سبب شده تا به شناسایی کانون‌های اصلی و مهم‌تر پیش‌بینی این پدیده در منطقه بپردازیم.

پژوهش‌های صورت پذیرفته نیز به دنبال کشف کانون‌های اصلی در انتقال گرد و غبار در منطقه بوده اما در این پژوهش سعی بر آن شده تا با استفاده از داده‌های با توان تفکیک بالا مکانیسم جوی و برهمکنش سامانه‌های موجب تولید گردوغبارهای شدید در منطقه شده شناسایی و به تبیین سازوکار جوی آن‌ها در منطقه به‌صورت دقیق‌تر پرداخته شود.

۲- مواد و روش‌ها

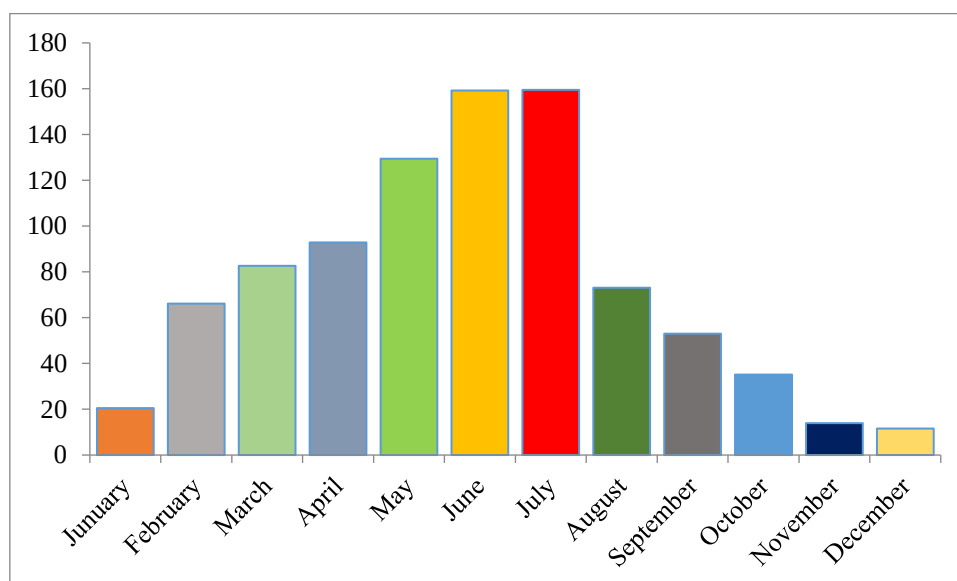
به‌منظور بررسی روزهای گردوغباری در استان خوزستان از داده‌های ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۰ میلادی از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین روزهای غبارآلود از تعریف سازمان هواشناسی جهانی استفاده شد. بر اساس تعریف این سازمان وقوع گردوغبار از نظر میزان دید افقی به چهار طبقه گردوغبار ضعیف با دید کمتر از ۱۰ کیلومتر، گردوغبار متوسط با دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، توفان شلید با دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و توفان خیلی شلید با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود (کاسکاوتیس، ۲۰۰۷). از آنجایی که داده‌های برداشت‌شده در ایستگاه‌های مذکور به‌صورت ۳ ساعته و ۸ بار در روز پایش می‌شوند، ابتدا به‌صورت کلی در تمامی ساعات در بازه زمانی یادشده فراوانی تمامی گردوغبارهای گزارش‌شده از سوی ایستگاه‌های هواشناسی ثبت و در ادامه توفان‌هایی که دید افقی زیر ۲۰۰ و ۱۰۰ متر بوده و به‌صورت فراگیر در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها گزارش‌شده بود طبقه‌بندی شدند. در ادامه به‌منظور شناسایی الگوهای غالب در رخداد این شرایط از داده‌های عمق اپتیکی آئروسول (AOD) سنجنده MODIS استفاده و به‌صورت الگوی فضایی کانون‌های انتشار و گستره مکانی آن استفاده گردید. از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی و پایش گردوغبارهای شدید منطقه بود، با مراجعه به وب‌سایت مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جو اروپا (ECMWF) (دی و همکاران، ۲۰۱۱) و با دریافت داده‌های شبکه‌بندی شده با توان تفکیک ۰.۱۲۵ درجه جغرافیای (تقریباً ۱۲ کیلومتر) سعی بر آن شده تا الگوریتمی طراحی گردد تا با استفاده از شاخص‌سازی به پیش‌بینی گردوغبار در منطقه پرداخته شده و از سویی عوامل اصلی رخداد این پدیده در انتشار از کانون‌های اصلی آن مشخص شوند. برای این منظور مقادیر سرعت باد در ترازهای زیرین تروپوسفر (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) و تلاوایی نسبی برای تراز فوق‌الذکر محاسبه و با مقادیر AOD منطقه‌ای همبستگی زمانی-مکانی گرفته شد تا هم‌مقدار اثرگذاری هریک از این پارامترها در رخداد گردوغبار منطقه مشخص گردد و اینکه نقش کدام‌یک در انتقال گردوغبار از مناطق احتمالی پررنگ‌تر بوده تا بر اساس آن بتوان یک الگوی پیش‌آگاهی برای رخداد این پدیده در منطقه داده شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۴۰۰)

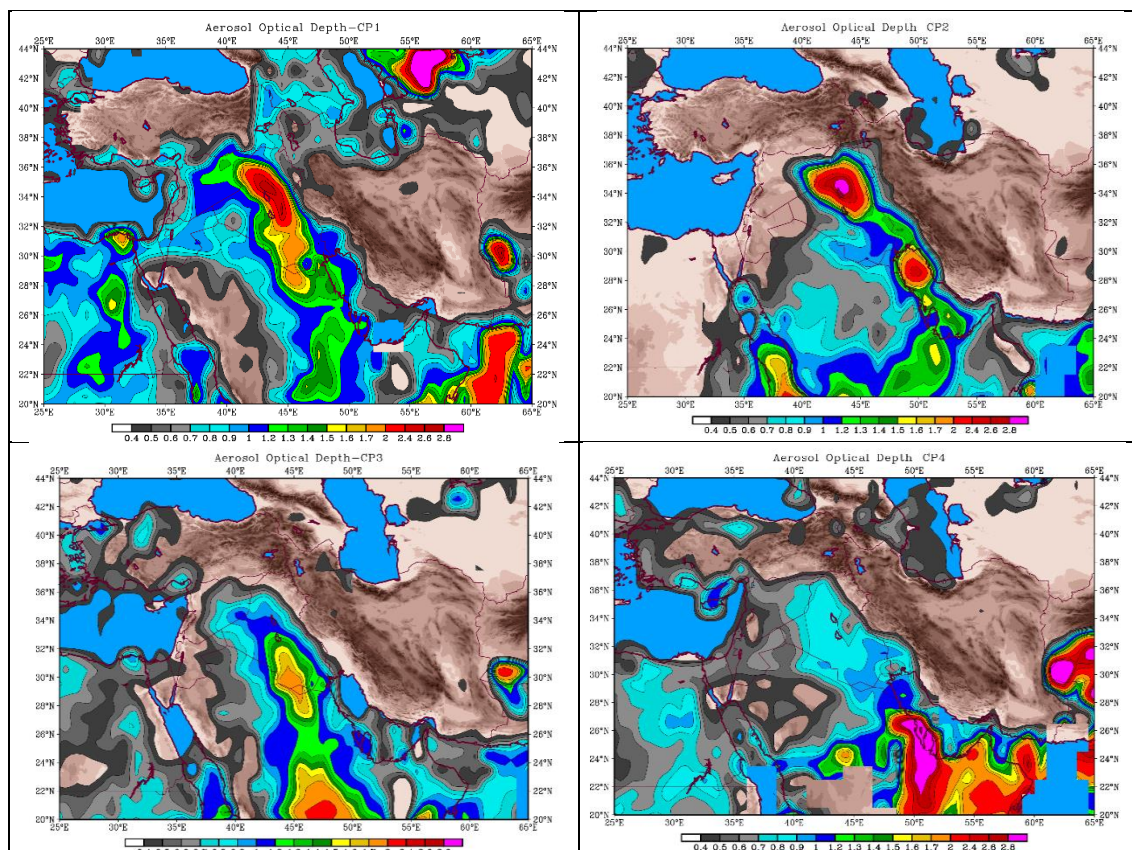
۳- نتایج و بحث

در بررسی‌های نخست که در ۱۳ ایستگاه واقع در منطقه صورت پذیرفت، نشان دادند که فصل گرم بیشترین تعداد رخداد گردوغبار در منطقه را به خود اختصاص داده است. در این میان ماه‌های جون (خرداد) و جولای (تیر) حداکثر تعداد فراوانی رخداد این پدیده در منطقه به حساب می‌آید. روند روزهای غبارآلود جلگه خوزستان به گونه است که از اواسط زمستان این پدیده در منطقه شروع و با سیری صعودی در فصل گرم به حداکثر خود رسیده و ناگهان در اواسط تابستان کاهش چشمگیری داشته و در فصل پاییز بیش‌ازپیش فروکش کرده است (شکل ۲).



شکل ۲- فروانی تعداد روزهای غبارآلود در جلگه خوزستان بر اساس داده‌های ایستگاهی (نگارندگان، ۱۴۰۰)

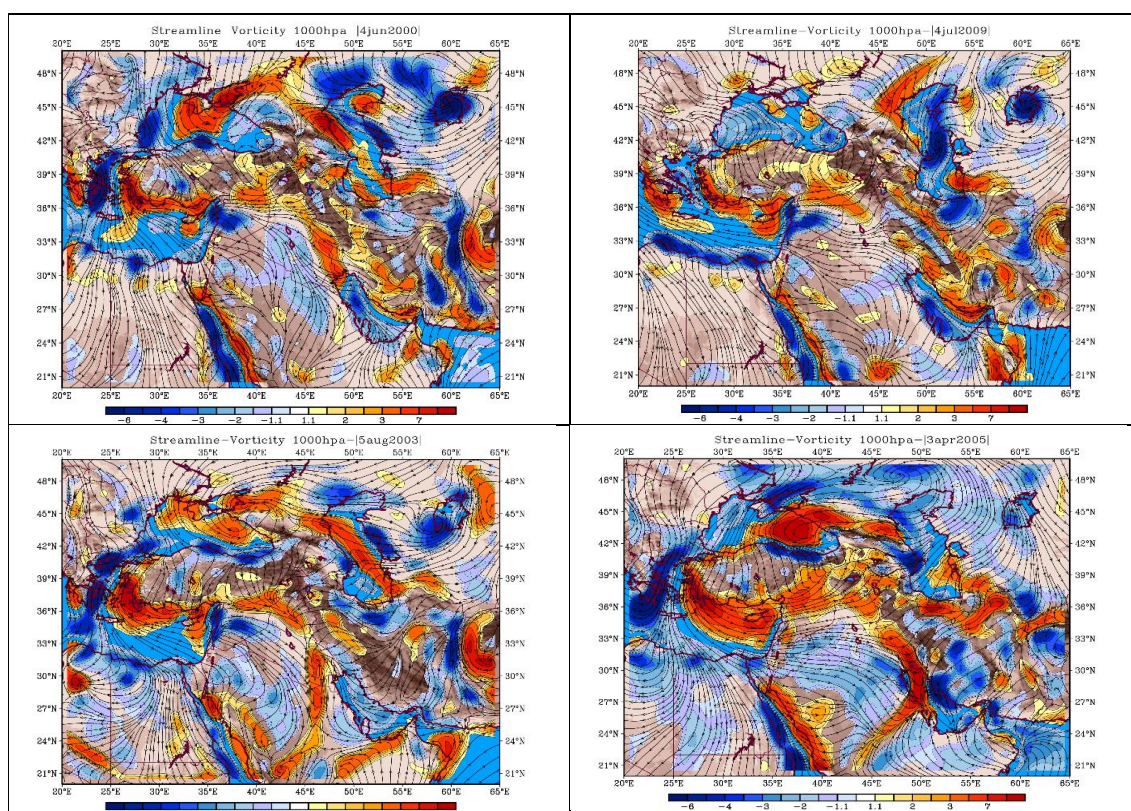
پس از بررسی‌های به‌عمل‌آمده و شناسایی دوره‌های گردوغباری سعی بر آن شد تا شدیدترین دوره‌های گردوغباری که دید افقی به کمتر از ۲۰۰ الی ۱۰۰ متر در منطقه رسیده تفکیک (۷۰ روز انتخاب‌شده) و به شرایط هواشناختی آن پرداخته شود. به همین منظور و برای درک عمیق‌تر این وضعیت ابتدا تحلیلی از الگوی فضایی گردوغبارهای شدید منطقه صورت پذیرفت که طی آن از روش تحلیل همدیدی «دستی (Subjective)» جهت نمایش و پردازش داده‌های شبکه‌بندی و تحلیل وضعیت جوی حاکم استفاده گردید. نتایج نشان دادند ۴ الگو در رخدادهای این نوع توفان‌های گردوغباری در منطقه حاکمیت دارند. بر همین اساس متوسط الگوی فضایی عمق ایتیکی آئروسول هریک از الگوها تهیه شد (شکل ۳). با توجه به نقشه‌های تهیه‌شده در الگوی نخست هسته اصلی گردوغبار منطبق بر شمال عراق است که با الگویی شمالی شرقی-جنوب غربی تا شمال عربستان را در بر گرفته است. لازم به توضیح بوده که هسته دیگری در قلب شبه‌جزیره عربستان نیز تشکیل شده است. در الگوی دوم هسته بیشینه گردوغبار منطبق بر شمال مناطق مرکزی عراق بوده که با ورود به جنوب غرب ایران و جلگه خوزستان تقویت شده است. از طرفی با انتقال گردوغبار از روی عربستان به جنوب ایران هسته بیشینه دیگری نیز بر روی خلیج فارس به وجود آمده است. الگوی سوم کانون اصلی گردوغبارها را در جنوب عراق و جنوب عربستان نشان می‌دهد. در الگوی چهارم یک هسته کوچک بیشینه در نوار مرزی بین استان خوزستان و کشور عراق مشاهده شده و دو هسته مجزا دیگری یکی در مرکز و دیگری در شرق عربستان مشاهده می‌شود که با جریانی جنوبی به منطقه منتقل می‌شوند.



شکل ۳- مقادیر AOD برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان، ۱۴۰۰)

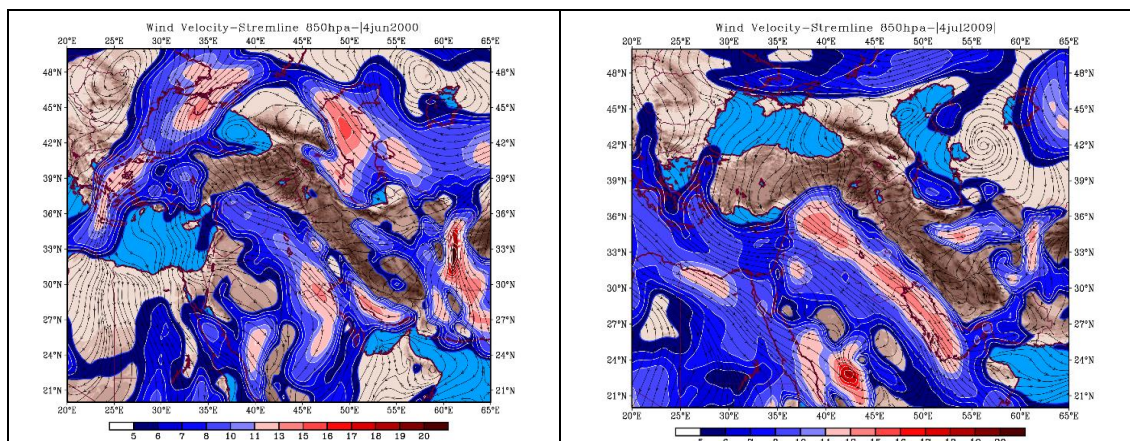
پس از بررسی‌های کلی سعی بر آن شده تا برای هر الگو یک روز به‌عنوان نماینده تعیین و تحلیل جزئی‌تر بر روی آن صورت پذیرد. برای الگوی نخست ۴ جون ۲۰۰۰ انتخاب گردید. در ابتدا شرایط جریان باد تاوایی در شرایط سطحی بررسی گردید. در این بررسی وجود یک جریان غربی بر روی عراق که در جنوب آن تغییر مسیر داده و یک جریان تقریباً شمالی شده و طی این شرایط یک هسته تاوایی مثبت در شمال عراق و یک‌رشته تاوایی مثبت بر روی جنوب غرب ایران تشکیل شده است. از سویی هسته چرخندگی منفی شمال عربستان نیز جریان باد شمالی را تقویت نموده است. روز نماینده الگوی دوم ۴ جولای ۲۰۰۹ است. در این روز جریان غربی از سمت مدیترانه به نواحی غربی ایران روانه شده که بر روی عراق به‌صورت موجی شکل شده و یک‌رشته جدا از آن به سمت جنوب غرب کشور منتقل شده است. وجود بیشینه تاوایی بر روی جنوب ترکیه و شمال عراق و از طرفی نزول هوا بر روی زاگرس غربی سبب شده تا یک جریان همگرا در منطقه به وقوع بپیوندد. این همگرایی با افزایش تاوایی نسبی بر روی جلگه خوزستان نیز همراه است که تا تنگه هرمز ادامه دارد. در الگوی سوم که روز نماینده آن ۵ آگوست ۲۰۰۳

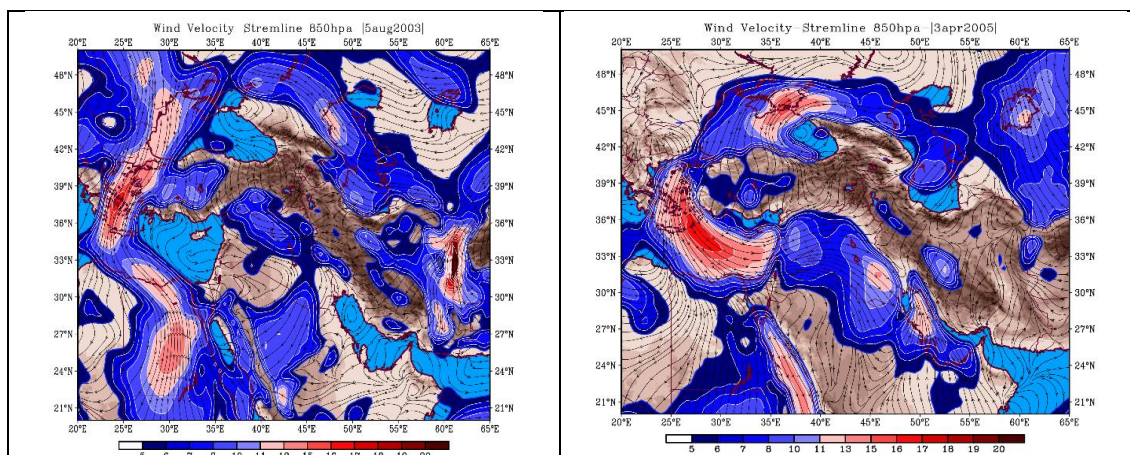
است، وجود جریان تاوایی منفی بر روی دامنه‌های جنوب البرز و حرکت غرب سوی هوا به مناطق داخلی خاورمیانه و از طرفی وجود یک جریان شمالی نشئت گرفته از دریای سیاه و جفت شدن آن با جریان جداشده از مدیترانه و همگرایی این سه بسته هوا بر روی سوریه، ترکیه و عراق شرایط ناپایداری را به وجود آورده‌اند. این ناپایداری به‌صورت نواری تا جنوب عربستان ادامه داشته به‌گونه‌ای که با حاکمیت جریان ساعت‌گردی بر روی خلیج فارس جریانی جنوب جلگه خوزستان را درنور دیده و در قطاع غربی این جریان همگرایی بین هسته تاوایی مثبت صورت پذیرفته است. در روز ۳ آوریل ۲۰۰۵ با تشکیل و تقویت پرفشار واقع بر روی شمال دریای عرب و انتقال جریان هوا در ضلع غربی آن به عرض‌های بالاتر و همگرا شدن دو توده‌هوای واقع در منطقه یکی بر روی دریای سرخ و دیگری شمال غرب عربستان ناپایداری شدیدی را در منطقه رقم‌زده و با گذر از روی خلیج فارس تا غرب ایران را در برگرفته است. از سویی با هجوم جریان غربی از روی دریای مدیترانه ناپایداری در مرزهای غربی افزایش یافته است. همان‌گونه که مشاهده شد طی افزایش تاوایی مثبت در منطقه و وقوع بیشینه گردوغبار در منطقه انطباق وجود دارد (شکل ۴).



شکل ۴- الگوی فضایی تاوایی و جهت باد تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان، ۱۴۰۰)

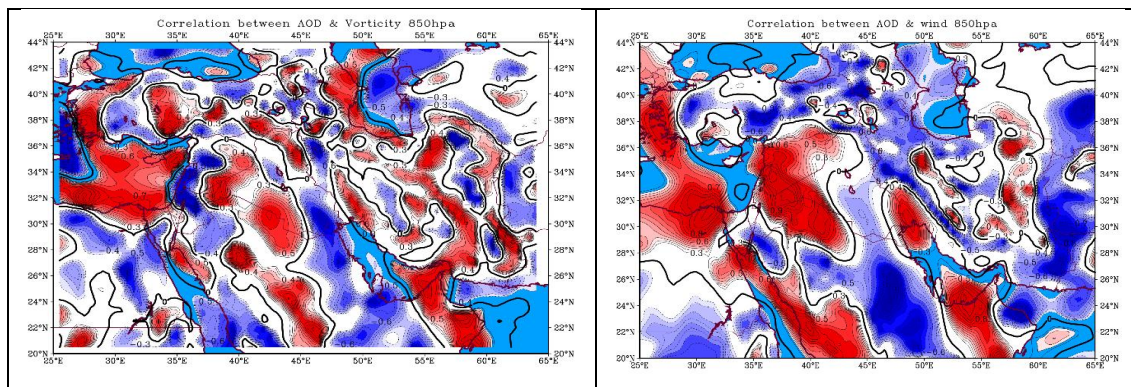
در بررسی وضعیت سرعت باد در الگوی نخست از شمال سوریه شروع و تا جنوب غرب ایران ادامه داشته و پس از انحنا بر روی کویت در مرز عربستان به بیشینه خود رسیده است. از طرفی وجود یک هسته بیشینه سرعت معادل ۱۳ متر بر ثانیه در مرزهای عراق و ایلام و حاکمیت جریان شمالی سبب شده تا شارش جرم به جلگه خوزستان صورت پذیرد. در الگوی دوم سرعت باد به بیش از ۱۳ متر بر ثانیه رسیده که با جهتی شمال غرب-جنوب غرب شروع به وزیدن کرده و دارای دو هسته بیشینه یکی بر روی سوریه و غرب عراق و دیگری بر روی نواحی جنوبی عراق که تا جنوب خلیج فارس ادامه دارد. در الگوی سوم کانون اصلی سرعت بر روی مناطق جنوبی ترکیه، شرق سوریه و غرب عراق است. از طرفی با وزش جریان به منطقه و نزدیک شدن به مناطق مرزی هسته دیگری اما محدود در شمال جلگه خوزستان تشکیل شده که متوسط سرعت آن ۸ الی ۱۰ متر بر ثانیه است. با تقویت جریانات در منطقه و انتقال گردوغبار از مناطقی همچون سوریه و عراق و تشدید آن در مناطق مرزی استان خوزستان سبب شده تا چشمه‌های احتمالی گردوغبار که به صورت محلی بوده فعال گشته شرایط را بیش‌ازپیش بحرانی‌تر نماید. در الگوی چهارم دو هسته بیشینه سرعت یکی بر روی مناطق جنوب شرقی عراق که با جریانی نسبتاً غربی همراه شده و دیگری بر روی غرب خلیج فارس که با جریانی جنوبی در مناطق جنوب استان همگرا شده و این همگرایی سبب انباشت گردوغبار و ماندگاری آن در منطقه شده است (شکل ۵).





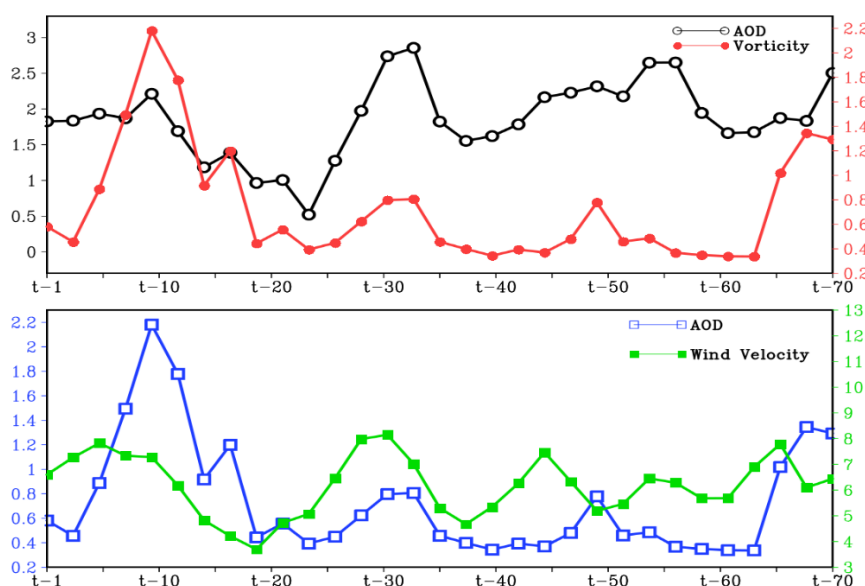
شکل ۵- الگوی فضایی سرعت و جهت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان، ۱۴۰۰)

با بررسی‌های به‌عمل‌آمده تا این مرحله نشان دادند از آنجایی که کانون‌های انتشار گردوغبار در منطقه خاورمیانه با تقویت سرعت باد و افزایش چرخندگی مثبت رفتاری مثبت از خود نشان داده و توام با افزایش گردوغبار در منطقه هستند، سعی شد این همبستگی به‌صورت شاخصی شده و به یک مدل عددی تبدیل گردد. سعی شد تا بین مقادیر AOD جلگه خوزستان و تاوایی نسبی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کانون‌های گردوغبار همبستگی زمانی- مکانی تهیه شود تا رفتار هریک از شاخص‌ها و سهم آن در تولید و انتقال گردوغبار مشخص شود. نتایج نشان دادند که افزایش سرعت باد بر روی کانون‌های موجود بر روی سوریه، فلسطین، جنوب ترکیه، شمال غرب- جنوب غرب و شرق عربستان با گردوغبار استان خوزستان همبستگی مثبت بیش از ۰.۸ را نشان دهد. از طرفی مقادیر تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز به‌صورت جزئی‌تر و محلی‌تر قسمت‌هایی از جنوب ترکیه تا شمال و شمال شرق عراق، شرق سوریه و غرب عراق، مرز جنوبی مشترک عراق با عربستان، قسمت‌های مرکزی عربستان و عمان و قسمت‌هایی از تنگه هرمز همبستگی بالایی را با گردوغبارهای شدید منطقه داشته باشد. لازم به توضیح است که در این همبستگی زمانی- مکانی مناطق دیگری نیز با گردوغبار محل موردنظر همبستگی‌های مثبتی نشان داده‌اند اما به دلیل حاکمیت بیشینه جریان باد غربی، شمال غربی و جنوبی در منطقه حداکثر رفتارها از کانون‌های یادشده به نظر می‌رسد (شکل ۶).



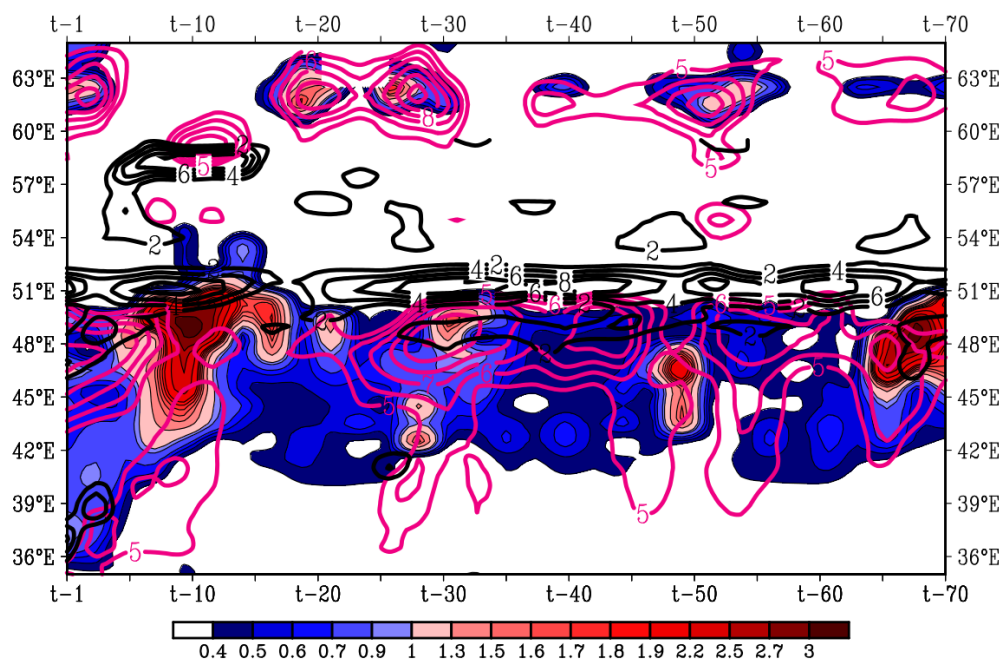
شکل ۶- همبستگی بین مقادیر AOD جلگه خوزستان با تاوایی (سمت چپ) و سرعت باد (سمت راست) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگارندگان، ۱۴۰۰)

در نمودار هافمولر تهیه‌شده که مقادیر AOD و تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به نمایش درآمده نشان می‌دهد که در منطقه با افزایش تاوایی مثبت و به همراه آن وجود ناپایداری در ترازهای زیرین به محض شروع چنین فرآیندی، گردوغبار در منطقه شروع و غلظت آن به شدت افزایش می‌یابد؛ اما در بررسی شرایط سرعت باد و مقادیر گردوغبار منطقه‌ای نشان داده شد که با تأخیر زمان اوج سرعت گردوغبار بین یک الی دو روز در منطقه غلظت آلاینده‌های جوی افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که با توجه به نمودار گاه می‌توان چنین استنباط کرد که وجود ناپایداری‌ها و حاکمیت جریان چرخندی در منطقه بیش از افزایش سرعت باد در تشدید توفان‌های گردوغبار در منطقه دخیل هستند (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار هافمولر تغییرات AOD و تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگارندگان، ۱۴۰۰)

در نمودار هافمولر دیگری سعی شد تا تغییرات سه پارامتر تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و عمق اپتیکی هواویزها در طی زمان و بر روی طول‌های جغرافیایی بررسی گردد. در این نمودار خطوط مشکی تاوایی نسبی، خطوط صورتی سرعت باد و مقادیر رنگی AOD است. بررسی‌ها نشان دادند که طی این هفتاد روز بیشینه گردوغبارها مابین طول‌های ۴۸ تا ۵۱ درجه شرقی به وقوع پیوسته است. نکته اصلی در تهیه این نمودار این بود که نشان داده شود لزوم وجود تاوایی مثبت در منطقه از نکات اصلی در رخداد این پدیده در منطقه است. وجود این شرط در بیش از ۹۰ درصد دوره‌های گردوغباری شدید در منطقه از نکات قابل توجه است. همان‌طور که در نمودار مشخص است وجود بیشینه سرعت باد نیز در رخداد این پدیده سهم عمده‌ای را دارد اما این وضعیت هم با شیفیتی غرب سو (انطباق حداکثر سرعت باد در مرزهای خارج از منطقه مورد مطالعه) و تأخیر در زمان اوج از شرایط حاضر در منطقه است (شکل ۸).



شکل ۸- نمودار هافمولر x-t برای عرض ۳۰ درجه شمالی برای نمایش وضعیت تاوایی (خطوط مشکی) و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (خطوط صورتی) و مقادیر AOD (رنگی) (نگارندگان، ۱۴۰۰)

۴- جمع‌بندی

امروزه توفان‌های گردوغباری یکی از مخاطرات محیطی محسوب می‌گردند که آسایش ساکنین کره زمین را به‌ویژه در مناطق خشک و کم بارش کاهش داده و به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم بخش گسترده‌ای از جامعه بشری را از خود

متأثر می‌سازند. ساختار گردشی ویژه در منطقه و در ترکیب با ویژگی‌های پوشش سطحی و آبرفت‌های ریزدانه فراوانی که در داخل کشور و کشورهای همسایه وجود دارد، منطقه خاورمیانه و ایران را به یکی از مهم‌ترین مناطق وقوع توفان‌های گردوغباری در دنیا مبدل ساخته است (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

طی بررسی‌های به‌عمل‌آمده نتایج بدین شرح به دست آمد:

در بررسی الگوهای غالب در زمان رخداد توفان‌های شدید گردوغباری در جلگه خوزستان ۴ الگو شناسایی شد که برخی از این الگوها از منظر انتقال گردوغبار نسبت به سایرین بسیار قوی‌تر بوده به‌مانند الگوی دوم و برخی ضعیف‌تر بوده که می‌توان به الگوی چهارم اشاره نمود. در الگوهای یک، دو و چهار پس از ورود گردوغبار به منطقه جنوب غرب ایران گاه بر روی مناطق مرزی با عراق این پدیده تشدید شده و هسته مجزا اما محلی را در منطقه به وجود می‌آورد.

وقوع این پدیده در منطقه بیش‌ازپیش در ترازهای زیرین تقویت‌شده و عمده تحولات آن در افزایش چرخندگی مثبت و افزایش سرعت باد است. وجود جریانات شمالی که عنوان باد شمال (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۰)، جریانات غربی که از روی مدیترانه نشئت گرفته و با عبور از سوریه و مناطق غربی عراق منطقه را متأثر می‌سازد و یا جریانات زوجی که به‌صورت همگرایی و شارش بر روی جلگه خوزستان صورت گرفته که حاصلی از ترکیب جریان جنوبی و جریان غربی در منطقه است.

در بررسی سهم هریک از پارامترهای سرعت باد و تلاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشخص شد که سرعت باد به دو صورت عمل کرده یکی اینکه به‌صورت کلی جریانات بر خواسته از کانون‌ها را مشخص می‌نماید و دیگری اینکه همیشه با افزایش سرعت باد همه کانون‌های شناسایی‌شده در منطقه تحریک نمی‌شوند؛ اما با بررسی و ارزیابی تلاوایی نسبی در شناسایی کانون‌ها و اثرگذاری آن این نتیجه به دست آمد که این شاخص می‌تواند هم به‌صورت دقیق‌تر مناطق کانون احتمالی را شناسایی نماید و ضمن اینکه مناطق محتمل شناسایی‌شده با سرعت باد را در برمی‌گیرد، در تفکیک نواحی خیزش گردوغبار دقت بالاتری را می‌توان به دست آورد.

از وضعیت جوی برای شرایط پیش‌بینی نیز می‌توان بدین نکته اشاره نمود که صرفاً افزایش سرعت باد بر روی کانون‌های احتمالی در رخداد توفان‌های گردوغباری منطقه نقش نداشته بلکه افزایش ناپایداری‌ها سبب خیزش ذرات ریز و انتقال آن به منطقه می‌شود. بدین‌صورت که به‌منظور پیش‌بینی توفان‌های شدید گردوغباری در جلگه خوزستان با تأخیری ۲۴ الی ۴۸ ساعته از زمان بیشینه وزش باد، این منطقه توفان گردوغبار را تجربه می‌نماید؛ اما در زمان افزایش تلاوایی نسبی و وجود جریانات بالاسو این مقدار کاهش‌یافته و در کمتر از ۲۴ ساعت ذرات به منطقه شارش می‌یابند.

نتایج حاصل از داده‌های ۱۲ کیلومتر مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپا نشان داد که شناسایی کانون‌ها و برهمکنش سامانه‌های جوی در انتقال گردوغبار به جلگه خوزستان درعین حال که متأثر از گردش جو منطقه بوده، یک مکانیسم میان‌مقیاس است که در اغلب پژوهش‌ها بدان توجهی نشده است. پیشنهاد می‌گردد تا به‌منظور بررسی‌های دقیق‌تر از مدل‌های میان‌مقیاس استفاده شود تا بتوان در راستای پیش‌بینی‌های دقیق‌تر با درصد خطای کمتری روبرو شویم.

بررسی نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد **جعفری و مفیدی (۱۳۹۰)** که به‌طور کلی منابع اصلی گردوغبار برای توفان‌های جنوب‌غرب ایران منطقه‌ای واقع در حدفاصل مرکز - شمال عراق تا غرب سوریه و تا شمال عربستان است. **صفری و همکاران (۱۳۹۲)** نیز در بررسی کانون‌ها منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب و جنوب غرب عراق، منطقه شمال شرق و شمال عربستان به‌عنوان منابع اصلی غبار جنوب غرب ایران شناسایی شدند که یک مسیر شمال غرب - جنوب شرق برای دوره گرم و همچنین یک مسیر جنوب غرب - شمال شرق برای دوره سرد را طی می‌کنند.

کتابنامه

- حجتی، سعید؛ ۱۴۰۰. منشاءابی و ارزیابی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به برخی عناصر سنگین. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*. جلد ۴۴. شماره ۱. بهار ۱۴۰۰.
- <https://dorl.net/dor/۲۰/۱۰۰۱/۱/۲۵۸۸۵۲۶/۱۴۰۰/۴۴/۱/۱/۸>
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ مین‌پرست، مجتبی؛ نوری، فائزه؛ ۱۳۹۵. بررسی پدیده گردوغبار در غرب ایران از دیدگاه هواشناختی (مطالعه بلندمدت و کوتاه‌مدت). *مجله علمی و ترویجی نیوار*. دوره ۴۰. شماره ۹۲-۹۳. صص ۶۶-۵۳.
- <https://doi.org/۱۰/۳۰۴۶۷/nivar.۲۰۱۶/۴۰.۸۰۷>
- سبحانی، بهروز؛ صفریان زنگیر، وحید؛ فیض‌الهزاده، سینا؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۲۵. شماره ۱. بهار ۱۳۹۹. صص ۳۵-۱۷.
- <https://www.sid.ir/paper/۳۷۷۶۵۱/fa>
- صفری، اعظم؛ دوستان، رضا؛ مفیدی، عباس؛ ۱۳۹۲. شناسایی منابع غبار توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران. وزارت علوم. تحقیقات و فناوری - دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی - ۱۳۹۲ - [کارشناسی ارشد].
- <https://elmnet.ir/Article/۱۵۱۳۳-۱۰۶۳۶۰۱۶>
- فرهادی پور، سعید، آزادی، مجید، علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی، علیزاده چوبری، امید، سیاری، حبیب‌الله؛ ۱۳۹۶. توفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی: مطالعه موردی. *مجله ژئوفیزیک ایران*. جلد ۱۱ شماره (۳). صص ۷۵-۸۹. ۷۵-۳۸۹.
- <https://dorl.net/dor/۲۰/۱۰۰۱/۱/۲۰۰۸۰۳۳۶/۱۳۹۶/۱۱/۳/۶/۲>

لشکری، حسن؛ کیخسروی قاسم؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۱۹۹۳-۲۰۰۵، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۰. شماره ۶۵. صص ۳۳-۱۷.

<https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/۴۴۹۷۹۵/text/>

مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد؛ ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۲. شماره ۵. صص ۴۵-۱۷. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های (hsu.ac.ir)

- Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., Oolman, L., Flamant, P., and Khalesifard, H. R., 2012. Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study: Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117(D3). 117, D03201. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JD016339>
- Alizadeh-Choobari, O., Ghafarian, P., and Owlad, E., 2016. Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations: International Journal of Climatology, 36(4), 1575-2138. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4479>
- Arimoto, R., 2001. Eolian dust and climate, Relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. Journal of Earth Sci. Rev.: 54, PP 29-42. [https://doi.org/10.1016/S8252-0012\(01\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S8252-0012(01)00040-X)
- Attiya A, and Brian G., 2020. Assessment of mineralogical and chemical properties of airborne dust in Iraq, SN Applied Sciences, 2, PP. 1-21. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03326-5#citeas>
- Change, C., 2001. "The Scientific Basis. Intergovernmental on Climate Change". by JT Houghton, Y. Ding, D. J Griggs, et al. Cambridge Univ. Press. Cambridge. (20) (PDF) Climate Change 2001: The Scientific Basis (researchgate.net)
- 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>
- Farhadipour, S., Azadi, M., Aliakbari Bidokhti, A., Alizadeh Choobari, O., & Sayari, H. A., 2017. Dust storms in west and southwest Iran and their impact on radiation fluxes: A case study. Iranian Journal of Geophysics, 11(3), 75-89. <https://dorl.net/dor/۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۰۰۸,۳۳۶,۱۳۹۶,۱۱,۳,۶,۲>
- Goudie, A.S., 2009. Dust storms: Recent developments. Journal of Environmental Management: 90; pp 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.۲۰۰۸,۰۷,۰۰۷>
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. Journal of Earth Sci. Rev.: 56; pp 179-204. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8)
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2006. Desert Dust in the Global System. Springer, Heidelberg.
- Jafari M, Mesbahzadeh T, Masoudi R, Zehtabian G, Torkmahalleh MA., 2021. Dust storm surveying and detection using remote sensing data, wind tracing and atmospheric thermodynamic conditions (case study: Isfahan Province, Iran), Air Quality Atmosphere & Health: pp. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1007/s۰۱۰۲۱-۰۲۱-۱۱۸۶۹-x>
- Kang, S., Zhang, Y., Zhang, Y., Grigholm, B., Kaspari, S., Qin, D., Ren, J., & Mayewski, P., 2010), Variability of atmospheric dust loading over the central Tibetan Plateau based on ice core glaciochemistry. Journal of Atmospheric Environment: 44; pp 2980- 2989. https://journals.ui.ac.ir/article_۱۸۵۴۲_۹۷۲۰c۲۸abda۰ef۳۹۹۱e۳be۰۳۴۸۱d۷e۰۰.pdf

- Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., 2007. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmos. Environ.* 41, 7315–7329. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.017>
- Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., 2007. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. <https://doi.org/10.3390/rs8050394>
- Namdari S, Valizade K, Rasuly A, Sari Sarraf B., 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 191. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7>
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S.Kahn., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran, *Science of the total environment*. 552-564. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.045>
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events, *Aeolian Research*, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.001>
- Ridgwell, A.J., 2003. Implications of the glacial CO₂ 'iron hypothesis' for quaternary climate change. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4 article 1076. <http://dx.doi.org/10.1029/2003GC000563>
- Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghighifard, N. J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., and Saki, H., 2012. The evaluation of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from April through September 2010): *Journal of Arid Environments*, 77, 72-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.09.007>
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S., and Kohfeld, K., 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission: *Geophysical Research Letters*, 31, L05105. <https://doi.org/10.1029/2003GL019216>
- Toon, O.B., (2003), African dust in Florida clouds. *Journal of Nature*: 424, pp 623– 624. <https://doi.org/10.1038/424623a>
- Wong, S., Dessler, A.E., 2005. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer. *Geophys. Res. Lett.* 32, DOI: 10.1029/ 2004GL022295. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer - Wong - 2005 - *Geophysical Research Letters* - Wiley Online Library
- Yang, X., Zhu, B., Wang, X., Li, C., Zhou, Z., Chen, J., ... & Lu, Y., 2008. Late Quaternary environmental changes and organic carbon density in the Hunshandake Sandy land, eastern Inner Mongolia, China. *Global Planet. Change*: 61, pp 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.017>
- Yang, X., Zhu, B., Wang, X., Li, C., Zhou, Z., Chen, J., Wang, X., Yin, J., Lu, Y., 2008.



Reconstruction of Holocene Climate Changes in Southwestern Iran using Modern Pollen Rain Analysis

Mahmoud Davoudi^{a*}, Mohammad Amin Moradi Moghaddam^b

^a Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Guilan, Rasht, Iran

^b PhD in Climatology, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 18 February 2022

Revised: 2 March 2022

Accepted: 4 April 2022

Abstract

The basis of estimating the future climate is the evidence of today's climate. The more stable the evidences, the more accurate the perceptions will be. Reconstructing the past climate of hundreds to millions years ago, paleoclimatology can help reconstructing the future climate. In this research, 120 surface samples were used to analyze modern pollen rain and determine the relationship between pollen and climatic variables. Extraction of pollen from surface samples was done using a combination of standard methods of Faegri and Iverson (1975) and Moore et al. (1991). To reconstruct climatic variables, MAT method in PAST software was used as an environmental transfer function. By implementing the results of modern pollen rain analysis on the fossil pollens of Parishan Lake, the climatic variables of the region were reconstructed during the Holocene. The results showed that since about 10,000 years ago, temperature and precipitation have fluctuated a lot in southwest Iran. At this time, the rainfall fluctuated between 316 and 750 mm. There has been three periods of heavy rainfalls in southwest Iran: 8000-9500, 6200-6800, and 2200-4500-years ago. In all the periods, the rainfall average had been more than today's rainfall average. The minimum rainfall was 550 and the maximum was 750 mm. In all the periods with an increase in precipitation, the temperature has decreased, and there is a strong inverse relationship between them; the greater the decrease of temperature, the greater the increase of precipitation. The decrease of temperature in the Holocene occurred at least up to 19 degrees Celsius and increased up to 26 degrees at the maximum. The temperature increase that matches with the decrease of precipitation occurred in three periods: The early Holocene to 9500 years ago, 6800-8000 years ago, and 4500-6200 years ago.

Keywords: Paleoclimate, MAT, Palynology, Temperature-precipitation Changes, Holocene

* Corresponding author: Mahmoud Davoudi E-mail: m.davudi62@gmail.com Tel: + 989125910074

How to cite this Article: Davoudi, M., & Amhadmorad Moghaddam, M. A. (2023). Reconstruction of Holocene climate change in southwestern Iran using modern pollen rain analysis. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 171-188

DOI: 10.22067/geoh.2022.75218.1174



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75218.1174> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۷۱-۱۸۸
مقاله پژوهشی

بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب غرب ایران با استفاده از «واکاوی بارش گرده معاصر»^۱

محمود داودی^۲ - استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گیلان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
محمدامین مرادی-مقدم - دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۱۵

چکیده

مبنای درک آب و هوای آینده شواهد آب و هوایی امروز هستند و هر قدر این شواهد طولانی تر باشد می توان درک دقیق تری از تغییرات آب و هوایی آینده داشت. آب و هواشناسی دیرینه با بازسازی آب و هوای گذشته بین صدها تا میلیون ها سال گذشته می تواند کمک مؤثری در بازسازی اقلیم آینده داشته باشد. در این پژوهش برای انجام تحلیل گرده معاصر و درک روابط بین گرده ها و متغیرهای اقلیمی از تعداد ۱۲۰ نمونه سطحی استفاده شد. استخراج گرده ها از نمونه های سطحی با استفاده از ترکیبی از روش های استاندارد فانگری و ایورسن^۳، ۱۹۷۵ و موور^۴ و همکاران، ۱۹۹۱ انجام شد. برای بازسازی متغیرهای اقلیمی نیز از روش MAT در نرم افزار PAST به عنوان تابع انتقال محیطی استفاده شد. بدین صورت که با پیاده سازی نتایج تحلیل بارش گرده ای معاصر بر روی گرده های فسیل دریاچه پریشان، متغیرهای اقلیمی منطقه در هولوسن بازسازی شد. نتایج نشان داد از حدود ۱۰ هزار سال قبل در جنوب غرب ایران دما و بارش دارای نوسانات زیادی بوده اند. در این زمان بارش بین ۳۱۶ تا ۷۵۰ میلی متر نوسان داشته است که در سه مقطع زمانی ۸۰۰۰-۹۵۰۰، ۶۸۰۰-۶۲۰۰ و ۴۵۰۰-۲۲۰۰ سه دوره پر بارش در جنوب غرب ایران بوده است. در

1 modern pollen rain

Email: m.davudi62@gmail.com

3 Faegri and Iverson

4 Moore

۲ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۹۱۰۰۷۴

نحوه ارجاع به این مقاله:

داودی، محمود؛ مرادی مقدم، محمدامین؛ ۱۴۰۲. بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن در جنوب غرب ایران با استفاده از «واکاوی بارش گرده معاصر». جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۱۷۱-۱۸۸

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75218.1174>

تمامی این سه دوره بارش بیش از میانگین امروز بوده است و حداقل بارش ۵۵۰ و حداکثر ۷۵۰ میلی‌متر بوده است. در تمامی دوره‌های با افزایش بارش دما نیز کاهش داشته است و رابطه معکوس قوی بین آن‌ها وجود دارد و هر قدر میزان کاهش دما بیشتر بوده میزان افزایش بارش نیز بیشتر بوده است. کاهش دما در هولوسن حداقل تا ۱۹ درجه سلسیوس رخ داده و حداکثر نیز تا ۲۶ درجه افزایش داشته است. افزایش دما که مصادف با کاهش میزان بارش است، در سه دوره رخ داده که شامل اوایل هولوسن تا ۹۵۰۰ سال پیش، ۶۸۰۰-۸۰۰۰ سال قبل و ۶۲۰۰-۴۵۰۰ سال قبل است.

کلیدواژه‌ها: آب و هواشناسی دیرینه، MAT، گرده‌شناسی، تغییرات دما-بارش، هولوسن.

۱-مقدمه

آگاهی از تغییرات محیطی گذشته نه تنها زمینه‌ای را برای مطالعه تغییرات حال و آینده فراهم می‌سازد، بلکه ما را در شناسایی مکانیسم‌های طبیعی مؤثر در تغییرپذیری‌های آب‌وهوایی یاری می‌رساند (ترون^۱، ۲۰۰۶). امروزه تغییر اقلیم به مبحثی مهم در سراسر دنیا تبدیل شده و داشتن تصویری هرچند کلی از شرایط آب‌وهوایی در آینده بسیار مهم است. مبنای درک آب‌وهوای آینده، شواهد آب‌وهوایی امروز هستند و هر قدر این شواهد طولانی‌تر باشند می‌توان درک دقیق‌تری از تغییرات آب‌وهوایی آینده داشت. متأسفانه داده‌های هواشناسی ثبت شده آنقدر طولانی نیستند که با استفاده از آن‌ها، بتوان آب‌وهوای طولانی‌مدتی را پیش‌بینی کرد. آب و هواشناسی دیرینه با بازسازی آب‌وهوای گذشته بین صدها تا میلیون‌ها سال گذشته این خلأ را تا حدودی پر کرده و می‌تواند با بازسازی عناصر آب‌وهوایی گذشته در پیش‌بینی الگوهای آب‌وهوایی آینده کمک کننده باشد (داودی و همکاران، ۱۳۹۴).

پیشرفت‌های اخیر در زمینه بازسازی مقادیر کمی متغیرهای محیطی منجر به گسترش وسیع تکنیک‌های بازسازی طولانی‌مدت گذشته بر مبنای فسیل‌ها شده است. در این تکنیک‌ها معمولاً اجتماع فسیل‌ها با استفاده از توابع ریاضی به مقادیر کمی متغیرهای محیطی منتج می‌شود (جیانگ^۲، ۲۰۱۰؛ ژانگ^۳، ۲۰۰۷). یکی از ابزارهای عالی برای بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی گذشته پالینولوژی است که می‌توان با استفاده از آن شرایط محیطی گذشته و دوره‌های مرطوب-خشک و سرد-گرم را بازسازی کرد. مطالعات «بارش گرده معاصر» در زمینه آب و هواشناسی دیرینه کاربرد زیادی دارد (گومز^۴ و همکاران، ۲۰۲۱) و با استفاده از آن می‌توان مقادیر کمی متغیرهای اقلیمی گذشته را بر اساس مطالعات پالینولوژی تعیین کرد.

1 Theron

2 Jiang

3 Zhang

4 Gomes

به دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر شرایط اقلیمی دوره هولوسن، مطالعات گسترده‌ای در سراسر جهان برای شناسایی و درک تغییرات اقلیمی این دوره صورت پذیرفته است. از جمله مطالعات اخیر در ایران در مورد تغییرات اقلیمی هولوسن این موارد هستند:

قربانی (۱۳۹۶) با بررسی تغییرات اقلیمی کواترنر پایانی بیان می‌کند که در دوره‌های یخچالی و یخبندان، سرزمین ایران شرایط سرد و خشکی داشته و بالعکس در دوره‌های بین‌یخچالی و بین‌یخبندان، شرایط گرم و مرطوب تا نسبتاً گرم و مرطوبی حاکم بوده است. نتایج پژوهش **عزیزی و داودی، ۱۳۹۸**، **سبک خیز و همکاران، ۱۳۹۸**، **صفایی راد و همکاران، ۱۳۹۷** نیز تأیید کننده این مورد است. **داودی و همکاران (۱۳۹۳)** و **عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲** با بررسی‌های پالینولوژیکی به کاهش رطوبت در دوره‌های سرد و افزایش آن در دوره‌های گرم اشاره می‌کنند (**داودی، ۱۳۹۳**). مطالعات خارجی در مورد تغییرات اقلیمی ایران نیز نتایج مشابهی دارد. نتایج این مطالعات نیز از اقلیم ایران نشان داد که اقلیم ایران در اواخر هولوسن خشک‌تر از اواسط هولوسن، در دوره‌های سرد دارای رطوبت کمتری بوده و اواسط هولوسن رطوبت بیشتری نسبت به شروع هولوسن و اواخر آن داشته است (**جونز^۱ و همکاران، ۲۰۱۳**؛ **اشمیت^۲ و همکاران، ۲۰۱۰**؛ **کهل^۳، ۲۰۰۹**؛ **اندرو^۴ و همکاران، ۲۰۲۰**؛ **طالبی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶**).

اما در مورد بارش گرده معاصر و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی کار چندانی در ایران انجام نشده است و می‌توان به **کار مردای مقدم و همکاران، ۱۳۹۹** اشاره کرد که با استفاده از گرده‌های فسیل دریاچه زریبار و استفاده از تکنیک بارش گرده معاصر دما و بارش دوره پلیستوسن را بازسازی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که در این دوره دما ۵-۴ درجه سلسیوس سردتر و بارش ۲۰٪ کمتر از شرایط امروز بوده است. اما در دنیا این نوع مطالعات رواج زیادی داشته که از آن جمله به این موارد می‌توان اشاره کرد:

مطالعه شن^۶ و همکاران ۲۰۰۶ در فلات تبت نشان داد که بارش سالانه و دمای جولای متغیرهای اصلی کنترل کننده بارش گرده‌های معاصر در منطقه هستند. **هوئیوان^۷ و همکاران ۲۰۱۱** با استفاده از برداشت ۱۲۰۲ نمونه سطحی از ارتفاع ۱۰ تا ۵۵۰۰ متری، متغیرهای اقلیمی هولوسن را در فلات قینقاي-تبت^۸ بازسازی کردند و **چنگ^۹ و همکاران، ۲۰۲۰** نیز با برداشت ۸۴ نمونه سطحی در شبه‌جزیره مالای^{۱۰} و بررسی بارش گرده معاصر به وجود ارتباط قوی بین عناصر محیطی با جوامع گیاهی اشاره کردند.

1 Jones

2 Schmidt

3 Kehl

4 Andrew

5 Talebi

6 Shen

7 Houyuan

8 Qinghai-Tibetan Plateau

9 Cheng

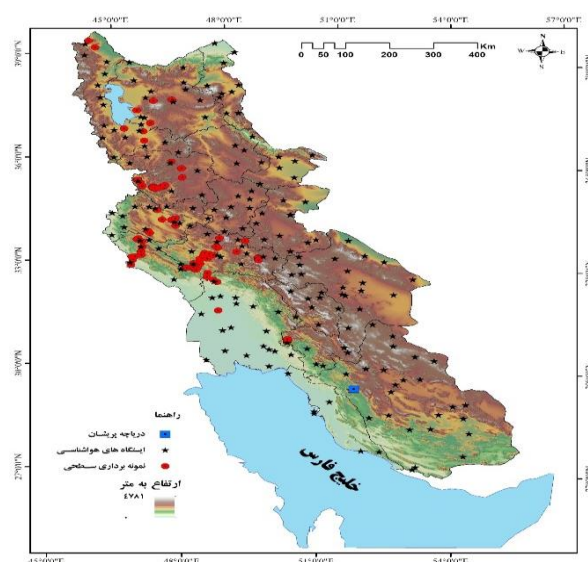
10 Malay

شناسایی ارتباط بین اجتماع‌های گرده‌های نمونه‌های سطحی و نوسانات متغیرهای اقلیمی در مرحله اول و بازسازی متغیرهای اقلیمی هولوسن با استفاده از گرده‌های فسیل دریاچه پریشان و ارتباط آن با نمونه‌های معاصر در مرحله دوم از اهداف این پژوهش است.

۳- مواد و روش تحقیق

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

پهنه رویشی زاگرس وسیع‌ترین و اصلی‌ترین رویشگاه گونه‌های مختلف بلوط در ایران بوده و به همین دلیل این منطقه از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است. جنگل‌های زاگرس با گستردگی در ۱۱ استان کشور با ۵ میلیون هکتار مساحت، ۴۰ درصد جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۳). بارندگی این ناحیه در ایستگاه‌های موجود از ۶۰۰ میلی‌متر در قسمت‌های شمالی تا ۳۰۰ میلی‌متر در جنوب غرب در نوسان است. اقلیم جنوب غرب ایران بیشتر تحت تأثیر سه عامل بارش، دما و رطوبت نسبی است که می‌توان از بارش به عنوان اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار نام برد. بر اساس نوع اقلیم این منطقه را می‌توان به سه ناحیه تقسیم‌بندی کرد: اول ناحیه گرم و مرطوب که بخش‌های زیادی از استان بوشهر و خوزستان را در بر می‌گیرد و شامل سواحل خلیج فارس است؛ دوم ناحیه گرم و خشک و کم بارش که بخش‌های زیادی از استان فارس در این محدوده جای می‌گیرد و ناحیه سوم سرد و پربارش که شمال ارتفاعات زاگرس (ارتفاعات استان چهارمحال و بختیاری، ایلام، لرستان و کهگیلویه و بویراحمد) را شامل می‌شود (نظری پور و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه همراه با نمونه‌های سطحی و فسیل برداشت شده و ایستگاه‌های هواشناسی

۳-۲- جمع‌آوری و شمارش گرده‌های نمونه‌های سطحی

برای انجام تحلیل بارش گرده معاصر ابتدا نیاز به برداشت نمونه‌های سطحی است که در این پژوهش تعداد ۶۰ نمونه سطحی از منطقه مورد مطالعه از ارتفاعات پایین تا ارتفاعات بالا برداشت شد. با هدف افزایش تعداد نمونه‌های سطحی و افزایش دقت کار، نمونه‌های برداشت شده رایت و همکارانش در سال ۱۹۶۷ نیز به این داده‌ها اضافه شد؛ در نهایت تعداد ۱۲۰ نمونه سطحی برای انجام تحلیل گرده معاصر استفاده شد (شکل ۱).

برداشت نمونه‌های سطحی از استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان، ایلام و کردستان انجام شد. برداشت نمونه‌های سطحی بدین روش انجام شد که پس از انتخاب محدوده‌های ۱۰*۱۰ متر از ۵ قسمت محدوده‌ها شامل چهارگوشه و وسط آن‌ها نمونه برداشت شد. میزان برداشت این نمونه‌ها ابعاد ۱۵*۱۵ سانتی‌متر و به عمق ۱ سانتی‌متر بود که در نهایت از مخلوط کردن ۵ نمونه، نمونه نهایی برای هر محدوده فراهم گردیده و اطلاعات محیطی شامل ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی این محدوده‌ها توسط GPS ثبت شد. برای داشتن آگاهی کلی از وضعیت پوشش گیاهی و گونه‌های موجود در هر نمونه از هر مکان نمونه‌برداری یک عکس گرفته شد. پس از انتقال نمونه‌های سطحی به آزمایشگاه ابتدا با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها خشک شده و پس از کوبیده شدن از الک با مش یک میلی‌متری عبور داده شد (مردای مقدم، ۱۳۹۹). برای تطبیق اطلاعات اقلیمی نمونه‌های گرده‌ای معاصر به نمونه‌های فسیل دریاچه پریشان ابتدا باید مقادیر متغیرهای اقلیمی را برای هر ترکیب گرده‌ای محاسبه کرد. در واقع هر نمونه سطحی حاوی تعدادی گرده خاص است که نوع پوشش گیاهی مکان نمونه‌برداری را نمایان می‌کند؛ با توجه به برداشت نمونه‌های سطحی از ارتفاعات پایین تا ارتفاعات بالای منطقه و نبود ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاعات بالا، از تکنیک‌های رگرسیونی و درونیابی برای تعیین متغیرهای اقلیمی استفاده شد. پس از تعیین متغیرهای اقلیمی در مکان نمونه‌برداری با استفاده از تکنیک‌های نمونه‌برداری در محیط GIS مقادیر دما و بارش برای هر ترکیب گرده‌ای معاصر استخراج شده و سپس این مقادیر به ترکیب‌های گرده‌ای فسیل تعمیم داده شد.

برای شناسایی گرده‌های مغزه از رفرنس‌های معتبر اینترنتی، مقالات و کتاب‌های موجود استفاده شد (وفادار^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ دمسکه^۲، ۲۰۱۳؛ روییک^۳، ۲۰۰۳؛ حسه^۴ و همکاران، ۲۰۰۹؛ و سایت گرده‌شناسی استرالیا، آریزونا و سان فرانسیسکو، داودی و همکاران، ۱۳۹۴). درمجموع برای نمونه‌های سطحی برداشت شده و نمونه‌های رایت^۵ و همکاران (۱۹۶۷) تعداد ۵۸ نوع گرده شناسایی و شمارش شد.

1 Vafadar
2 Vafadar
3 Roubik
4 Hesse
5 Wright

۳-۳- روش مورد استفاده برای بازسازی کمی متغیرهای اقلیمی

برای بازسازی متغیرهای اقلیمی در این مطالعه از روش MAT^1 در نرم افزار PAST به عنوان تابع انتقال محیطی استفاده شد. این روشی برای بازسازی متغیرهای محیطی گذشته با استفاده از تجمع گیاهان و جانوران است. در واقع این روش بین اجتماع جانداران نمونه‌های سطحی به دنبال نمونه‌هایی است که کمترین مقادیر عدم تشابه را با گرده نمونه فسیل داشته باشد. سپس میانگین متغیرهای محیطی وابسته به این «نمونه‌های جدید» را به نمونه گرده فسیل نسبت می‌دهد (بارتلین^۲ و همکاران، ۲۰۱۱).

در فرایند تحلیل روش MAT بلید اثر ارتباط خطی بین متغیرهای محیطی را از بین برد که برای این کار از عامل تورم واریانس (VIF^3) کمک گرفته شد. چنانچه VIF بین دو متغیر بالاتر از ۱۰ باشد، نشان دهنده ارتباط خطی بین آن دو متغیر است؛ بنابراین یکی از آن‌ها در تحلیل‌ها حذف می‌شود (مرادی مقدم، ۱۳۹۹). نتایج VIF نشان داد بین دمای سالیانه و دمای تابستان و زمستان ارتباط خطی قوی وجود دارد؛ از این رو تنها دمای سالیانه در تحلیل‌ها استفاده شد. همچنین ارتباط بالای بین بارش سالیانه و بارش فصل زمستان باعث شد که در متغیر بارش نیز فقط از بارش سالیانه و بارش بهار برای بازسازی متغیر بارش گذشته در نمونه‌های فسیل دریاچه پریشان استفاده شود (جدول ۱).

جدول ۱- عامل تورم واریانس بین ۸ متغیر محیطی

	ELV	MAT	MST	MWT	MAP	MWP	MSP	MSPP
ELV	۱	*	*	*	*	*	*	*
MAT	۶/۹۳	۱	*	*	*	*	*	*
MST	۸/۱۳	۸۵۳/۳۷	۱	*	*	*	*	*
MWT	۵/۵۸	۱۴۰/۹۳	۱۴۰/۹۳	۱	*	*	*	*
MAP	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۵	۱	*	*	*
MWP	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۱۱/۹	۱	*	*
MSP	۱/۱	۱/۱۸	۱/۱	۱/۱۸	۱/۰۳	۱/۱	۱	*
MSPP	۱/۰۹	۱	۱	۱/۲۵	۲/۱۵	۱/۵۳	۱	۱

1 modern analog technique

2 Bartlein

3 variance inflation factors

۳-۴- سن سنجی

برای سن سنجی مغزه رسوبی دریاچه پریشان از روش رادیوکربنی^۱ ۱۴ استفاده شد. بدین صورت که چهار نمونه از اعماق ۱۶۵، ۴۰۰، ۷۰۰ و ۸۴۵ سانتیمتری برداشت و به آزمایشگاه تعیین سن رادیوکربنی میامی^۲ آمریکا ارسال و سن این نمونه‌ها به صورت کالیبره شده دریافت شد. با توجه به نرخ رسوبگذاری متفاوت در دوره‌های مختلف سرد و گرم در دریاچه پریشان، روش‌های آماری مختلف برای تخمین سن مغزه بر اساس چهار نمونه سن سنجی شده امتحان شده و در نهایت از روش‌های کمترین مربعات و رگرسیونی با استفاده از چند جمله‌ای درجه سوم داده‌های سن سنجی به کل مغزه رسوبی تعمیم داده شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تعیین شرایط اقلیمی

بعد از انجام کارهای آزمایشگاهی و شمارش گرده‌ها، ترکیب گرده‌ای هر محدوده تعیین شد. این ترکیب‌های گرده‌ای که معرف نوع پوشش گیاهی آن منطقه است، هر کدام در شرایط آب‌وهوایی متفاوتی ایجاد شده است. از این رو برای درک شرایط آب‌وهوایی هر ترکیب گرده‌ای لازم است تا میزان متغیرهای آب‌وهوایی در محدوده مناطق نمونه‌برداری شده را داشته باشیم. از آنجا که مقادیر هواشناسی به صورت نقطه‌ای ثبت می‌شود و معمولاً در ارتفاعات بالا نیز ایستگاه‌های هواشناسی نداریم، برای رسیدن به این هدف باید از روش‌های رگرسیونی و درونیابی استفاده کنیم. در این راستا از تعداد ۱۹۵ ایستگاه هواشناسی با طول آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ استفاده شد (شکل ۱).

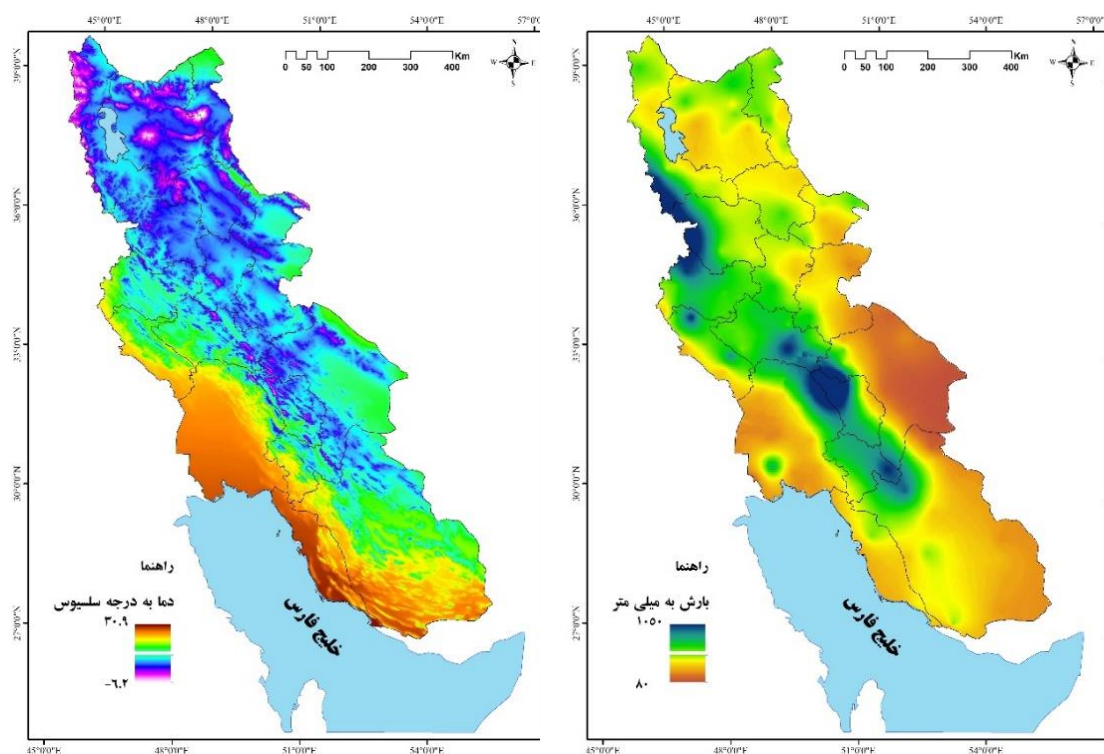
برای بررسی وجود ارتباط بین فاکتورهای ارتفاع و عرض جغرافیایی بر دما و بارش منطقه از مدل رگرسیونی خطی استفاده شد. نتایج مدل رگرسیون خطی برای دما معنادار بود به گونه‌ای که ضریب تعیین برای هر سه حالت دمای سالانه، دمای تابستان و زمستان بالای ۹۰٪ بود که نشان می‌دهد مدل برازش خوبی داشته و حداقل ۹۰٪ تغییرات دما توسط ارتفاع و عرض جغرافیایی توجیه می‌شود. همچنین میزان P-value نیز کمتر از ۰.۰۵ بود (جدول ۲) که نشان دهنده وجود همبستگی قوی بین متغیرهای مستقل و وابسته است. اما این مدل برای بارش معنادار نشد و برای ایجاد لایه رستری بارش از روش‌های درونیابی استفاده گردید.

برای درونیابی بارش با توجه به وسعت و توپوگرافی منطقه از روش زمین آمار کریجینگ استفاده شد. بررسی‌های اکتشافی داده‌های بارش نشان داد که این داده نرمال نیستند؛ از این رو از طریق روش لگاریتمی نرمال شد. همچنین بررسی روند داده‌های بارش نشان داد که بارش‌ها دارای روند کاهشی غرب به شرق و روند افزایشی جنوب به شمال هستند؛ بنابراین برای حذف روند در انجام درونیابی نیز از معادله درجه سوم که کمترین میزان خطا را داشت استفاده

1 carbon-14 dating

2 Miami, Florida 33155 USA

شد. در نهایت با انجام تنظیمات مختلف روش کریجینگ تا حد امکان از میزان خطا کاسته شده و لایه بارش درونیایی شد (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه بارش و دمای سالانه منطقه مورد مطالعه

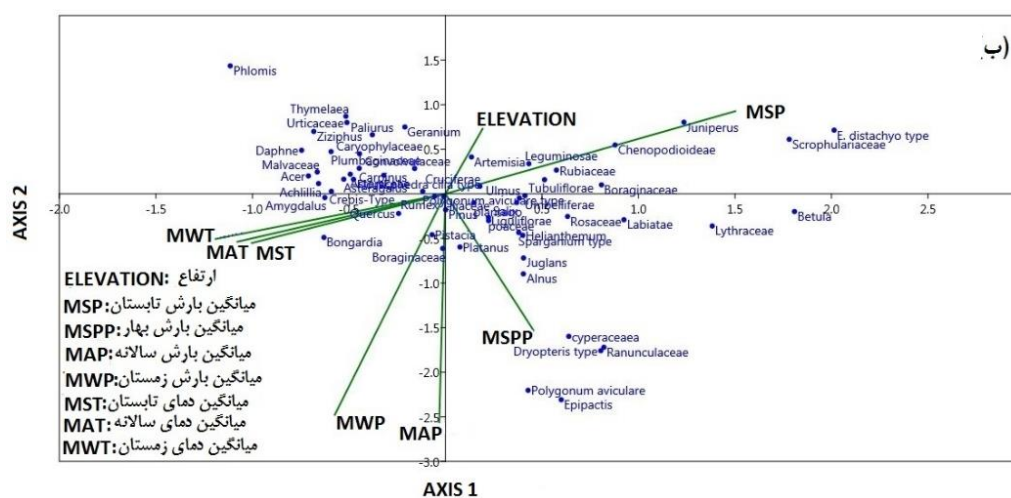
جدول ۲- روابط همبستگی بین دو متغیر ارتفاع و عرض جغرافیایی با دما

ردیف	دوره	R^2	Significance F	P-Value	معادله خط وایزی
۱	سالیانه	۹۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	$Y = -0.9439 * Y_{cordinte} - 0.00557 * elevation + 56.537$
۲	زمستان	۹۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	$Y = -1.067 * Y_{cordinte} - 0.00537 * elevation + 48.677$
۳	تابستان	۹۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	$Y = -0.837 * Y_{cordinte} - 0.00551 * elevation + 64.58$

۴-۲- تحلیل ارتباط بین ترکیب‌های گرده‌ای نمونه‌ها و متغیرهای اقلیمی

در این پژوهش برای مطالعه ارتباط بین ترکیب‌های گرده‌ای با متغیرهای محیطی از تحلیل همبستگی کانونی (CCA) استفاده می‌گردید. نتایج تحلیل نشان داد که دما بیشتر از بارش بر روی گرده‌ها تأثیر داشته است. گرده‌هایی مانند *Quercus*، *Pistacia*، *Artemisia*، *Poaceae* که به مرکز نمودار نزدیک هستند از هر دو عامل دما و بارش تقریباً به‌طور مساوی تأثیر پذیرفته‌اند. *Chenopodiaceae* که در سمت راست و بالا قرار دارد نشان می‌دهد که در شرایط خشک و گرم بهتر رشد می‌کند و *phlomis* که در سمت چپ و بالای نمودار قرار دارد نشان‌دهنده علاقه به شرایط زیستی سرد و خشک در محل رویش است. بارش فصل بهار بر گرده‌های *Juglans*، *Cyperaceae*، *Alnus*، *Platanus* و *Poaceae* تأثیر دارد.

مقادیر ویژه برای دو محور اول CCA برابر با $\lambda_1 = 0.244$ و $\lambda_2 = 0.193$ و همبستگی بین متغیرهای محیطی و گرده‌های گیاهی برای این محورها برابر با (۰/۷۳ و ۰/۷۱۹) است که نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار بین توزیع ۵۸ نوع گرده و ۸ متغیر محیطی است.



شکل ۳- تحلیل همبستگی کانونی (CCA) روابط بین ۵۸ نوع گرده و متغیرهای اقلیمی (Eigenvalues: $\lambda_1=0.285$, $\lambda_2=0.180$).

۴-۳- بازسازی بر اساس توالی گرده‌های فسیل دریاچه پریشان

پریشان یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های آب شیرین ایران در شهرستان کازرون استان فارس واقع شده است که امروزه به علت عوامل مختلف از جمله خشکسالی، حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بیش از حد ظرفیت از آب چاه‌های پیرامون دریاچه (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۵) تقریباً خشک شده و در فصول مختلف میزان آب مختلفی دارد.

این دریاچه بین ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه و ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت آن ۴۳۰۰ هکتار و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۸۲۰ متر است و حوزه آبریز آن ۲۶۶۵ کیلومتر مربع است.

برای بررسی متغیرهای اقلیمی دریاچه پریشان از ایستگاه هواشناسی کازرون استفاده شد. بارش کازرون به‌طور متوسط حدود ۴۴۸ میلی‌متر است که از این مقدار ۴۸ درصد آن در زمستان می‌بارد؛ پاییز با ۳۵ درصد و بهار با ۱۷ درصد بارش سالانه در رتبه‌های بعدی قرار دارند و تابستان تقریباً بارش ندارد. در واقع می‌توان گفت در حال حاضر کازرون در نیمه سرد سال آب‌وهوای مرطوب و در نیمه گرم سال آب‌وهوای خشکی دارد. میانگین دمای سالانه منطقه ۲۳ درجه سلسیوس است که نشان‌دهنده گرم بودن این منطقه است. دمای تیر با میانگین ۳۳/۸ درجه سلسیوس و دی‌ماه با میانگین ۱۱/۲ درجه سلسیوس گرم‌ترین و سردترین ماه هستند. در حالت کلی زمستان با میانگین ۱۳/۶ درجه سلسیوس و تابستان با ۳۲/۵ درجه سلسیوس گرم‌ترین و سردترین فصل‌های کازرون هستند. بر طبق نمودار آمبروترمیک دی، بهمن و آذرماه جزو ماه‌های مرطوب و سایر ماه‌ها خشک هستند (سایت هواشناسی استان فارس). جهت برآزش این داده و بازسازی دما از داده‌های گرده‌های فسیل مغزه برداشت شده از دریاچه پریشان استفاده شد. این مغزه توسط دستگاه مغزه بردار روسی به طول ۸/۵ متر از این دریاچه برداشت شده و طول زمانی ۴۰±۱۰۹۸۰ سال را پوشش می‌دهد. در این نمونه ۳۳ گرده خشکی زی و ۲ گرده آبی شناسایی شد. فراوان‌ترین گرده در این مغزه *Chenopodiaceae* است که ۳۶/۲۱٪ از کل گرده‌های مغزه را تشکیل می‌دهد. بعد از آن *poaceae* با ۲۹٪ و *Quercus* با ۱۲/۴٪ فراوان‌ترین گرده‌های این مغزه را تشکیل می‌دهند. علاوه بر بلوط گرده‌های درختان پسته، بادام و زیتون نیز در این مغزه وجود داشت و گرده‌های غیر فراوان دیگر این مغزه شامل *Apiaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae* و *Centaurea solstitialis* است (داودی، ۱۳۹۳).

نمودار گرده‌های فسیل دریاچه پریشان را از لحاظ ترکیب گرده‌ای می‌توان به ۶ زون تقسیم کرد (شکل ۴). در ابتدای این زون دمای سالانه در حدود دمای امروزی بوده است که افزایش دما بعد از دوره سرد یانگر دریاس را نشان می‌دهد. در زون اول که به ۱۰۳۶۸ تا ۱۰۰۹۷ سال قبل بازمی‌گردد گونه‌های *Chenopodiaceae*, *Artemisia* و *Asteraceae* گونه‌های غالب هستند که این ترکیب گرده‌ای ویژگی اقلیم با بارش ۱۰۰-۳۰۰ میلی‌متر (تاراسوف^۱، ۱۹۸۸) و دوره‌های گرم و خشک (کاپلن^۲، ۲۰۱۳) است که نشان از کم بودن بارش در اوایل هولوسن در منطقه دارد؛ کم بودن گونه‌های درختی در این زمان نیز کمبود بارش را تأیید می‌کند. بازسازی مقادیر دما و بارش نیز تأیید کننده هستند و مقدار بارش حدود ۳۹۰ میلی‌متر و دما حدود ۲۳ درجه سلسیوس بازسازی شده است (شکل ۴ و ۵).

1 Tarasov

2 Kaplan

زون بعدی که تا حدود ۸۰۰۰ سال قبل ادامه پیدا کرده است در ظاهر مشابه با زون قبل است اما وجود گرده‌های درختی (هر چند کم) در این زون قابل توجه بوده و نشان از افزایش بارش و شروع رشد درختان بوده است. چند نشانه در این زون قابل بحث است: ابتدا کاهش مقدار *Chenopodiaceae* و افزایش گونه *Poaceae* که نشان از افزایش بارش در نیمه گرم سال دارد؛ زیرا گندمیان تعرق زیادی داشته و سیستم ریشه‌ای پراکنده و سطحی دارند، بنابراین افزایش آن‌ها نسبت به اسفنجیان نشان از افزایش بارش در نیمه گرم سال دارد (ال موسلیمانی^۱، ۱۹۸۷)؛ دوم گونه‌های *Apiaceae* و *Centaurea* همراه با *Atermisia* که از معرف‌های آب‌وهوای سرد در خاورمیانه هستند (ویک^۲، ۲۰۰۳) بیشترین فراوانی را در این زون دارند که نشان از سرد شدن این دوره نسبت به اوایل هولوسن را دارد و سوم افزایش تدریجی گرده‌های درختی است. مقادیر بازسازی نشان داد که دما در این دوره تا ۱۹ درجه سلسیوس کاهش داشته و بارش بیش از میانگین امروز بوده است و حتی گاهی تا ۷۵۰ میلی‌متر نیز افزایش داشته است. با توجه به افزایش قابل توجه بارش این زون انتظار وجود گرده‌های درختی بیشتری در آن وجود دارد؛ اما ذکر این نکته لازم است که می‌توان این زون را دوره گذر دانست. در واقع منطقه پس از عبور از دوره سرد چند هزار ساله یانگر دریاس و از بین رفتن جنگل‌ها و سپس دوره گرم و خشک اوایل هولوسن برای تشکیل جنگل‌های انبوه به زمان نیاز دارد؛ اتفاقی که در اواخر این زون رخ داده است و میزان گرده‌های بلوط به حدود ۱۲٪ از کل گرده‌های موجود افزایش یافته است. البته این افزایش در سایر گونه‌های درختی رخ نداده است؛ زیرا گونه‌هایی همچون پسته و بادام جزو گیاهان کم گرده نمایان هستند (ال موسلیمانی، ۱۹۸۷) (شکل ۴ و ۵).

در زون بعدی که چیزی در حدود ۴۰۰ سال طول کشیده است دوباره کاهش گونه‌های درختی رخ داده است، به گونه‌ای که بادام حذف شده و مقدار گرده بلوط از ۱۲ به ۶ درصد کاهش پیدا کرده است؛ علاوه بر آن شاهد افزایش شدید گونه *Chenopodiaceae* و کاهش گونه *Poaceae* هستیم که نشان از کم شدن بارش در این زمان است. در این زمان دما تا حدود ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافته و بارش تا ۳۱۶ میلی‌متر کاهش داشته است. به نظر می‌رسد که افزایش ۶ درجه‌ای دما در این دوره باعث افزایش نیاز رطوبتی گیاهان شده و علاوه بر آن کاهش بارش، باعث عقب نشینی دوباره گونه‌های درختی شده است (شکل ۴ و ۵).

زون بعدی از ۷۶۰۰ تا ۵۸۰۰ سال قبل طول کشیده است که بارزترین ویژگی آن تشکیل جنگل‌های انبوه است به گونه‌ای که ۳۴ درصد از پوشش گیاهی این زون را درختان تشکیل می‌دهند که حدود ۲۸ درصد آن بلوط است. همچنان پسته ۲/۹، زیتون ۰/۸ و بادام ۲/۲ درصد از پوشش درختی را این زون تشکیل می‌دهند. در کنار افزایش گونه‌های درختی، گونه *Chenopodiaceae* کاهش داشته است و مقدار گونه *Poaceae* نسبت به زون قبل افزایش داشته است که همه اینها نشان از افزایش بارش در این زمان دارد. خروجی مدل نیز نشان دهنده افزایش بارش تا ۷۰۰

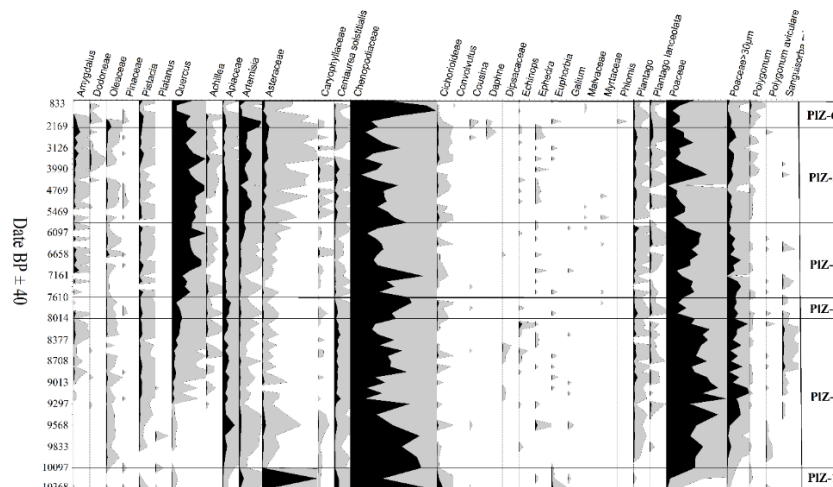
1 El-Moslimany

2 Wick

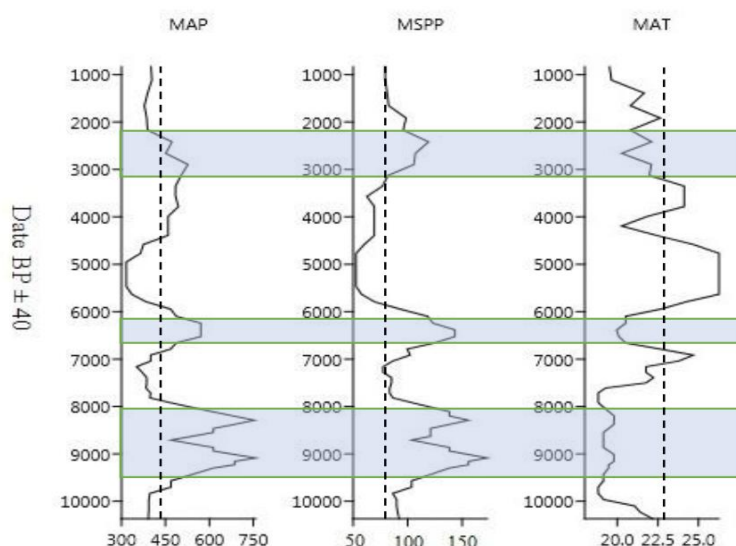
میلی متر است. در این زون نیز مشابه با زون دوم کاهش دما همراه با افزایش بارش بوده است و دما تا ۲۰ درجه سلسیوس کاهش یافته است. در اواخر هولوسن نیز دوباره کاهش دما تا ۲۰ درجه را داریم که با افزایش بارش تا ۶۰۰ میلی متر همراه است (سه ناحیه مشخص شده در شکل ۵) و به نظر می رسد که کاهش دما نه در اندازه یخبندان ولی کاهش ۵-۷ درجه ای دمای میانگین منطقه در افزایش رطوبت مؤثر است.

در زون پنجم گونه های درختی به خصوص جنگل های بلوط به رشد خود ادامه داده اند، ولی یک روند کاهشی در گونه بلوط مشاهده می شود؛ به گونه ای که با وجود اوج ۳۱ درصدی در ۳۸۰۰ سال پیش در ۳۲۰۰ سال پیش مقدار گرده بلوط به ۱۲ درصد کاهش یافته است. این اتفاق همراه با افزایش بادام بوده است و این گونه با ۲/۸ درصد بیشترین مقدار را در کل مغزه در این زون دارد. در میان گرده های علفی *Chenopodiaceae* مشابه زون قبلی است ولی *Artemisia* و *Asteraceae* دوباره اوج گرفته و افزایش یافته اند. در اوایل این زون که ۵۸۰۰ تا ۲۲۰۰ سال قبل را در بر می گیرد، دما به حدود ۲۶ درجه سلسیوس رسیده است که ۳ درجه بیشتر از میانگین امروز است و همراه با کاهش بارش تا حدود ۳۰۰ میلی متر بوده است؛ اما در اواخر این زون کاهش دما به حدود ۲۱ درجه همراه با افزایش بارش تا ۶۰۰ میلی متر را شاهد هستیم. از این رو نوسانات زیاد بارش و دما باعث ایجاد حالت نوسانی در پوشش درختی به خصوص گونه بلوط شده است (شکل ۴ و ۵).

از ۲۲۰۰ سال پیش به بعد دوباره شاهد اوج گرفتن *Chenopodiaceae* هستیم که در کنار مقادیر زیاد گرده *Artemisia* و *Asteraceae* نشانه هایی از کم شدن بارش دارند به خصوص که همراه با کاهش محسوس گونه بلوط بوده است. نتایج مدل MAT نیز از کاهش بارش تا حدود ۴۰۰ میلی متر در این زون خبر می دهد. کمبود بلوط را گونه های درختی دیگر جبران کرده اند؛ به گونه ای که پسته و زیتون در این زون به حداکثر مقدار می رسند و پسته ۵/۸٪، زیتون ۲٪ و بادام ۲/۵٪ گونه های درختی این زون را تشکیل می دهند که تأیید کنند کاهش رطوبت است. اما یک تفاوت آشکار بین این زون با کل زون های قبلی وجود دارد و آن هم عدم افزایش بارش با کاهش دما است. در تمامی مغزه یک رابطه معکوس بین دما و بارش وجود داشت (شکل ۵) و کاهش دما همراه با افزایش قابل توجه بارش بوده است. در اوایل این زون دما حول و حوش میانگین امروز نوسان داشته و در اواخر آن به ۲۰ درجه کاهش یافته است ولی مقدار بارش کمی زیر میانگین امروز است. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به خشک شدن دریاچه پریشان در سال های اخیر، رسوبات سطحی این دریاچه در معرض هوا قرار گرفته و حالت پفکی و ریزشی داشته است. از این رو امکان اکسیداسیون گرده ها و وجود اشتباه در نمونه های سطحی این بخش طبیعی است. این دلیل قطعی نبوده و فقط یک فرض محسوب می شود که مطالعات دقیق در آینده می تواند آن را تأیید یا رد کند.



شکل ۴- نمودار گرده فسیل دریاچه پریشان (داودی، ۱۳۹۳)



شکل ۵- متغیرهای اقلیمی بازسازی شده برای 10368 ± 40 تا 833 ± 40 سال اخیر براساس گرده‌های فسیل دریاچه پریشان در جنوب غرب ایران (برای هموار شدن نمودارها، از داده‌ها میانگین متحرک گرفته شده است). دمای میانگین سالانه به درجه سلسیوس (MAT)، بارش میانگین سالانه به میلی‌متر (MAP) و بارش میانگین فصل بهار به میلی‌متر (MSPP). خط‌چین‌های عمودی مقادیر میانگین داده‌های هواشناسی دوره کنونی در ایستگاه هواشناسی کازرون را نشان می‌دهد (نمودارها بر اساس مقادیر میانگین متحرک ترسیم شده‌اند).

۵- بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بازسازی متغیرهای اقلیمی جنوب غرب ایران در دوره هولوسن بر اساس روش تکنیک «بارش گرده معاصر» بود. از این رو ابتدا ارتباط بین ترکیب گرده‌های معاصر و متغیرهای اقلیمی شناسایی شد. بررسی متغیرهای دما نشان داد که سه متغیر محیطی دمای سالانه، دمای زمستان و دمای تابستان کاملاً در ارتباط با همدیگرند؛ زیرا در نمودارهای رج‌بندی زاویه بسیار کمی بین این متغیرها وجود دارد و تقریباً بر هم منطبق شده‌اند. متغیرهای دما نقش تعیین‌کننده‌ای در ترکیب گرده‌ای نمونه‌های جنگل‌های بلوط و حاشیه داخلی و خارجی جنگل‌های بلوط دارند. بارش فصل تابستان در جهت مخالف متغیرهای دما است و همبستگی منفی با این متغیرها دارد. نمونه‌های شمال غرب ایران (که از استپ‌های فلات ایران و حاشیه داخلی جنگل‌های بلوط برداشت شده است) با بارش تابستان هم‌راستا هستند که نشان از تأثیر بارش تابستانه بر پوشش گیاهی این منطقه است؛ درحالی‌که به خاطر بارش کم عرض‌های جنوبی‌تر در تابستان، این مؤلفه در پوشش گیاهی آن‌ها تأثیر چندانی ندارد. بی‌شک مؤلفه ارتفاع نیز با کاهش دما تأثیر زیادی بر پوشش گیاهی دارد؛ اما به خاطر برداشت نمونه‌های این پژوهش از عرض‌های پایین تا بالا و روند کاهشی دما در این راستا، در خروجی‌ها نقش ارتفاع کم‌رنگ جلوه داده شده است؛ درحالی‌که این‌گونه نیست.

در ادامه به بررسی ارتباط بین گرده‌ها و عناصر اقلیمی پرداخته شده و نوع واکنش آن‌ها به متغیرهای اقلیمی تعیین شد. برای نمونه نتایج نشان داد که دما بیشتر از بارش بر روی گرده‌ها تأثیر داشته است. گونه‌هایی مانند *Quercus*، *Pistacia*، *Artemisia* و *Poaceae* از هر دو عامل دما و بارش تقریباً به‌طور مساوی تأثیر پذیرفته‌اند. گونه‌هایی همانند *Chenopodiaceae* و *Juniperus* در شرایط خشک و گرم بهتر رشد می‌کند و گونه *phlomis* در شرایط زیستی سرد و خشک رشد بهتری دارد.

پیاده‌سازی نتایج تحلیل بارش گرده‌ای معاصر بر روی گرده‌های فسیل دریاچه پریشان نشان داد که از حدود ۱۰ هزار سال قبل در جنوب غرب ایران دما و بارش دارای نوسانات زیادی بوده‌اند. در این زمان بارش بین ۳۱۶ تا ۷۵۰ میلی‌متر نوسان داشته است که در سه مقطع زمانی ۸۰۰۰-۹۵۰۰، ۶۸۰۰-۶۲۰۰ و ۴۵۰۰-۲۲۰۰ سه دوره پر بارش در جنوب غرب ایران بوده است. در تمامی این سه دوره بارش بیش از میانگین امروز بوده است و حداقل بارش ۵۵۰ و حداکثر ۷۵۰ میلی‌متر بوده است. در تمامی دوره‌های با افزایش بارش دما نیز کاهش داشته است و رابطه معکوس قوی بین آن‌ها وجود دارد و هر قدر میزان کاهش دما بیشتر بوده میزان افزایش بارش نیز بیشتر بوده است. کاهش دما در هولوسن حداقل تا ۱۹ درجه سلسیوس رخ داده و حداکثر نیز تا ۲۶ درجه افزایش داشته است. افزایش دما که مصادف با کاهش میزان بارش نیز هستند در سه دوره رخ داده که شامل اوایل هولوسن تا ۹۵۰۰ سال پیش، ۸۰۰۰-۶۸۰۰ سال قبل، ۶۲۰۰-۴۵۰۰ سال قبل است.

جنوب غرب ایران دارای میانگین دمای بالا است و در مواقع زیادی از سال تحت سیطره پرفشارهای جنب حاره است. به نظر می‌رسد که کاهش ۵ تا ۷ درجه‌ای دما در این منطقه می‌تواند تا حدودی حرکت شمال سوی این پرفشار را کند کرده و باعث افزایش بارش‌های این منطقه شود.

کتابنامه

داودی، محمود؛ ۱۳۹۳. مقایسه اقلیم مناطق شمالی و جنوبی نیمه غربی ایران در دوره هولوسن نمونه موردی: دریاچه پریشان، تالاب هشیلان و دریاچه نئور. رساله دکتری. دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا. استاد راهنما قاسم عزیزی.

<https://noordoc.ir/thesis/60163>. ۲۲۶

داودی، محمود، عزیزی، قاسم، مظفریان، ولی‌الله، صفایی راد، رضا، سلمانی، داود؛ ۱۳۹۴. گرده‌های فسیل دریاچه پریشان از دیدگاه آب و هواشناسی دیرینه. فصلنامه کوآترنری ایران. دوره ۱. شماره ۳. ۲۸۰-

<http://journal.iranqua.ir/article-1-41-fa.html>. ۲۶۵

داودی، محمود، عزیزی، قاسم، مقصودی، مهران؛ ۱۳۹۳. بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال سوم. شماره ۱.

http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77941.html. ۷۹-۶۵

سایت اطلس گرده‌ای آریزونا <http://www.geo.arizona.edu/palynology/polondc1.html>

سایت اطلس گرده و هاگ استرالیا <http://apsa.anu.edu.au>

سایت اطلس گرده‌های سان‌فرانسیسکو

<http://oldweb.geog.berkeley.Edu/ProjectsResources/PollenKey/byFamiliesAll-in-1.html#Typhaceae>

سبک خیز، فاطمه، سیف، عبدالله، رامشت، محمدحسین، جمالی، مرتضی؛ ۱۳۹۸. بازسازی تغییرات اقلیمی دریاچه مهارلو از هولوسن تا عهد حاضر با تأکید بر ردیابی دوره‌های گرم و سرد. فصلنامه کوآترنری ایران. دوره ۵. شماره ۲.

<http://journal.iranqua.ir/article-1-380-fa.html>. ۱۶۱-۱۴۳

شفیعی، مریم، رائینی سرجاز، محمود، غالمی سفیدکوهی، محمدعلی؛ ۱۳۹۵. بررسی اثر برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری پیرامون دریاچه پریشان بر افت تراز آب سطحی و زیرزمینی. پژوهش‌های محیط‌زیست. سال ۷. شماره ۱۴.

http://www.iraneiap.ir/article_45248.html. ۲۴۸-۲۳۷

صالحی، علیرضا، شبیری، سید امیدرضا، میرزایی قره‌لر، محمدرضا؛ ۱۳۹۳. ارزیابی چالش‌های اجرای طرح‌های جنگل‌کاری و غنی‌سازی جنگل از دیدگاه کارشناسان در منطقه بوی‌ر احمد. چهارمین کنگره علوم ترویج و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایران. شهریور ۱۳۹۳. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

<https://www.sid.ir/paper/845512/fa>

صفایی راد، رضا، عزیزی، قاسم، مقصودی، مهران؛ ۱۳۹۷. نقش تغییرات سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوی در تشکیل آب‌وهوای پلیستوسن پسین و هولوسن در زاگرس. *فصلنامه کوآترنری ایران*. دوره ۴. شماره ۳. ۲۷۱-۲۵۳

<https://journal.iranqua.ir/article-1-316-fa.html>

عزیزی، قاسم، اکبری، طیبه، هاشمی، حسین، یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، عباسی جغنا، علی؛ ۱۳۹۲. تحلیل پالینولوژیکی رسوبات دریاچه نئور به‌منظور بازسازی فازهای رطوبتی دیرینه دریاچه نئور در اواخر پلیستوسن و اوایل هولوسن. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. سال ۴۵. شماره ۱. ۲۰-۱.

https://jphgr.ut.ac.ir/mobile/article_30432.html

عزیزی، قاسم، داودی، محمود؛ ۱۳۹۸. تغییرات اقلیمی ایران در دوره هولوسن. *فصلنامه کوآترنری ایران*. دوره ۵. شماره ۱. ۲۵-۱.

<https://journal.iranqua.ir/article-1-352-fa.html>

قربانی، محمد صدیق؛ ۱۳۹۶. تحولات محیطی در کوآترنر پایانی و منشأ دوره‌های بارانی ایران. *فصلنامه کوآترنری ایران*. دوره ۳. شماره ۲. ۱۷۵-۱۸۹.

<https://journal.iranqua.ir/article-1-160-fa.html>

مرادی مقدم، محمدامین؛ ۱۳۹۹. *واکاوی توزیع گرده‌های معاصر برای بازسازی کمی آب‌وهوای دیرینه در منطقه زاگرس*. رساله دکتری. دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران. قاسم عزیزی و احمدرضا محرابیان.

<https://geography.ut.ac.ir/>

مرادی مقدم، محمدامین، عزیزی، قاسم، محرابیان، احمدرضا، خوش‌اخلاق، فرامرزی، شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ ۱۳۹۹. بازسازی کمی آب‌وهوای گذشته بر اساس تعمیم روابط اقلیم — گرده معاصر به روش MAT. *فصلنامه کوآترنری ایران*. دوره ۶. شماره ۱. ۲۲-۱.

https://journal.iranqua.ir/browse.php?a_id=441&sid=1&slc_lang=fa

نظری پور، حمید، دوستکامیان، مهدی، اسدی، آرزو، بیات، علی؛ ۱۳۹۳. ناحیه بندی جنوب و جنوب غرب ایران با رویکرد برنامه‌ریزی منطقه‌ای. *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. سال چهارم. شماره ۱۵. ۱۳۲-۱۱۹

https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_584.html

Andrews, J.E., S.A.Carolin, E.N.Peckover, A.Marca, S.Al-Omari, P.J.Rowe., 2020. Holocene stable isotope record of insolation and rapid climate change in a stalagmite from the Zagros of Iran, *Quaternary Science Reviews*, Volume 241, 106433.

<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106433>

Bartlein, P. J., Harrison, S. P., Brewer, S., Connor, S., Davis, B. A. S., Gajewski, K., Guiot, J., Harrison-Prentice, T. I., Henderson, A., Peyron, O., Prentice, I. C., Scholze, M., Seppa, H., Shuman, B., Sugita, S., Thompson, R. S., Viau, A. E., Williams, J., Wu, H., 2011. "Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis", *Clim Dyn*, 37, 775–802. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-010-0904-1>

Cheng Zhongjing, Chengyu Weng, Swee YeokFoong, Lu Dai., 2020. A study on modern pollen rain and pollen morphology in the tropical western Malay Peninsula and its implications for paleoenvironmental reconstructions in the Sunda region, *Review of Palaeobotany and Palynology* Volume 279, 104236. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104236>

Demske. Dieter, Pavel E. Tarasov, Takeshi Nakagawa, Suigetsu., 2013. Atlas of pollen, spores and further non-pollen palynomorphs recorded in the glacial-interglacial late Quaternary

- sediments of Lake Suigetsu, central Japan, *Quaternary International* 290-29, pp 164-238. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.02.002>
- El-Moslimany, A.P., 1987. The late Pleistocene climates of the Lake Zeribar region (Kurdistan, western Iran) deduced from the ecology and pollen production of non- arboreal vegetation, *vegetation* 72, p. 131-139. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00039834>
- ERRAZO M, BAUERMANN SG, LEIPNITZ IL., 2008. Palinomorfos nao polinicos provenientes de depositos quartenarios do delta do rio Doce, Espirito Santo, Brasil. Parte 1. *Journal of Geoscience* 4(2): 78-87. <https://DOI:10.4013/gaea.20082.04>
- Faegri, K. & Iverson, J., 1975. *Textbook of Pollen Analysis*, Hafner Press, 295 pp. New York. <https://doi.org/10.1002/jqs.3390050310>
- GOMES Bianca T, CORREA Angella MS, BRUNELLI Erika S, BITENCOURT Ana LV., 2021. Modern pollen rain analysis from Itapua State Park (Parque Estadual Itapua), RS, Brazil. *An Acad Bras Cienc* 93:1, e20200392. <https://DOI:10.1590/00013765202120200392>
- Hesse. Michael, Heidemarie. Halbritter, Reinhard. Zetter, Martina. Weber, Ralf. Buchner, Andrea. Frosch-Radivo, Silvia. Ulrich., 2009. *Pollen Terminology An illustrated handbook*, SpringerWienNewYork, 90. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-211-79894-2>
- Houyuan Lu, Naiqin Wu, Kam-biu Liu, Liping Zhu, Xiangdong Yang, Tandong Yao, Quan Li, Xingqi Liu, Caiming Shen, Xiaoqiang Li, Guobang Tong, Hui Jiang, Luo Wang., 2011. Modern pollen distributions in Qinghai-Tibetan Plateau and the development of transfer functions for reconstructing Holocene environmental changes, *Quaternary Science Reviews*, 30, 947-966. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.01.008>
- Jiang, W., Guiot, J., Chu, G., Wu, H., Yuan, B., Hatté, C., Guo, Z., 2010. An improved methodology of the modern analog's technique for palaeoclimate reconstruction in arid and semi-arid regions. *Boreas* 39, 145-153.
- Jones, Matthew, Morteza Djamali, Lora Stevens, Vanessa Heyvaert, Hajar Askari, Dariush Noorollahi, Lloyd Weeks., 2013. Mid Holocene environmental and climatic change in Iran, Environment, ecology, landscape and subsistence, 25-34, In book: *Ancient Iran and its neighbours: Local developments and long-range interactions in the 4th Millennium BC*. Edition: British Institute for Persian Studies Series, Chapter: 1, Publisher: Oxbow books, Editors: Petrie C.A. https://www.researchgate.net/publication/255979111_Mid_Holocene_environmental_and_climatic_change_in_Iran
- Kaplan, Güldem., 2013. Palynological analysis of the Late Pleistocene terrace deposits of Lake Van, eastern Turkey: Reconstruction of paleovegetation and paleoclimate, *Quaternary International* 292, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.10.046>
- Kehl, Martin., 2009. Quaternary climate change in Iran– the state of knowledge, *Erdkunde*, vol 63. No1, pp 1-17. <https://DOI:10.3112/erdkunde.2009.01.01>
- Moore. P. D, Webb. J. A. and Collinson. M. E., 1991. *Pollen Analysis*, Second Edition. Blackwell Scientific Publications, Osney Mead, Oxford, OX2 0EL, England, U.K. <http://lib.modares.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=2283&Field=0&DTC=2>
- Roubik. David Ward., 2003. Pollen and Spores of Barro Colorado Island, La Ciudad de Panam, marzo, 101. <https://DOI:10.2307/4110734>
- Schmidt, Armin, Mark Quigley, Morteza Fattahi, Ghasem Azizi, Mehran Maghsoudi, Hassan Fazeli., 2010. Holocene settlement shifts and palaeoenvironments on the Central Iranian Plateau: investigating linked systems, *The Holocene* 21(4) 583-595. <https://doi.org/10.1177/0959683610385961>

- Shen, Caiming, Kam-biuLiu, LingyuTang, Jonathan T.Overpeck., 2006. Quantitative relationships between modern pollen rain and climate in the Tibetan Plateau, Review of Palaeobotany and Palynology, Volume 140, Issues 1–2, 61-77.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.03.001>
- Talebi, Taravat, Elias Ramezani, Morteza, Djamali, Hamid Alizadeh Ketek Lahijani, Alireza Naqinezhad, Kamaledin Alizadeh, Valérie Andrieu-Ponel., 2016. The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran, Quaternary International, Volume 408, Part A, 40-5.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.070>
- Tarasov, pavel E, Rachid cheddadi, Joel guiot, Sytze bottema, Odile peyron, Jordina belmonte, Vitoria ruiz-sanchez, Fatima saadi, Simon brewer., 1998. A method to determine warm and cool steppe biomes from pollen data; application to the Mediterranean and Kazakhstan regions, journal of quaternary science, 13 (4) 335-344.[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1417](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1417)
- Theron, Roberto., 2006. Visual Knowledge Discovery in Paleoclimatology with Parallel Coordinate, Lecture Notes in Computer Science, Vol 4265, pp.368-372.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/11893318_44
- Vafadar. Mahnaz, Attar. Farideh, Maroofi. Hosein, Mirtadzadini. Mansur., 2010. Pollen morphology of *Amygdalus* L. (Rosaceae) in Iran, Acta societatis botanicorum poloniae, vol 79, no 1, 63-71. <https://DOI:10.5586/asbp.2010.009>
- Wick, Lucia, Gerry, Lemcke, Michael, Sturm., 2003. Evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high – resolution pollen, charcoal, isotope and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey, the Holocene 13, 5. 665-675. <https://doi.org/10.1191/0959683603hl653rp>
- Wright, H.E. Jr., McAndrews, J.H., & Van Zeist, W., 1967. “Modern Pollen Rain in Western Iran, and Its Relation to Plant Geography and Quaternary Vegetational History”, Journal of Ecology, Vol. 55, No. 2, pp. 415-443.
- Zhang, E.L., Jones, R., Bedford, A., Langdon, P., Tang, H.G., 2007. A Chironomid-based salinity inference model from lakes on the Tibetan Plateau. Journal of Paleolimnology 38, 477-491.
<https://DOI:10.1007/s10933-006-9080-z>
- Zohary, M., 1973. Geobotanical Foundations of the Middle East. 2 volumes. Gustav Fischer Verlag.
<https://www.worldcat.org/title/geobotanical-foundations-of-the-middle-east/oclc/641510>



Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset

Seydeh Fatemeh Akhlaghi-Hosseiny^a, Azar Zarrin^{b*}, Abbasali Dadashi-Roudbari^c

^a MSc in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b Associate Professor in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^c Postdoctoral Research Associate in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 5 September 2021

Revised: 7 December 2021

Accepted: 17 December 2021

Abstract

This research was conducted with the aim of investigating the day and night temperatures in Iran. For this purpose, the minimum and maximum temperatures during 40 years (1981-2020) were examined using the AgERA5 dataset. Then, the diurnal temperature range (DTR) was calculated. In order to evaluate the performance of the AgERA5 dataset, the data from 56 meteorological stations and RMSE and R^2 metrics were used, and the Theil-Sen test was used to analyze the average trend. The results of the evaluation of the minimum and maximum temperatures showed that the AgERA5 dataset has high accuracy for temperature estimation. The trend showed that the monthly trend of minimum and maximum temperatures in Iran is increasing. The increasing trend of temperature over time is not constant and its rate varies in different months. However, the increasing trend of temperature during different months of the year is consistent for the two variables of minimum temperature and maximum temperature. In all months, the maximum temperature increase is observed in winter and March. The DTR index in Iran is a minimum of 0.48 and a maximum of 16.6 °C, which occurs in December and July, respectively. The maximum DTR occurs in the interior dry regions and the minimum occurs in northern and northwestern Iran. The maximum increasing trend of minimum and maximum temperatures is in March, which increases by 0.8 °C/decade and 1.2 °C/decade, respectively. In contrast to the maximum temperature, there is a decreasing trend of the minimum and maximum minimum temperature in November, which decreases by -0.1 °C/decade and -0.2 °C/decade, respectively.

Keywords: Temperature Trends, AgERA5, Diurnal Temperature Range (DTR), Iran

* Corresponding author: Azar Zarrin

E-mail: zarrin@um.ac.ir

Tel: + 9805138805287

How to cite this Article: Akhlaghi-Hosseiny, F., Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 189-208.

DOI:10.22067/geoeh.2021.72332.1104



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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



<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72332.1104>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۰۸-۱۸۹

مقاله پژوهشی

بررسی دامنه شبانه‌روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5

سیده فاطمه اخلاقی حسینی - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

آذر زرین^۱ - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

عباسعلی داداشی رودباری - پژوهشگر پسادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۶

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی دمای شبانه‌روزی در ایران انجام شده است. برای این منظور کمینه و بیشینه دما طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) با استفاده از برون‌داد مجموعه داده AgERA5 بررسی و سپس دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) محاسبه گردید. جهت درستی‌سنجی مجموعه داده AgERA5 از داده‌های ۵۶ ایستگاه هواشناسی همدید و سنجه‌های آماری RMSE و R^2 و برای بررسی متوسط روند از آزمون Theil-Sen استفاده گردید. نتایج درستی‌سنجی دمای کمینه و بیشینه نشان داد که مجموعه داده AgERA5 از دقت بالایی برای برآورد دما برخوردار است و روند ماهانه دمای کمینه و بیشینه در ایران افزایشی است. روند افزایش دما در طول زمان ثابت نبوده و در ماه‌های مختلف متفاوت است. باین‌حال روند افزایشی دما طی ماه‌های مختلف سال برای دو متغیر دمای کمینه و دمای بیشینه هماهنگ است. در تمامی ماه‌ها، بیشینه روند افزایشی دما در فصل زمستان و ماه مارس مشاهده می‌شود. شاخص DTR در ایران حداقل ۰/۴۸ و حداکثر ۱۶/۶ درجه سلسیوس است که به ترتیب در ماه‌های دسامبر و ژوئیه اتفاق می‌افتد. بیشینه شاخص DTR در مناطق خشک داخلی و کمینه آن در مناطق شمالی و شمال‌غربی کشور رخ می‌دهد. بیشینه روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه در ماه مارس است که به ترتیب ۰/۸ و ۱/۲ به ازای

Email: zarrin@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۵۱۳۸۸۰۵۲۸۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

اخلاقی حسینی، سیده فاطمه؛ زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۴۰۲. بررسی دامنه شبانه‌روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۲۰۸-۱۸۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72332.1104>

هر دهه افزایش می‌یابد. در مقابل بیشینه روند کاهشی دمای کمینه و بیشینه در ماه نوامبر است که به ترتیب با ۰/۱- و ۰/۲- به ازای هر دهه کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: روند دما، AgERA5، دامنه شبانه‌روزی دما (DTR)، ایران.

۱- مقدمه

دما یک متغیر مهم اقلیمی است که در بیش‌تر مطالعات به دلیل در دسترس بودن داده‌های بلندمدت و پیوسته در تمامی مناطق جغرافیایی جهان مورد توجه قرار گرفته است. همچنین دما با سایر متغیرهای مهم اقلیمی مانند رطوبت هوا، تابش خورشید، سرعت باد، بارش و تبخیر و تعرق رابطه مستقیم یا غیرمستقیم دارد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ به‌طوری‌که وردایی دما می‌تواند نقش کلیدی در وردایی سایر عناصر اقلیمی داشته باشد.

روند افزایشی دما به‌عنوان یک نمود آشکار از گرمایش جهانی است که در سال‌های اخیر مورد بحث و بررسی بسیار بوده است. گرمایش جهانی یک پدیده پیچیده است که در آن عوامل جهانی و محلی به‌گونه‌ای با یکدیگر درهم‌تنیده‌اند که تحلیل آن چندان ساده نیست (گونزالس - هیدالگو و همکاران^۱، ۲۰۲۱). در خصوص وردایی دما، روند افزایشی آن در پژوهش‌های مختلفی در سطح جهانی (رامس‌تورف و همکاران^۲، ۲۰۱۷) و ایران (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۴۰۰) مورد بررسی قرار گرفته است. باین‌حال وردایی دمای سالانه حاصل برهمکنش پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیکی است که در مقیاس‌های زمانی مختلف برای دمای بیشینه و دمای کمینه متفاوت عمل می‌کنند. بررسی کلی از مطالعات انجام شده (گلیکس‌نر و همکاران^۳، ۲۰۲۰؛ نوئل و همکاران^۴، ۲۰۲۱) نشان می‌دهد که تحلیل داده‌های میانگین فصلی یا سالانه برای درک وردایی زمانی-مکانی روندهای دما کافی نیست. در مقابل حتی وقتی که تحلیل‌های دمای کمینه و بیشینه که در مقیاس ماهانه و به‌طور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند، کماکان الگوی مناسبی از وردایی منطقه‌ای دما را ارائه نخواهند داد. در نتیجه، مطالعه‌ای که دامنه شبانه‌روزی دما و دمای کمینه و بیشینه را به‌طور همزمان و با مجموعه داده‌هایی با تفکیک بالا به جهت زمانی-مکانی مطالعه نماید از اهمیت بالایی برای درک الگوهای منطقه‌ای دما و روند آن برخوردار است.

تحقیقات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و محلی نیاز به داده‌هایی با تفکیک افقی بالا دارد. باوجوداین، مجموعه داده‌های اقلیمی اغلب با مشکلات مربوط به کیفیت و همگنی سری مشاهدات و تراکم مکانی کم روبرو هستند (جنیس و همکاران^۵، ۲۰۰۴). راتو و همکاران^۶ (۲۰۱۸) نشان دادند که تفاوت‌های اساسی بین مجموعه داده‌های

1 González-Hidalgo et al

2 Rahmstorf et al

3 Gleixner et al

4 Noël et al

5 Janis et al

6 Rao et al

جهانی وجود دارد که می‌تولند مربوط به تفاوت در تراکم مکانی داده‌های مشاهداتی و روش‌های درونیابی باشد (بگوریا و هوث^۱، ۲۰۰۸). در هر صورت، به عنوان یک قاعده کلی، برون‌داد مجموعه داده‌های بازتحلیل در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی متفاوت است (رائو و همکاران^۲، ۲۰۱۸). مجموعه داده‌های بازتحلیل نقایص شبکه‌های ایستگاه‌های زمینی را عمدتاً به این دلیل که آن‌ها کل سطح زمین پوشش می‌دهند و همچنین از سایر محصولات مانند داده‌های ماهواره‌ای، رادار، لیدار و بویه و جو بالا استفاده می‌کنند، بهبود می‌بخشند. اگرچه هنوز برای درستی سنجی این مجموعه داده‌ها به ایستگاه‌های زمینی نیاز است.

مجموعه داده‌های بازتحلیل و بخصوص ERA5 نقش مهمی در مطالعات اقلیمی دارند که بر همین اساس پژوهش‌های بسیاری از مجموعه داده‌های بازتحلیل استفاده می‌کنند. کارایی مجموعه داده بازتحلیل ERA5 در مطالعات بسیاری در سطح جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش‌های بسیاری (آلبرگل و همکاران^۳، ۲۰۱۸؛ جانسون و همکاران^۴، ۲۰۱۹؛ گلیکس‌نر و همکاران^۵، ۲۰۲۰) دقت بالاتر داده‌های ERA5 را برای متغیرهای دمای (دمای میانگین، کمینه و بیشینه) نسبت به مجموعه داده بازتحلیل نسخه پیشین (ERA-Interim) مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) گزارش دادند. همچنین درستی مجموعه داده ERA5 برای دما در سطح جهانی مورد بررسی و دقت آن در کشورهای اسپانیا (رویه و همکاران^۶، ۲۰۲۰)، ایالات متحده آمریکا (دوترا و همکاران^۷، ۲۰۲۱) و قاره آمریکای شمالی (تانگ و همکاران^۸، ۲۰۲۰) مورد تأیید گرفته است.

در مطالعات اخیر روند افزایشی دما بسیار مورد توجه بوده است. روند افزایشی دما در سطح جهانی با استفاده از داده‌های ERA-Interim در دشت‌های کانادا (بتس و همکاران^۹، ۲۰۱۷) و با استفاده از داده‌های ERA5 در مناطق شمال و شمال شرقی برزیل (کورئا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۰)، چین (بائس^{۱۱}، ۲۰۲۰) و در سطح جهان (کوزوبک و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۰؛ نوئل و همکاران^{۱۳}، ۲۰۲۱) گزارش شده است.

وردایی زمانی-مکانی دما و روند آن در ایران نیز موضوع تحقیقاتی گسترده‌ای بوده است که در پژوهش‌های بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. وردایی دمای ایران با استفاده از داده‌های مختلفی همچون مجموعه داده اسفزاری

1 Beranová & Huth

2 Rao et al

3 Albergel et al

4 Johannsen et al

5 Gleixner et al

6 Royé et al

7 Dutra et al

8 Tang et al

9 Betts & Beljaars

10 Correa et al

11 Byass

12 Kozubek et al

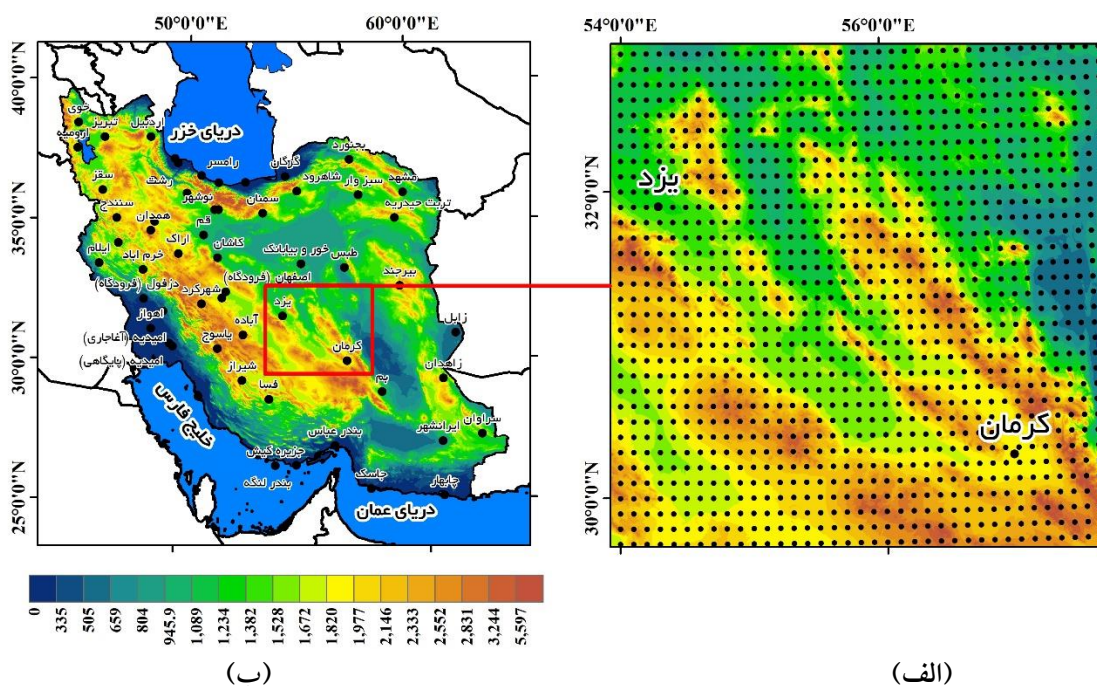
13 Noël et al

(مسعودیان، ۱۳۸۷؛ منتظری، ۱۳۹۳)، ایستگاه‌های هواشناسی همدید (نظری پور و همکاران، ۱۳۹۴) و نسخه ERA Interim مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) انجام شده است. در تمامی این مطالعات بسته به داده مورد استفاده الگوهای دمایی در ایران با تغییرات عرض جغرافیایی و ارتفاع تغییر می‌کنند. در این مطالعات بیشینه دما در مناطق جنوبی و کمینه دما در مناطق کوهستانی و شمال‌غربی ایران گزارش شده‌اند. به همین ترتیب روند دما نیز در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه، مسعودیان (۱۳۸۳) نشان داد که در نیم سده گذشته دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود ۳، ۱ و ۲ درجه در هر صدسال افزایش داشته است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۳) نیز با مطالعه دما در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور نشان دادند که روند افزایشی دما به‌خصوص برای میانگین‌های ماهانه دمای حداقل شبانه مشهودتر بوده است. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) با بررسی روند دمای نسخه ERA Interim از مجموعه داده ECMWF نشان دادند که بیشینه متوسط روند افزایشی دمای کشور مربوط به فصل زمستان و کمینه آن متعلق به فصل پاییز بوده است. جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد به‌رغم آنکه دما و روند وردایی آن در ایران موضوع پژوهشی ویژه‌ای بوده است؛ اما در بیشتر این مطالعات تنها دمای میانگین مورد بررسی قرار گرفته است. هرچند که دمای میانگین در مقیاس‌های ماهانه تا سالانه اطلاعات ارزشمندی را ارائه می‌دهد، اما نگرش صحیحی را از وردایی دمای شبانه‌روزی ارائه نخواهد داد. از سوی دیگر بخش‌های قابل توجهی از کشور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به‌خصوص در مناطق کوهستانی و کویرهای داخلی است که لزوم به‌کارگیری داده‌های شبکه‌ای بیش‌ازپیش احساس می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی درستی متغیر دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 و تحلیل دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) در ایران انجام شده است. بر این اساس، در گام نخست داده‌های دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 درستی سنجی شدند. سپس پراکنش زمانی-مکانی دمای کمینه، بیشینه و دامنه شبانه‌روزی دما در ایران بررسی گردید.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش کشور ایران در جنوب غربی آسیا است (شکل ۱). اقلیم غالب کشور ایران خشک و نیمه‌خشک است؛ اما به جهت گسترش زیاد آن در عرض جغرافیایی و قرارگیری در عرض‌های جنب‌حاره از یکسو، وجود ارتفاعات پهناوری همچون البرز و زاگرس و مجاورت با پهنه‌های آبی همچون دریای خزر، دریای عمان و خلیج فارس از سوی دیگر دارای خرد اقلیم‌های متنوع است. ارتفاعات نقش مهمی در وردایی دمای ایران دارند؛ به‌طوری‌که دو رشته‌کوه البرز و زاگرس به ترتیب در شمال و غرب ایران نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش دما و انباشت برف کشور در دوره سرد سال دارند.



شکل ۱- الف) نقطه شبکه‌های مجموعه داده AgERA5؛ ب) موقعیت جغرافیایی ۵۶ ایستگاه همدید و مدل رقومی ارتفاعی ایران

۲-۲- ایستگاه‌های همدید ایران

برای درستی سنجی برون‌داد دمای مجموعه داده AgERA5 از داده‌های ۵۶ ایستگاه همدید طی دوره آماری بلندمدت ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) استفاده شد (موقعیت این ۵۶ ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است). مبنای انتخاب ایستگاه‌ها کل ایستگاه‌های همدید موجود در کشور برای دوره مذکور بوده است. در این میان چند ایستگاه که غالباً مجموعه داده‌های نظامی نیروی هوایی می‌باشند (همانند دزفول و امیدیه-پایگاه) به جهت داشتن داده مفقود طولانی‌مدت از کل سری زمانی مورد مطالعه حذف گردیدند. چنانکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود با وجود انتخاب حداکثر ایستگاه‌های در دسترس، کماکان بیش‌تر مناطق کشور شامل کویرهای داخلی و مناطق مرتفع کوهستانی فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. مرتفع‌ترین ایستگاه موجود شهرکرد با ۲۰۴۸/۹ متر از سطح دریا است و مناطق بالاتر از آن در دوره آماری یاد شده فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. لذا بررسی تغییرات شبانه‌روزی دمای ایران با این تعداد از ایستگاه‌ها به جهت جغرافیایی نمی‌تواند درک درستی از وضعیت دمای کشور ارائه دهد. بر این اساس از داده‌های ۵۶ ایستگاه همدید فقط برای درستی سنجی داده‌های AgERA5 استفاده گردید.

۲-۳- مجموعه داده مدل جوی عملیاتی با تفکیک افقی بالا (ECMWF-AgERA5)

مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) در نسخه ERA5 پیشرفت‌های زیادی داشته است که بر این اساس جامعه علمی را با چالش «داده بزرگ Big Data» روبرو کرده است. فضای ذخیره‌سازی داده‌های ERA5 در مقایسه با ERA-INTRIM، افزایش تقریباً ۸۰ برابری را نشان می‌دهد (هوفمن و همکاران^۱، ۲۰۱۹). با توجه به افزایش چشمگیر منابع مورد نیاز برای کار با مجموعه داده‌های جدید ERA5، بررسی درستی آن برای برآورد متغیرهای اقلیمی بسیار مهم است.

در این پژوهش نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) برای بررسی وردایی شبانه‌روزی دمای ایران استفاده شده است. به غیر از دو متغیر دمای کمینه و دمای بیشینه که برون‌داد مستقیم این مجموعه داده هستند، شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) نیز محاسبه و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. این مجموعه داده، داده‌های روزانه هواشناسی سطح زمین را از ۱۹۷۹ تاکنون به‌عنوان یک ورودی مورد اطمینان برای مطالعات کشاورزی و آگرواکولوژی ارائه می‌دهد. این مجموعه داده بر اساس داده‌های ساعتی ECMWF-ERA5 (هرسباخ و همکاران^۲، ۲۰۲۰) برای متغیرهای سطح زمین توسعه داده شده است و به‌عنوان AgERA5 نامیده می‌شود. از آنجایی که پیش‌پردازش داده‌های اصلی ERA5 یک کار پیچیده و تخصصی است با ارائه مجموعه داده AgERA5، کاربران می‌توانند مستقیماً از داده‌های قابل اعتماد برای تجزیه و تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی‌ها استفاده کنند. داده‌های AgERA5 با گام زمانی روزانه و با تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی (۹ کیلومتر بر اساس سیستم تصویر بکار گرفته شده) با یک توپوگرافی دقیق تصحیح شده‌اند. تصحیح داده‌ها برای هر یک از نقطه شبکه‌ها بر اساس معادلات رگرسیونی مجموعه داده مبنای ERA5 انجام شده است. این معادلات بر روی مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES)، با تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی آموزش داده شده‌اند (ایهارد و همکاران^۳، ۲۰۱۸). به این ترتیب داده‌های AgERA5 با توپوگرافی، کاربری اراضی و خط ساحلی دقیق‌تر برای مدل ECMWF-HRES تنظیم شدند که نسبت به داده‌های اولیه ERA5 که دارای تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی هستند، از دقت بالاتری برخوردارند (یو و همکاران^۴، ۲۰۲۱).

۲-۴- سنجه‌های آماری مورد استفاده جهت درستی سنجی

برای درستی سنجی برون‌داد دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 از دو سنجه آماری RMSE و R^2 استفاده شد (جدول ۱).

1 Hoffmann et al

2 Hersbach et al

3 Ehard et al

4 Yu et al

جدول ۱- سنج‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

سنج آماری	نحوه محاسبه آماره
مجدور میانگین مربعات خطا (RMSE)	$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2}$
ضریب تعیین (R^2)	$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}$

در رابطه، RMSE، $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در X_i ، $Z(X_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در X_i ، تعداد کل داده‌های مشاهده‌ای است. در رابطه (R^2) مقدار شبیه‌سازی شده (مجموعه داده AgERA5) و O_i مقدار مشاهداتی (ایستگاه‌های همدید) است.

۲-۵- آزمون شیب روند

شیب روند سری زمانی دمای کمینه و بیشینه ایران با استفاده از برآوردگر شیب خط ناپارامتری Theil-Sen محاسبه شد (رابطه ۱).

$$\beta = \text{median} \left(\frac{X_i - X_j}{i - j} \right), \forall j < i \quad (1)$$

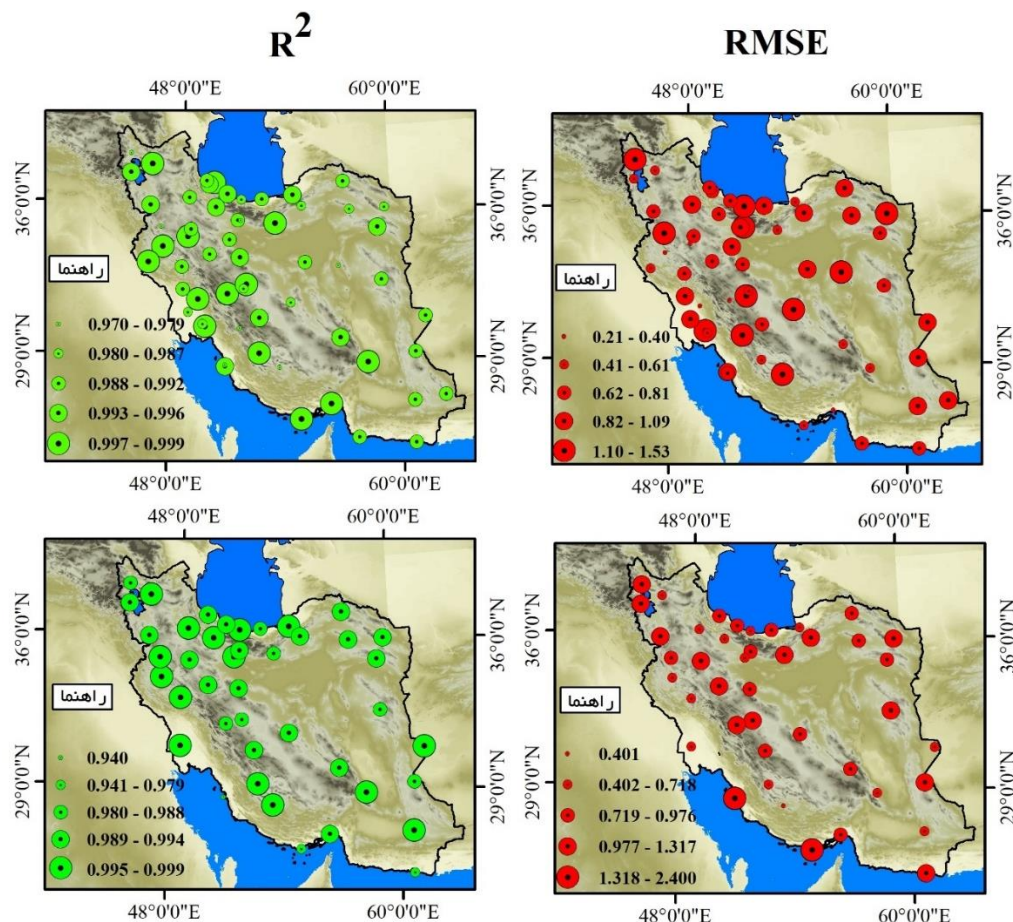
در رابطه فوق، $1 < j < i < n$ برآورد کننده شیب خط است و β میانه برای کل مجموعه داده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- درستی سنجی دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 در ایران

برای درستی سنجی برون داد مجموعه داده AgERA5 از ۵۶ ایستگاه همدید کشور طی دوره آماری بلندمدت ۱۹۸۱ الی ۲۰۲۰ با استفاده از دو سنجی آماری مجموع مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده برون داد دمای کمینه و بیشینه پایگاه AgERA5 برای دمای ایران برآورد مناسبی دارد (شکل ۲). مطابق با شکل (۲)، ضریب تعیین برای تمامی ایستگاه‌ها بیش از ۰/۹۸ است. این امر نشان می‌دهد که برون داد دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 می‌تواند بیش از ۹۸ درصد از وردایی شبانه‌روزی دمای مشاهداتی را تبیین نماید. مقدار سنج RMSE در بین ایستگاه‌ها از ۰/۲۱ در بندرانزلی تا ۱/۵۳ در ایستگاه شهرکرد متغیر است. بررسی سنج RMSE نشان می‌دهد که AgERA5 در برآورد دمای کمینه ایستگاه‌های مناطق کوهستانی و مرتفع (نظیر شهرکرد) از دقت کمتری برخوردار است که سه عامل مهم در آن نقش دارند: ۱- چنانکه در بخش داده و روش به آن اشاره شد مرتفع‌ترین ایستگاه هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش ایستگاه شهرکرد با ۲۰۴۸/۹ متر ارتفاع از

سطح دریا است و بالاتر از این ارتفاع برای دوره زمانی نامبرده ایستگاهی در دسترس نیست. ۲- توپوگرافی پیچیده و ۳- فاصله ایستگاه‌ها تا نزدیک‌ترین نقطه شبکه مجموعه داده AgERA5. بدیهی است موقعیت جغرافیایی نقطه شبکه در ارتفاع بالاتر/پایین‌تر نسبت به ایستگاه قرار دارد و از این رو اختلاف دمای بین ایستگاه و نقطه شبکه داده‌های بازتحلیل باعث افزایش خطا به شکل غیرواقعی می‌شود؛ اما در مقابل مجموعه داده AgERA5 در برآورد دمای بیشینه در مناطق خشک داخلی مانند سمنان و مناطق ساحلی شمال ایران مانند بندر انزلی از دقت بالاتری برخوردار است. در یک نگاه کلی مجموعه داده AgERA5 در برآورد دمای بیشینه ۲۰ درصد نسبت به دمای کمینه از دقت بالاتری برخوردار است. دقت کمتر دمای کمینه به‌ویژه در محدوده‌های شهری بزرگ مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر تهران، مشهد، یزد، اصفهان، بوشهر و شاهرود را می‌توان با نتایج برومویچ و همکاران^۱ (۲۰۱۲) مبنی بر وجود اشکالاتی در پارامترسازی ابرها، تابش موج بلند و لایه آمیخته متلاطم در مدل ECMWF توجیه کرد. نتایج بررسی سنج RMSE نشان می‌دهد که دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 به ترتیب در ۷۷/۵۸ و ۹۷/۲۷ درصد از ایستگاه‌ها خطایی کمتر از ۱ درجه سلسیوس دارد. لذا روی هم‌رفته می‌توان نتیجه گرفت که نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) دقت لازم را در برآورد دمای کمینه و بیشینه در ایران دارد.



شکل ۲- سنج‌های آماری درستی سنجی دمای کمینه و بیشینه در ایران بر اساس برونداد مجموعه داده

AgERA5

۲-۳- میانگین دمای ماهانه و روند آن در ایران

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، میانگین دمای کمینه ایران بر اساس داده‌های AgERA5 از ۰/۲۱ درجه سلسیوس در ارتفاعات شمال‌غرب در ماه ژانویه تا ۲۳/۴۱ درجه سلسیوس در کویرهای داخلی و جنوب‌غربی ایران در ماه ژوئیه در نوسان است. میانگین دمای بیشینه ایران نیز بین ۶/۲۱ درجه سلسیوس در ماه ژانویه تا ۳۲/۹۳ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه در مناطق مذکور در نوسان است. بر این اساس ژانویه سردترین و ژوئیه گرم‌ترین ماه ایران است. برای آشکارسازی تغییرات روند دمای ماهانه به ازای هر دهه در ایران، متوسط پهنه‌ای شیب روند دما محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بیشینه و کمینه شیب روند برای دمای بیشینه به ترتیب در ماه‌های مارس و نوامبر به دست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد در سال‌های اخیر اقلیم ایران بخصوص در ماه‌های سرد سال در فصل زمستان گرم‌تر شده و از این رو بر طول دوره گرم افزوده شده است (جدول ۲).

متوسط دمای بیشینه ایران در ماه مارس به ازای هر دهه، $۱/۲۲$ درجه سلسیوس افزایش داشته و متوسط دمای کمینه ایران نیز در همین ماه $۰/۸۲$ درجه سلسیوس به ازای هر دهه افزایش داشته است که بالاترین میزان افزایش دمای ماهانه را در ۴۰ سال گذشته نشان می‌دهد. نوامبر تنها ماهی در ایران است که دمای بیشینه و کمینه آن برای متوسط پهنه کشور روند کاهشی دارد. به‌طوری‌که شیب روند برای دمای بیشینه $۰/۲۱-$ و برای دمای کمینه $۰/۱۵-$ درجه سلسیوس است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت بیشینه افزایش دما و تغییرات آن به ازای هر دهه در طی ۴۰ سال گذشته، در فصل زمستان رخ داده است.

جدول ۲- میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه برای متوسط کشور به همراه شیب روند

ماه	دمای کمینه		دمای بیشینه	
	میانگین	شیب روند	میانگین	شیب روند
ژانویه	$۰/۲۰$	$۰/۴۶$	$۶/۲۱$	$۰/۶۸$
فوریه	$۱/۵۱$	$۰/۷۲$	$۸/۴۴$	$۰/۹۱$
مارس	$۵/۶۴$	$۰/۸۲$	$۱۳/۵۵$	$۱/۲۲$
آوریل	$۱۱/۶۸$	$۰/۳۹$	$۲۰/۱۸$	$۰/۴۲$
مه	$۱۷/۵۷$	$۰/۴۷$	$۲۶/۲۲$	$۰/۴۲$
ژوئن	$۲۱/۷۲$	$۰/۳۸$	$۳۱/۲۱$	$۰/۳۳$
ژوئیه	$۲۳/۴۱$	$۰/۳۱$	$۳۲/۹۳$	$۰/۳۲$
اوت	$۲۱/۹۴$	$۰/۱۶$	$۳۱/۶۵$	$۰/۲۶$
سپتامبر	$۱۷/۸۹$	$۰/۳۳$	$۲۷/۵۴$	$۰/۳۵$
اکتبر	$۱۲/۶۷$	$۰/۵۲$	$۲۱/۰۹$	$۰/۵۵$
نوامبر	$۶/۷۳$	$-۰/۱۵$	$۱۳/۵۱$	$-۰/۲۱$
دسامبر	$۲/۲۴$	$۰/۲۶$	$۸/۰۹$	$۰/۴۹$

۳-۳- پراکنش ماهانه دمای کمینه در ایران مبتنی بر برون‌داد مجموعه داده AgERA5

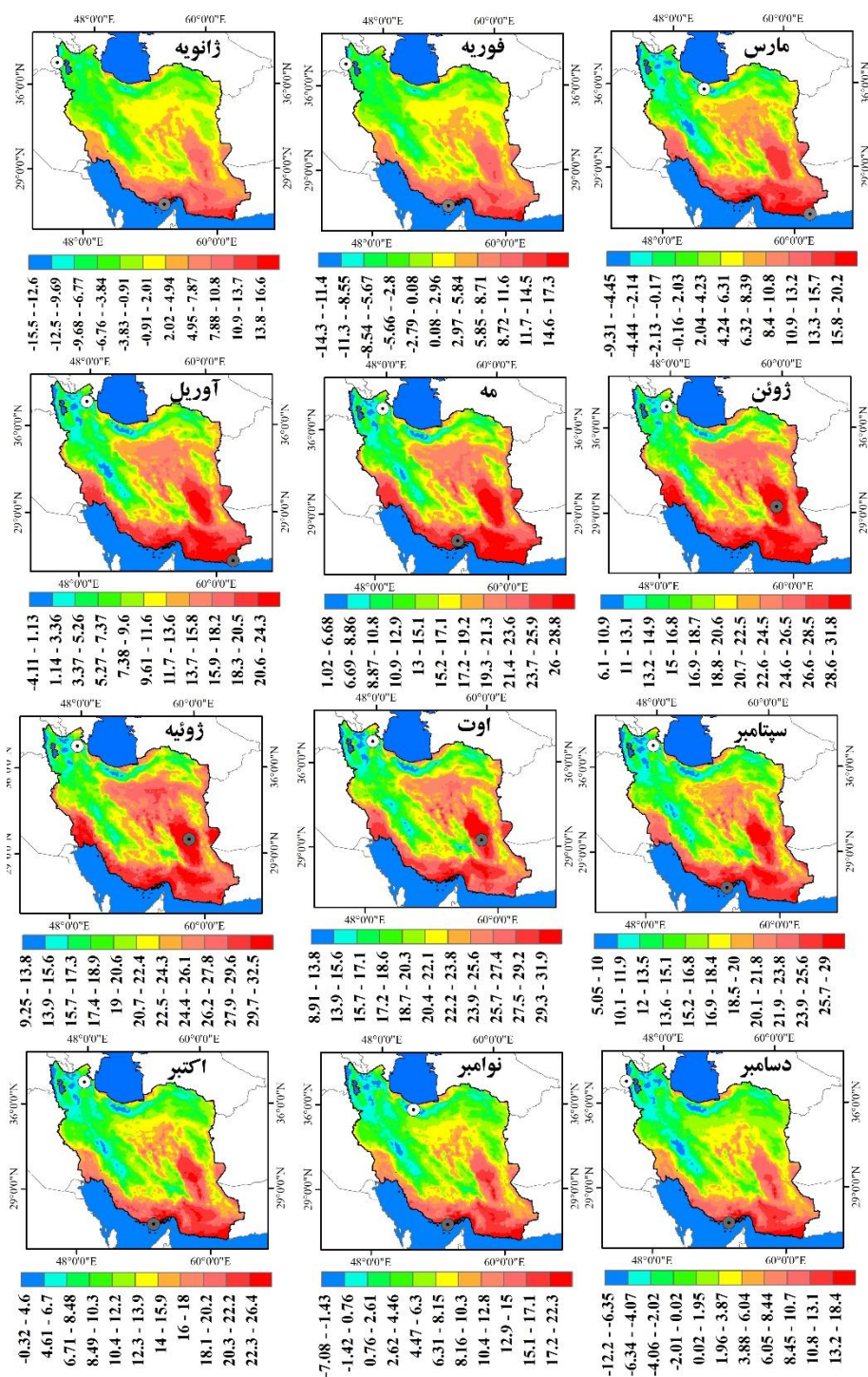
توزیع فضایی دمای کمینه ایران در ماه ژانویه در شکل (۳) نشان داده شده است. در این ماه، بخش‌های قابل توجهی از کوهستان‌های شمال و شمال غرب کشور دمای کمتر از صفر درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند. کمینه دما با $۱۵/۵-$ درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود. دمای کمتر از صفر درجه سلسیوس در دیگر ماه‌های فصل زمستان در ماه فوریه و مارس به ترتیب با حداقل دماهای $۱۴/۳-$ و $۹/۳۱-$ درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز، زاگرس و شمال غرب ایران دیده می‌شود. مناطق ذکر شده همگی در عرض جغرافیایی بالاتر از مدار ۳۰ درجه شمالی قرار گرفته‌اند و از ماکو تا مشهد را در بر می‌گیرند. در مقابل مناطق پایین‌تر از مدار ۳۰ درجه شمالی

دارای دمای کمینه بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس هستند. بیشینه دمای کمینه در ماه‌های فصل زمستان در مارس با مقدار ۲۰/۲ درجه سلسیوس در سواحل مکران و چابهار دیده می‌شود (شکل ۳).

با شروع فصل بهار کمینه دما همچنان در مناطق کوهستانی و در عرض‌های جغرافیایی بالا دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که در ماه آوریل کمینه دما با ۴/۱- درجه سلسیوس در ارتفاعات مازندران و آذربایجان غربی دیده می‌شود. بیش‌ترین مقدار دمای کمینه در پهنه ایران در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن روند افزایشی دارد؛ به‌طوری‌که بیشینه دما از ۲۴/۳ درجه سلسیوس در ماه آوریل به ۳۱/۸ درجه سلسیوس در ماه ژوئن رسیده است که در برگیرنده کل مناطق جنوبی ایران به همراه مناطق خشک ایران مرکزی است. در ماه‌های کمینه بین حداقل ۱/۰۲ تا حداکثر ۲۸/۸ درجه سلسیوس در ایران در تغییر است. با توجه به شکل (۳) کمینه دما علاوه بر مناطق شمال و شمال غرب کشور، ارتفاعات کرمان و خراسان جنوبی را هم تحت سیطره قرار داده است.

پایین‌ترین مقادیر دمای کمینه در فصل تابستان در هیچ منطقه‌ای از ایران به بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس نمی‌رسد. به‌طوری‌که حداقل دمای کمینه در ایران ۹/۲۵، ۸/۹۱ و ۵/۰۵ درجه سلسیوس است که به ترتیب در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر دیده می‌شود. به همین ترتیب بیشینه دمای کمینه در ایران برای ماه‌های فصل تابستان ۲۴/۳، ۳۱/۹ و ۲۹ درجه سلسیوس به دست آمده است. با شروع فصل پاییز حداقل دمای کمینه در تمام مناطق کشور منفی می‌شود. حداقل دمای کمینه از ۰/۳۲- درجه سلسیوس در ماه اکتبر به ۱۲/۲- درجه سلسیوس در ماه دسامبر می‌رسد. کمینه دما عمدتاً در ارتفاعات البرز و زاگرس قابل مشاهده است.

بررسی نقطه شبکه‌هایی با بیشینه مطلق دمای کمینه نشان می‌دهد که ۹ ماه از ۱۲ ماه سال بیشینه دمای کمینه در سواحل جنوبی ایران قرار دارد و تنها در سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت بیشینه دمای کمینه ایران در دشت لوت قرار دارد (شکل ۳). به همین ترتیب نقطه شبکه‌هایی با کمترین دمای کمینه نیز در ۱۰ ماه از سال در شمال‌غرب ایران دیده می‌شوند که در سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه در منطقه مرزی ایران با ترکیه و در دیگر ماه‌ها در منطقه بین سهند و سبلان قرار دارند. مقایسه نتایج به دست آمده برای دمای بیشینه نشان می‌دهد که بیشینه مطلق دمای بیشینه در ۷ ماه از ۱۲ ماه سال در دشت لوت قرار دارد و در پنج ماه دیگر سال در سواحل جنوبی و جنوب‌شرقی کشور دیده می‌شود (شکل ۴). کمینه دمای بیشینه نیز در ۱۱ ماه از سال در البرز مرکزی و اطراف قله دماوند قرار گرفته است که با توجه به ارتفاع زیاد این منطقه در ایران دور انتظار نبوده است. تنها در ماه مه این کانون به شمال‌غربی ایران در منطقه اردبیل تغییر مکان داده است. لذا دشت لوت را می‌توان گرم‌ترین نقطه ایران در طول روز و سواحل جنوبی و جنوب شرقی را نیز گرم‌ترین منطقه ایران در طول شب دانست. درست در نقطه مقابل، سردترین منطقه ایران در طول سال در شب، شمال‌غرب و در روز، البرز مرکزی است.



شکل ۳- توزیع فضایی دمای کمینه ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5 (دایره سفید موقعیت کمینه دما و دایره خاکستری موقعیت بیشینه دما است)

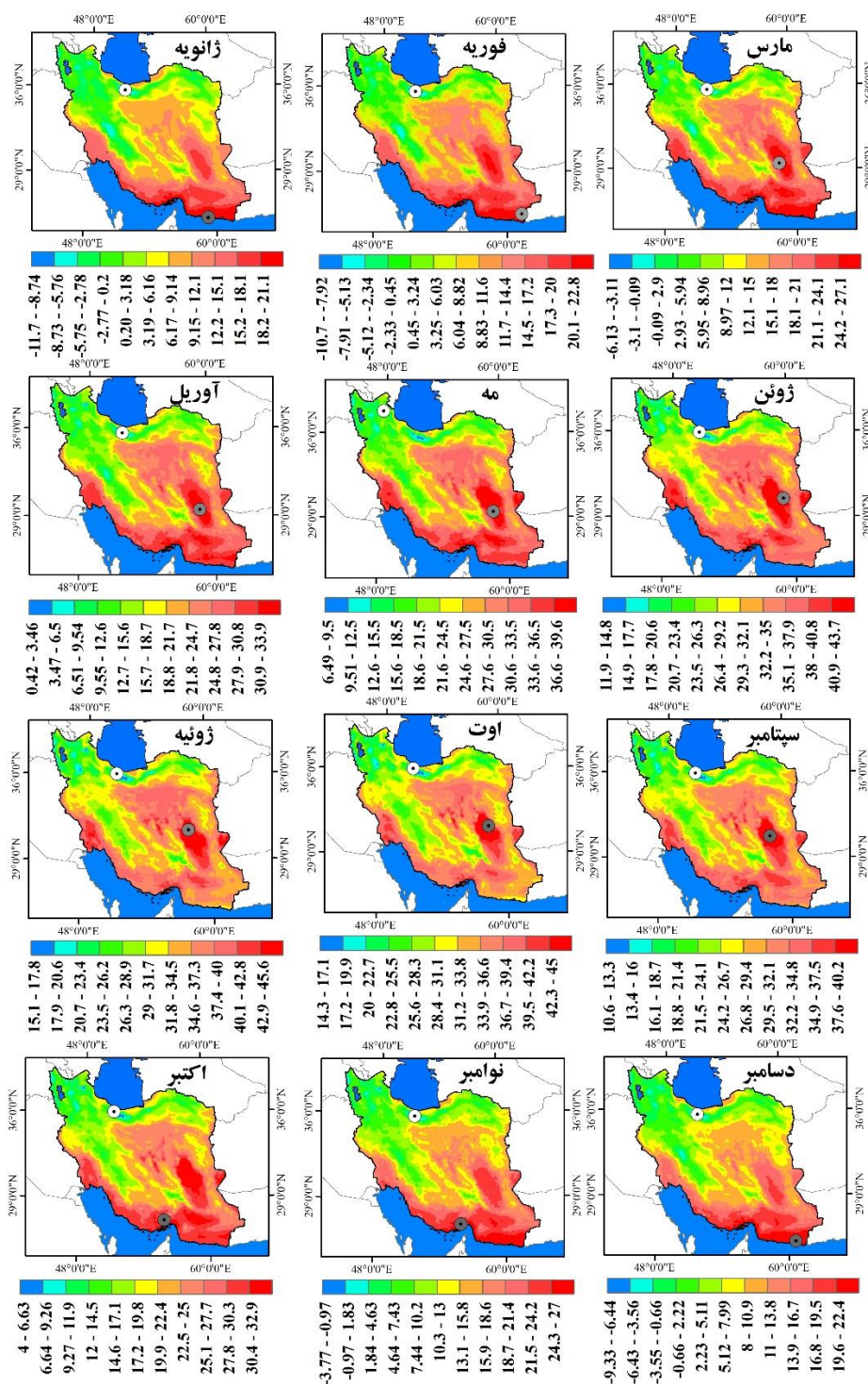
۳-۴- پراکنش ماهانه دمای بیشینه در ایران مبتنی بر برونداد مجموعه داده AgERA5

بررسی توزیع فضایی دمای بیشینه در ایران در ماه ژانویه نشان می‌دهد که بخش‌های بزرگی از مناطق کوهستانی شمال، شمال‌غرب و غرب کشور دمای زیر صفر را تجربه می‌کنند (شکل ۴). کمترین دمای بیشینه $۱۱/۷-^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس در ماه ژانویه در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود. همچنین در ماه‌های فوریه و مارس پایین‌ترین دمای بیشینه به ترتیب با $۱۰/۷-^{\circ}\text{C}$ و $۶/۳-^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز دیده می‌شود. رشته‌کوه‌های زاگرس مرتفع به همراه سهند و سبلان در شمال‌غرب ایران نیز دمای کمتر از صفر را برای دمای بیشینه نشان می‌دهند. مناطق پایین‌تر از مدار ۳۰° درجه شمالی از خوزستان تا سواحل مکران و کرمان بیشینه دما را تجربه می‌کنند که بالاترین دما در فصل زمستان با $۲۷/۱^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس در ماه مارس و در سواحل مکران دیده می‌شود.

دمای بیشینه در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن نسبت به فصل زمستان روند افزایشی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بالاترین دمای بیشینه در ماه ژوئن به ۴۳°C درجه سلسیوس رسیده است. به جهت توزیع فضایی دماهای مطلق بیشینه در مناطق جنوب غربی و شرقی بیش از سایر مناطق دیده می‌شوند. در این مناطق بیشینه دما در ماه‌های ژوئیه و اوت به بیش از ۴۵°C درجه سلسیوس می‌رسد (شکل ۴).

به‌غیر از عوامل محلی و مؤلفه‌های بیوفیزیکی سطح زمین سامانه‌های همدیدی نیز به‌عنوان عوامل بیرونی مهم، سهم انکارناپذیری در وردایی دمای شبانه‌روزی ایران دارند. در دوره سرد سال که ایران تحت تأثیر بادهای غربی است وردایی شبانه‌روزی دما عمدتاً تابعی از آرایش سامانه‌های همدید منطقه‌ای است. طی دوره سرد سال، گذشته از نفوذ پرفشار سیبری، عبور سامانه‌های کم‌فشاری که همراه با بادهای غربی وارد کشور می‌شوند دمای هوا را به‌شدت کاهش می‌دهد. از جمله سامانه‌های اثرگذار بر افزایش دما در دوره گرم سال، پرفشار جنب حاره است. این پرفشار سامانه‌ای پویایی بزرگی است که محل فرونشینی هوا بوده و به دلیل گرمایش بی‌دررو و ایجاد پایداری، با هوای گرم، آفتابی و خشک همراه است.

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، در فصل پاییز بخش‌های بزرگی از مناطق مرکزی، سواحل جنوبی، غرب و جنوب غرب کشور دماهای بالاتر از ۳۰°C درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند. بیشینه دما در ماه اکتبر با $۳۲/۹^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس در دشت لوت دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه دما طی ۴۰ سال گذشته، به ازای هر دهه، $۰/۵^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس افزایش یافته است. ادامه این روند می‌تواند منجر به خشکسالی‌های فراگیر در سطح کشور طی سال‌های آینده شود. در همین راستا احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) نشان دادند که در تمامی ماه‌های سال مناطقی از کشور که بین مدارهای ۳۰° تا ۳۵° درجه شمالی قرار دارند روند معنی‌دار افزایشی دما را تجربه می‌کنند.

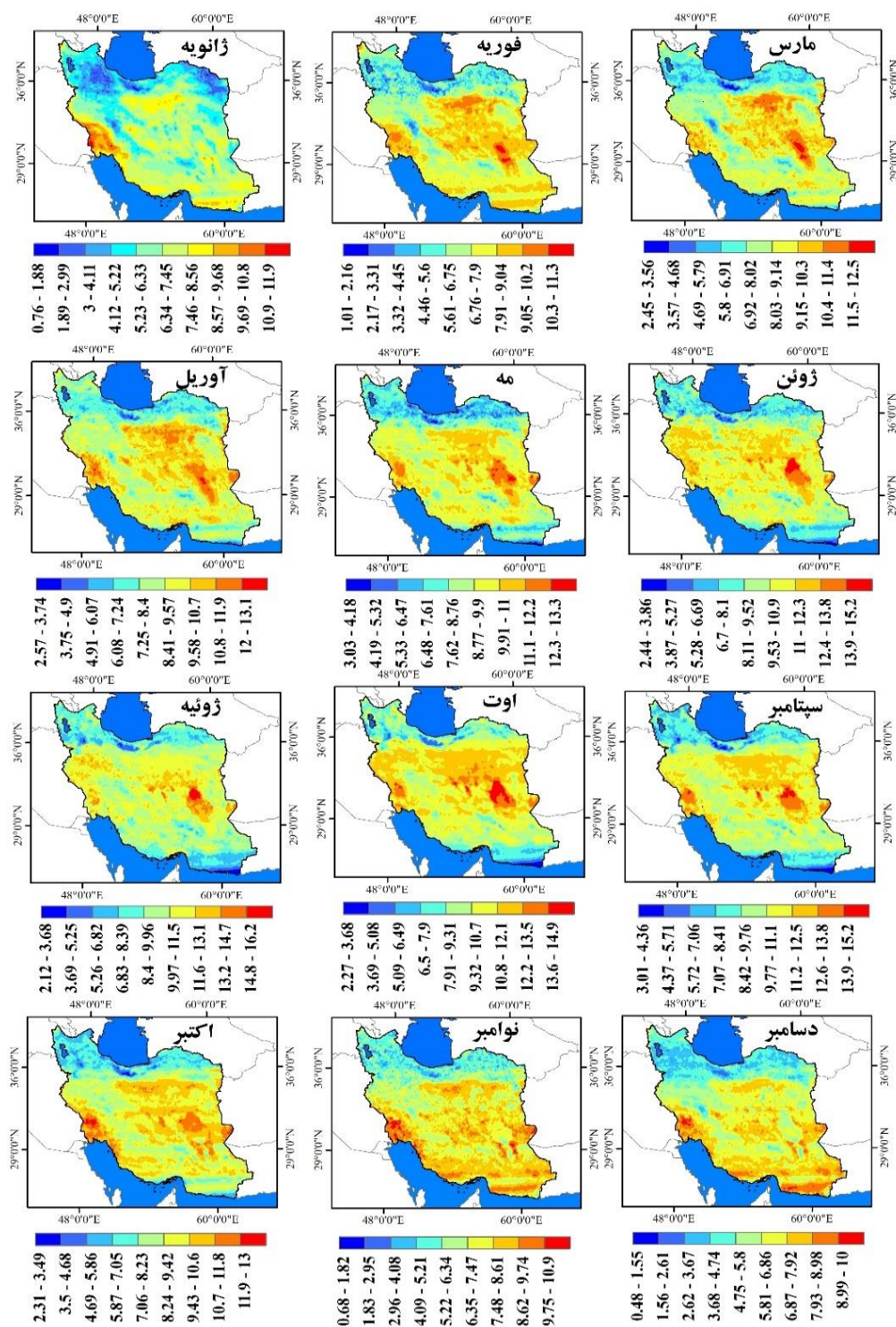


شکل ۴- توزیع فضایی دمای بیشینه ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5 (دایره سفید موقعیت کمینه دما و دایره خاکستری موقعیت بیشینه دما است)

۳-۵- پراکنش ماهانه دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) در ایران

دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) به دلیل نقش مهمی که در مدیریت انرژی و نیاز گرمایش و سرمایش دارد مورد توجه ویژه‌ای است. لذا همان‌طور که پراکنش ماهانه دمای کمینه و بیشینه ایران با داده‌های AgERA5 مورد بررسی قرار گرفت شاخص DTR محاسبه و در شکل (۵) ارائه شد. نتایج شاخص DTR نشان می‌دهد که این شاخص حداقل ۰/۴۶ درجه سلسیوس در ماه دسامبر و حداکثر ۱۶۲ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه در تغییر است. همان‌طور که نقشه‌های ماهانه دما نشان می‌دهند، شاخص DTR تقریباً در تمامی ماه‌های سال در بالاتر از مدار ۳۶ درجه شمالی کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس است؛ اما برعکس، در مناطق خشک و بیابانی داخلی ایران این شاخص مقادیر قابل توجه بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس و حتی مقدار حداکثری ۱۶۲ درجه سلسیوس را در ماه ژوئیه تجربه نموده است. علت این افزایش قابل توجه در شاخص DTR به این دلیل است که دمای کمینه معمولاً در شب اتفاق می‌افتد و دمای شبانه تابعی از تابش طول موج بلند خروجی (OLR) است و تابش‌های طول موج کوتاه که در طی روز در وردایی دما نقش دارند در طول شب حذف می‌شوند. از طرف دیگر همان‌طور که می‌دانیم بخش‌های قابل توجهی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. این مناطق را عمدتاً زمین‌های خشک و بدون پوشش گیاهی و با ابرناکی پایین در بر گرفته است. این مناطق در طول شب به سرعت دمای خود را از دست داده و دمای پایینی را به نسبت به روز تجربه می‌کنند که باعث افزایش قابل توجه شاخص DTR در این مناطق می‌شود.

بررسی شاخص DTR در ایران بخصوص در ماه‌های گرم سال از آوریل تا سپتامبر و حتی ماه اکتبر نشان می‌دهد که سواحل دریای عمان و بخش‌های از سواحل خلیج فارس در هرمزگان کمترین دامنه شبانه‌روزی دما (کمتر از ۵ درجه سلسیوس) را دارند. علت پایین بودن این شاخص به دلیل بالا بودن رطوبت نسبی و اثر گلخانه‌ای بخار آب موجود در جو این مناطق است. فرآیند جذب تابش طول موج بلند خروجی نقشی گرمایشی را ایفا می‌کند و باعث می‌شود دمای شبانه در این مناطق کاهش زیادی نسبت به دمای روزانه نداشته باشد و همین امر نقش تعیین‌کننده‌ای را در کاهش شاخص DTR دارد. کانون اصلی بیشینه این شاخص دشت لوت و سپس دشت کویر است. به‌طوری‌که در هیچ‌یک از ماه‌های سال شاخص DTR در دشت لوت یا بخش‌هایی از آن کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس نمی‌شود. کمینه این شاخص نیز در مناطق کوهستانی شمال و شمال‌غرب ایران دیده می‌شود. البرز مرکزی را می‌توان نقطه مقابل دشت لوت برای این شاخص در نظر گرفت به‌طوری‌که شاخص DTR در تمامی ماه‌های سال حداکثر ۳/۶ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد که علت این امر ارتفاع زیاد و پوشش برف و یخ در این مناطق است. پوشش برف و یخ با سپیدایی بالای خود مانع از جذب تابش طول موج کوتاه ورودی شده و در نتیجه باعث می‌شود که اختلاف دمای بیشینه و کمینه قابل توجه نبوده و همین امر نقش تعیین‌کننده‌ای را در DTR پایین در این مناطق دارد.



شکل ۵- توزیع فضایی شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5

۴- نتیجه‌گیری

تحقیقات اقلیمی در ایران اغلب به دلیل نبود داده‌های مشاهداتی همگن به جهت زمانی و مکانی با چالش مواجه است. اطلاعات درستی از شرایط اقلیمی کویرهای داخلی و مناطق کوهستانی مرتفع ایران، که فاقد ایستگاه اندازه‌گیری هواشناسی هستند، در دسترس نیست. برای غلبه بر این محدودیت، مجموعه داده‌های دمای کمینه و بیشینه نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) برای ایران (۲۰۲۰-۱۹۸۱، ۴۰ سال) مورد استفاده قرار گرفت و شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) نیز محاسبه گردید.

نتایج نشان داد دمای کمینه و بیشینه AgERA5 انطباق خوبی با متغیرهایی همچون ارتفاع و عرض جغرافیایی دارد. همچنین برون داد این مجموعه داده نسبت به نسخه‌های پیشین ECMWF (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) از دقت بالاتری برخوردار است. بررسی کارایی این مجموعه داده که با سنج‌های RMSE و R^2 انجام شد، نشان داد که داده‌های دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 در ایران از دقت نسبتاً بالایی برخوردار هستند. باین حال در مقایسه با مشاهدات، همچنان دارای اریبی بیش‌تر از یک درجه سلسیوس در مناطق ساحلی و کوهستانی است. از طرف دیگر اگرچه AgERA5 دارای تفکیک افقی بالاتر و گام زمانی کوتاه‌تری نسبت به نسخه‌های پیشین همچون ERA-INTRIM است و از داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای بیشتری استفاده می‌کند، اما همچنان دارای خطاهایی در مناطق کوهستانی و ساحلی کشور است. برهمکنش هوا، دریا و خشکی در نزدیکی ساحل برآورد دما را برای مدل دشوار کرده است. همچنین ذوب شدن یخ و پوشش برف بخصوص در آغاز دوره گرم سال به دلیل تفاوت سپیدایی از دیگر عواملی است که AgERA5 در برآورد صحیح دما دچار خطا می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۱).

در این پژوهش نشان داده شد که مجذور مربعات میانگین خطا برای دمای کمینه در ۷۷/۵۸ درصد از ایستگاه‌ها و برای دمای بیشینه در ۹۷/۲۷ درصد از ایستگاه‌ها کمتر از یک درجه سلسیوس است. این افزایش معنی‌دار در برآورد صحیح‌تر دمای شبانه‌روزی توسط هوفمن و همکاران^۲ (۲۰۱۹) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. این امر به‌روشنی نشان‌دهنده سازگاری بهتر مدل پیش‌بینی ECMWF با مشاهدات از یکسو و داده‌گذاری بهتر برای AgERA5 از سوی دیگر است. تحلیل دمای شبانه‌روزی کشور که بر اساس برون‌داد این مجموعه داده انجام شد، به‌خوبی ناهمگونی‌های مکانی و زمانی و روندهای بلندمدت دمای شبانه‌روزی را برجسته کرده است. پراکنش مکانی دما به‌طور کلی نسبت به سایر مطالعات انجام شده روی دمای ایران که با داده‌های شبکه‌ای انجام شده است (منتظری، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) بهبود یافته است. نتایج نشان داد که شاخص DTR در ایران حداقل ۰/۴۸ درجه سلسیوس و حداکثر ۱۶۲ درجه سلسیوس است. مناطق خشک و بیابانی داخلی و شرقی ایران در کل ماه‌های سال بیشینه شاخص DTR را به دلیل سپیدایی بالا و ابرناکی پایین دارا می‌باشند. کمینه شاخص DTR نیز در مناطق شمالی و شمال‌غربی

1 Zhu et al

2 Hoffmann et al

ایران به دلیل زبری سطح بالا و سپیدایی پایین دیده می‌شود. همچنین سواحل جنوبی ایران بخصوص در سواحل دریای عمان و بخش‌هایی از خلیج فارس در استان هرمزگان به دلیل جذب تابش طول موج بلند خروجی توسط بخار آب موجود در جو دلیلی است که باعث کاهش اختلاف دمای شبانه‌روزی در این مناطق می‌گردد.

بررسی روند تغییرات دمای ایران در طی ۴۰ سال گذشته نشان می‌دهد که دما متوسط کل کشور در توافق با چندین مطالعه قبلی (مسعودیان، ۱۳۸۳، سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۸) به‌غیر از ماه نوامبر روند افزایشی دارد. تحلیل ماهانه دمای کمینه و بیشینه نشان داد که به‌ویژه در مناطق کوهستانی دمای هوا در طی ماه‌های مختلف سال یکنواخت نبوده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه شیب روند دما در طی ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد. این نتایج بر اساس داده‌های میانگین سالانه و فصلی نتایج قبلی را تأیید می‌کند (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۴۰۰). همچنین دمای روز افزایش بیش‌تری نسبت به دمای شب در تمامی ماه‌ها به غیر از ماه ژوئن دارد.

کتابنامه

- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۳۹۸. پایش روند دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim. *جغرافیا*. دوره ۱۷. شماره ۶۰. صص ۱۰۳-۸۶. <https://rimag.ricest.ac.ir/fa/Article/8873>
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ احمدی، حمزه؛ علی‌بخشی، زهرا؛ ۱۳۹۷. واکاوی ساختار دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۵۰، شماره ۲. صص ۳۵۳-۳۷۲. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.238512.1007092>.
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۴۰۰. پیش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۵۳، شماره ۱. صص ۷۵-۹۰. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308361.1007551>.
- سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ سیف، زهرا؛ فرشته، قیامی؛ ۱۳۹۲. تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور. *جغرافیا و توسعه*. دوره ۱۱، شماره ۳۰. صص ۱۱۷-۱۳۷. https://gdij.usb.ac.ir/article_247.html.
- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته. *جغرافیا و توسعه*. دوره ۲، شماره ۳. صص ۸۹-۱۰۶. <https://doi.org/10.22111/gdij.2004.3831>
- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ زینالی، حمید؛ حجتی‌زاده، رحیم؛ ۱۳۸۷. نواحی دمایی ایران. *تحقیقات جغرافیایی*. دوره ۲۳، شماره ۲. صص ۱۸-۳. <https://www.sid.ir/paper/30060/fa>

- منتظری، مجید؛ ۱۳۹۳. واکاوی زمانی مکانی دماهای سالانه ایران طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۱. فصلنامه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۲. شماره ۳۶. صص ۲۰۹-۲۲۸. <https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1719>
- نظری‌پور، حمید؛ دوستکامیان، مهدی؛ علیزاده، سارا؛ ۱۳۹۴. بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران). فیزیک زمین و فضا. دوره ۴۱. شماره ۱. صص ۹۹-۱۱۷. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2015.53438>

- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., & Jhajharia, D., 2018. Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. Meteorological Applications, 25(2): 314-321. <https://doi.org/10.1002/met.1694>.
- Albergel, C., Dutra, E., Munier, S., Calvet, J. C., Munoz-Sabater, J., Rosnay, P. D., & Balsamo, G., 2018. ERA-5 and ERA-Interim driven ISBA land surface model simulations: which one performs better?. Hydrology and Earth System Sciences, 22(6): 3515-3532. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3515-2018>.
- Beranová, R., & Huth, R., 2008. Time variations of the effects of circulation variability modes on European temperature and precipitation in winter. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 28(2): 139-158. <https://doi.org/10.1002/joc.1516>.
- Betts, A. K., & Beljaars, A. C., 2017. Analysis of near-surface biases in ERA-Interim over the Canadian Prairies. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 9(5): 2158-2173. <https://doi.org/10.1002/2017MS001025>.
- Bromwich, D. H., Nicolas, J. P., Hines, K. M., Kay, J. E., Key, E. L., Lazzara, M. A., ... & Van Lipzig, N. P., 2012. Tropospheric clouds in Antarctica. Reviews of Geophysics, 50(1). <https://doi.org/10.1029/2011RG000363>.
- Byass, P., 2020. Eco-epidemiological assessment of the COVID-19 epidemic in China, January–February 2020. Global health action, 13(1): 1760490. <https://doi.org/10.1080%2F16549716.2020.1760490>.
- Correa, C. S., Guedes, R. L., Rocha, A. M. M. D., & Corrêa, K. A. B., 2020. Multidecadal Cycles of the Climatic Index Atlantic Meridional Mode: Sunspots that Affect North and Northeast of Brazil. Journal of Aerospace Technology and Management, 12. <https://doi.org/10.5028/jatm.v12.1101>.
- Dutra, E., Johannsen, F., & Magnusson, L., 2021. Late Spring and Summer Subseasonal forecasts in the Northern Hemisphere midlatitudes: biases and skill in the ECMWF model. Monthly Weather Review. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0342.1>.
- Ehard, B., Malardel, S., Dörnbrack, A., Kaifler, B., Kaifler, N., & Wedi, N., 2018. Comparing ECMWF high-resolution analyses with lidar temperature measurements in the middle atmosphere. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 144(712): 633-640. <https://doi.org/10.1002/qj.3206>.
- Gleixner, S., Demissie, T., & Diro, G. T., 2020. Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa?. Atmosphere, 11(9): 996. <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>.
- González-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Peña-Angulo, D., & Sardonis, L., 2022. Variability of maximum and minimum monthly mean air temperatures over mainland Spain and their relationship with low-variability atmospheric patterns for period 1916–2015. International Journal of Climatology, 42(3): 1723-1741. <https://doi.org/10.1002/joc.7331>.

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Hoffmann, L., Günther, G., Li, D., Stein, O., Wu, X., Griessbach, S., ... & Wright, J. S., 2019. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(5): 3097-3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>.
- Janis, M. J., Hubbard, K. G., & Redmond, K. T., 2004. Station density strategy for monitoring long-term climatic change in the contiguous United States. *Journal of climate*, 17(1): 151-162. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C0151:SDSFML%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C0151:SDSFML%3E2.0.CO;2).
- Johannsen, F., Ermida, S., Martins, J., Trigo, I. F., Nogueira, M., & Dutra, E., 2019. Cold Bias of ERA5 summertime daily maximum land surface temperature over Iberian Peninsula. *Remote Sensing*, 11(21): 2570. <https://doi.org/10.3390/rs11212570>.
- Kozubek, M., Krizan, P., & Lastovicka, J., 2020. Homogeneity of the Temperature Data Series from ERA5 and MERRA2 and Temperature Trends. *Atmosphere*, 11(3): 235. <https://doi.org/10.3390/atmos11030235>.
- Noël, T., Loukos, H., Defrance, D., Vrac, M., & Levavasseur, G., 2021. A high-resolution downscaled CMIP5 projections dataset of essential surface climate variables over the globe coherent with the ERA5 reanalysis for climate change impact assessments. *Data in Brief*, 35, 106900. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106900>.
- Rahmstorf, S., Foster, G., & Cahill, N., 2017. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental Research Letters*, 12(5): 054001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6825>.
- Rao, Y., Liang, S., & Yu, Y., 2018. Land Surface Air Temperature Data Are Considerably Different Among BEST-LAND, CRU-TEM4v, NASA-GISS, and NOAA-NCEI. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(11): 5881-5900. <https://doi.org/10.1029/2018JD028355>.
- Royé, D., Íñiguez, C., & Tobías, A., 2020. Comparison of temperature–mortality associations using observed weather station and reanalysis data in 52 Spanish cities. *Environmental research*, 183, 109237. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109237>.
- Tang, G., Clark, M. P., Newman, A. J., Wood, A. W., Papalexiou, S. M., Vionnet, V., & Whitfield, P. H., 2020. SCDNA: a serially complete precipitation and temperature dataset for North America from 1979 to 2018. *Earth System Science Data*, 12(4): 2381-2409. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2381-2020>.
- Yu, C., Li, Z., & Blewitt, G., 2021. Global comparisons of ERA5 and the operational HRES tropospheric delay and water vapor products with GPS and MODIS. *Earth and Space Science*, 8(5): e2020EA001417. <https://doi.org/10.1029/2020EA001417>.
- Zhu, J., Xie, A., Qin, X., Wang, Y., Xu, B., & Wang, Y., 2021. An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature. *Atmosphere*, 12(2): 217. <https://doi.org/10.3390/atmos12020217>.



Investigating Temporal-Spatial Distribution and the Possibility of Wind Gust Prediction in Iran

Mohammad Hesam Mohammadi^a, Amir Hussain Meshkatee^b, Sarmad Ghader^{c*}, Majid Azadi^d

^a PhD Candidate, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

^b Associate Professor, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

^c Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

^d Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMEC), Tehran, Iran

Received: 27 November 2021

Revised: 15 January 2022

Accepted: 18 February 2022

Abstract

Today we are witnessing a multitude of destructive natural meteorological and hydrological phenomena that cause more financial and environmental losses to human life. One of the atmospheric phenomena that can have a direct impact on flight safety, transportation, structures, energy and many other aspects of human life is wind gust. The aim of this study was to investigate the temporal and spatial distribution of wind gust in Iran over a period of 15 years and to evaluate an experimental method called WPD to predict this phenomenon using the output of the WRF model. For this purpose, the data recorded in 32 synoptic stations between 2004 and 2018 were studied. The results showed that the number of wind gusts occurred in the southeast and northwest Iran was much higher than other regions, while the frequency of convective wind gusts has been higher in the western half of Iran. In general, the frequency of wind gust had an increasing trend during the studied period and reached its maximum in 2018. Moreover, most convective wind gust reports have been related to spring. The highest number of wind gust reports with 67% belonged to the first half of the year. However, only 13% of the reports belonged to the autumn. Most of the wind gusts were reported between 12:00 and 18:00 local standard time (0800 to 1400 UTC). Among several wind gust forecasting methods, the relationship used in the WRF post processing system (WPD) was selected and its performance in Iran was evaluated. The results of the method on 885 non-convective wind gust indicated the optimal performance of the method for forecasting wind gust in Iran (RMSE=3.23, MAE=2.83, MSE=13.4 and R=0.71).

Keywords: Atmospheric Hazards, Non-convective, Verification, Wind Gust, WRF

* Corresponding author: Sarmad Ghader E-mail: sghader@ut.ac.ir Tel: +982161118373

How to cite this Article: Mohammadi, M. H., Meshkatee, A. H., Ghader, S., & Azadi, M. (2023). Investigating temporal-spatial distribution and the possibility of wind gust prediction in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 209-228.

DOI: 10.22067/geoh.2022.74312.1148



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74312.1148>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۲۸-۲۰۹

مقاله پژوهشی

بررسی توزیع زمانی- مکانی و امکان پیش‌بینی جست‌باد در ایران

محمد حسام محمدی - دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

امیرحسین مشکوتی - دانشیار، گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

سرمرد قادر^۱ - دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مجید آزادی - دانشیار، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

امروزه شاهد انبوهی از پدیده‌های مخرب طبیعی هواشناسی و هیدرولوژیکی هستیم که هرساله تلفات و خسارات مالی و زیست‌محیطی بیشتری به زندگی بشر وارد می‌کنند. یکی از پدیده‌های جوی که می‌تواند بر ایمنی پرواز، حمل‌ونقل، سازه‌ها، انرژی و بسیاری دیگر از جنبه‌های زندگی بشری اثر مستقیم داشته باشد، جست‌باد است. هدف از این مطالعه، بررسی توزیع زمانی- مکانی جست‌باد در کشور ایران در یک بازه زمانی ۱۵ ساله و ارزیابی یک روش تجربی تحت عنوان WPD جهت پیش‌بینی این پدیده با استفاده از برون‌داد مدل WRF است. بدین منظور داده‌های ثبت شده در ۳۲ ایستگاه همدیدی بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد تعداد دفعات وقوع جست‌باد در مناطق جنوب شرق و شمال غرب کشور به مراتب بیشتر از سایر مناطق بوده است؛ درحالی‌که فراوانی وقوع جست‌بادهای همرفتی در نیمه غربی کشور بیشتر بود. به‌طور کلی، فراوانی وقوع جست‌باد در بازه مورد مطالعه روندی صعودی داشته و اغلب گزارش‌های جست‌باد همرفتی مربوط به فصل بهار بوده است. در مجموع، ۶۷ درصد جست‌بادهای در نیمه اول سال گزارش گردیده‌اند و تنها ۱۳ درصد از آن‌ها در فصل پاییز اتفاق

Email: sghader@ut.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۸۲۱۶۱۱۱۸۳۷۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

مدی، محمد حسام، مشکوتی، امیرحسین، قادر، سرمرد، آزادی، مجید. (۱۴۰۲). بررسی توزیع زمانی- مکانی و امکان پیش‌بینی

جست‌باد در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۱). صص ۲۲۸-۲۰۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74312.1148>

افتاده‌اند. همچنین محتمل‌ترین زمان وقوع جست‌باد بین ساعت‌های ۱۸-۱۲ محلی بوده است. در ادامه و از میان روش‌های پیش‌بینی جست‌باد، رابطه مورد استفاده در سامانه پس‌پردازش یکپارچه مدل WRF (WPD) انتخاب و عملکرد آن در کشور ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از روش پیش‌گفته بر روی ۸۸۵ مورد جست‌باد غیرهمرفتی، حاکی از عملکرد مطلوب این روش جهت پیش‌بینی جست‌باد در ایران بود.

کلید واژه‌ها: ارزیابی، جست‌باد، غیرهمرفتی، مخاطرات جوی، WRF.

۱- مقدمه

امروزه شاهد انبوهی از پدیده‌های مخرب طبیعی هواشناسی و هیدرولوژیکی هستیم که هرساله تلفات و خسارات مالی و زیست‌محیطی بیشتری به زندگی بشر وارد می‌کنند. تأثیر این بلایا به سرعت در سراسر جهان منتشر می‌شود. در فهرست مخرب‌ترین رویدادهای جوی به‌وقوع پیوسته در سالیان گذشته در مناطق مختلف جهان، نام جست‌باد^۱ به‌دفعات به چشم می‌خورد. جست‌باد، افزایش ناگهانی و کوتاه‌مدت تندی باد است. بنابر تعریف، جست‌باد زمانی گزارش می‌شود که بیشینه تندی باد به بالای ۸ متر بر ثانیه برسد و اختلاف بیشینه تندی باد با باد میانگین، حداقل ۵ متر بر ثانیه باشد. مدت‌زمان این پدیده معمولاً کمتر از ۲۰ ثانیه است (انجمن هواشناسی آمریکا (AMS)^۲، ۲۰۱۸).

جست‌باد پیامدهای زیادی بر بسیاری از بخش‌ها دارد، به‌عنوان مثال، این پدیده بر طراحی و ساختار ساختمان‌ها و پل‌ها تأثیر می‌گذارد. هنگامی که تندی جست‌باد از یک آستانه معین فراتر می‌رود، به دلیل اثر ناشی از تغییرات و نوسان ناگهانی آن بر سازه‌ها، می‌توان آسیب به ساختمان‌ها و یا پل‌ها را انتظار داشت. در حوزه بهره‌برداری از انرژی بادی، اطلاعات باد از چندین جهت حائز اهمیت است. در مرحله برنامه‌ریزی، طراحان توربین‌های بادی نیاز دارند از ماهیت بادهای و شرایط تلاطم‌های جوی منطقه آگاهی داشته و همچنین چشم‌اندازی از دوره‌های زمانی جست‌باد شدید داشته باشند تا از عملکرد و استحکام ساختار توربین مطمئن شوند (بورتون و همکاران^۳، ۲۰۱۱). در حوزه تهدیدات و تلفات انسانی، می‌توان به فستیوال موسیقی در بلژیک در تابستان سال ۲۰۱۱ اشاره نمود که جست‌باد با تندی بین ۲۹ تا ۳۷ متر بر ثانیه، باعث مرگ ۵ نفر و مجروح شدن بیش از ۱۴۰ نفر گردید (دی میوتر و همکاران^۴، ۲۰۱۵). نمونه دیگری از این پدیده در تاریخ ۹ ژوئن ۲۰۱۴ در غرب اروپا به وقوع پیوست که بیشینه سرعت جست‌باد تا ۴۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد و طی آن ۶ نفر فوت کرده و حدود ۶۵۰ میلیون یورو خسارت وارد گردید (موهر و همکاران^۵، ۲۰۱۷).

1 Wind gust

2 American Meteorological Society. Wind gust definition, <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Gust>

3 Burton et al.

4 De Meutter et al.

5 Mohr et al.

اگرچه گزارش‌های ثبت شده جست‌باد معمولاً پراکنده و محدود است؛ اما تهدیدها و خسارات ناشی از آن، مطالعه و شناخت این پدیده را بسیار حائز اهمیت می‌کند. جست‌بادها می‌توانند به ۳ دلیل اصلی ایجاد گردند (کلندویچ و همکاران^۱، ۲۰۱۶). یکی از آن‌ها گردش‌های جوی چرخندی و گرادیان افقی فشار همراه با این گردش‌ها است. دلیل دوم، ایجاد جست‌بادهای همرفتی ناشی از حضور ابرهای توفان‌زا مانند ابرهای کومه‌ای باران^۲ است که شرایط ایجاد جریان‌های شدید نزولی هوا (انفجارات پایین‌سو^۳) را در زیر خود به وجود می‌آورند. بر اثر برخورد این جریانات با سطح زمین، هوای شامل این جریانات نزولی توسط سطح منحرف شده و باعث ایجاد جست‌باد می‌گردد. دلیل سوم ایجاد تلاطم ناشی از اصطکاک، چینش باد یا گرمای سطح زمین است که این سه سازوکار می‌توانند باد را وادار به تغییر تندی و همچنین جهت کنند.

در این مطالعه، ابتدا به بررسی توزیع زمانی و مکانی جست‌باد در کشور ایران در یک بازه زمانی ۱۵ ساله پرداخته خواهد شد. شناخت مکان‌های مستعد وقوع این پدیده و همچنین روند و بازه‌های تکرار آن در مقیاس‌های روزانه و سالیانه، می‌تواند به آگاهی ما از این پدیده مخرب جوی و در نتیجه انجام اقدامات پیشگیرانه در زمینه کاهش اثرات زیست‌محیطی آن کمک کند. در بخش بعدی تلاش خواهد شد تا امکان پیش‌بینی تندی جست‌باد توسط یک روش تجربی (WPD^۴) بر اساس برونداد مدل میان‌مقیاس WRF در منطقه ایران، مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. از آنجاکه استفاده عملیاتی از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا در چند سال اخیر در ایران متداول شده و هنوز مطالعه‌ای برای راست‌آزمایی همه محصولات مدل انجام نشده است، چنین مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور ابتدا به تعریف رابطه WPD که در حال حاضر در سامانه پس‌پردازش یکپارچه مدل WRF (UPP) به کار گرفته می‌شود پرداخته خواهد شد و پس از انتخاب پیکربندی و دامنه مناسب، مدل WRF برای ۵۷ تاریخ منتخب به صورت ۲۴ ساعته اجرا خواهد گردید. در نهایت نتایج پیش‌بینی حاصل از روش WPD با بهره‌گیری از سنجه‌های آماری خطای مطلق میانگین (MAE)، میانگین مربع خطا (MSE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (R)، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. مطالعات مشابه دیگری در ایران و سایر نقاط جهان در خصوص بررسی آماری پدیده‌های جوی و همچنین ارزیابی مدل‌های عددی پیش‌بینی جو صورت گرفته است که به عنوان نمونه به چندین مورد از آن‌ها اشاره خواهد شد.

کلندویچ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی جست‌بادهای همرفتی و غیرهمرفتی در لهستان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که بیشترین تهدید از لحاظ تکرار و شدت حداکثر جست‌باد همرفتی در ماه ژوئیه اتفاق می‌افتد. جست‌بادهای غیرهمرفتی در ماه ژانویه بیشتر اتفاق می‌افتند و وقوع آن‌ها در تابستان نادر است.

1 Kolendowicz et al.

2 Cumulonimbus

3 Downburst

4 WRF Post-process Diagnostic of wind gust

آن‌ها همچنین نشان دادند که همرفت اثر زیادی در تشدید جست‌باد دارد و شدت وقوع جست‌بادهای همرفتی بیشتر از غیرهمرفتی است.

فریرا و ناسیمتو^۱ (۲۰۱۶) به مطالعه جست‌بادهای شدید همرفتی در برزیل در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بیشترین تکرار جست‌باد با سرعت برابر یا بیشتر از ۲۵ متر بر ثانیه، در فصل بهار اتفاق می‌افتد و از لحاظ زمانی نیز بیشترین فراوانی از حدود ظهر تا بعدازظهر و پس از آن در طول شب بوده است.

استوکی و همکاران^۲ (۲۰۱۶) به ارزیابی ۴ روش پیش‌بینی تندی جست‌باد در کشور سوئیس پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که هر ۴ روش ارزیابی شده تا حد زیادی وقوع جست‌باد را به‌درستی پیش‌بینی می‌کنند، اگرچه زمان و بزرگی بیشینه تندی باد، خیلی دقیق نبوده است.

کوراتوا و همکاران^۳ (۲۰۱۸)، هفت روش مختلف برای پیش‌بینی تندی جست‌باد با استفاده از مدل WRF را در کشور روسیه موردبررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهاد شده هیبریدی، توازن خوبی بین احتمال تشخیص و برآورد نسبت هشدار خطا نشان می‌دهد.

موهر و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی خصوصیات آماری جست‌بادهای همرفتی در کشور آلمان پرداختند. آن‌ها نشان دادند که تعداد دفعات وقوع جست‌بادهای همرفتی، مشابه با تعداد دفعات وقوع توفان‌های تندری، از جنوب به شمال کشور آلمان روند کاهشی دارد. همچنین شدت وقوع آن‌ها طی ۲۰ سال گذشته در حال افزایش بوده است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد برخی روش‌های موجود پیش‌بینی تندی جست‌باد با استفاده از مدل WRF پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روشی که در پس‌پردازش یکپارچه مدل WRF (UPP) استفاده می‌شود نسبت به روش مورداستفاده در اداره هواشناسی انگلستان (Met office)، نتایج بهتری را برای منطقه ایران به همراه دارد.

همان‌طور که اشاره شد، هدف اصلی از انجام این مطالعه بررسی توزیع زمانی-مکانی جست‌باد و ارزیابی یک روش تجربی پیش‌بینی این پدیده تحت عنوان WPD در کشور ایران است. این پژوهش با توجه به خلأ موجود در زمینه شناخت و پیش‌بینی این پدیده مخاطره‌آمیز جوی و افزایش ایمنی حمل‌ونقل هوایی، دریایی و زمینی در کشور ایران صورت گرفته و نتایج حاصل از آن کاملاً کاربردی و عملیاتی بوده و علاوه بر پیشرفت‌های نظری و تئوری حاصل شده در حوزه موردبررسی، می‌تواند به‌عنوان مقدمه‌ای جهت پیش‌بینی دقیق جست‌باد در کشور ایران در نظر گرفته شود.

1 Ferreira and Nascimento

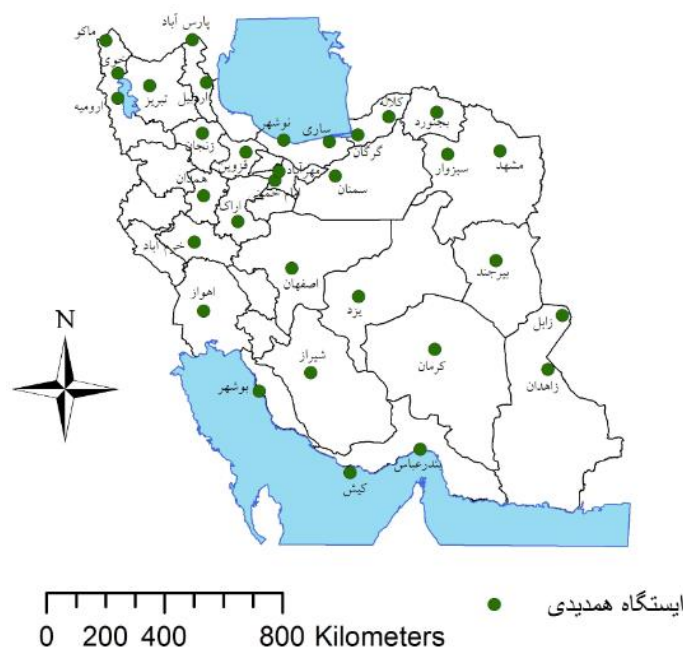
2 Stucki et al.

3 Kurbatova et al.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌ها، منطقه و بازه زمانی مورد مطالعه

این مطالعه به بررسی جست باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین می‌پردازد (ارتفاع استاندارد^۱ WMO جهت نصب ادوات اندازه‌گیری سرعت باد). داده‌های مورداستفاده مربوط به بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی و شامل کلیه گزارش‌های متار و اسپرسی دریافتی از ۳۲ ایستگاه خودکار همدیدی سازمان هواشناسی ایران بود. سعی شد انتخاب ایستگاه‌ها به گونه‌ای باشد که کل کشور ایران را پوشش دهد. به صورت معمول اطلاعات باد میانگین و جست باد مربوط به ۱۰ دقیقه قبل از زمان ارائه گزارش‌های متار، برابر دستورالعمل ثبت می‌گردد. البته در صورتی که در بین ساعات دیده‌بانی نیز تغییر شدید و لحظه‌ای در تندی باد میانگین ایجاد شود، به طور جداگانه و به صورت گزارش‌های اسپرسی ثبت خواهد گردید. شکل (۱)، موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- پراکندگی ایستگاه‌های همدیدی مورداستفاده در مطالعه

۲-۲- روش‌های پیش‌بینی تندی جست باد

روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی جست باد بر پایه خروجی مدل‌های پیش‌بینی عددی، توسط سرویس‌های هواشناسی ملی و مراکز تحقیقاتی به کار برده می‌شود. جست‌بادها معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند: آن‌هایی که منشأ

1 World Meteorological Organization

همرفتی دارند و آنهایی که در محیط غیرهمرفتی به وجود می آیند. دسته اول عموماً مربوط به جریانات نزولی همرفتی و اختلاط قائم مربوط به همرفت عمیق هستند و دسته دوم اغلب مربوط به انتقال تلاطم در لایه مرزی است که معمولاً روش پیش‌بینی آن‌ها از طریق اندازه‌گیری انرژی جنبشی، بادهای لایه مرزی و در برخی موارد پایداری است (شریدن^۱، ۲۰۱۱ و برِسر^۲، ۲۰۰۱).

تفکیک جست‌بادهای همرفتی از غیرهمرفتی به دلیل تفاوت در ماهیت شکل‌گیری آن‌ها، یک موضوع اساسی است و آگاهی از تفاوت آن‌ها در نوع شکل‌گیری، می‌تواند به شناخت بیشتر ما از این پدیده جوی منجر شود. روش‌های مختلفی برای این تفکیک ارائه شده است؛ از جمله بر اساس تصاویر راداری/ماهواره‌ای در زمان وقوع جست‌باد و یا جدا کردن آن‌ها با استفاده از جستجوی توفان‌های همراه با رعد و برق (توفان‌های تندری) در زمان ثبت گزارش‌های جوی. در این مطالعه از نتایج تحقیقات چوی و هدایت^۳ (۲۰۰۲) و کوک و همکاران^۴ (۲۰۰۳) استفاده گردید. آن‌ها آن دسته از گزارش‌های جست‌باد را که همراه با توفان تندری بود، به عنوان جست‌بادهای همرفتی و سایر گزارش‌ها را به عنوان جست‌بادهای غیرهمرفتی در نظر گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات محمدی و همکاران (۱۳۹۹)، تعداد گزارش‌های جست‌باد غیرهمرفتی نسبت به نوع همرفتی در کشور ایران به مراتب بیشتر است. لذا به منظور توجه به اهمیت پدیده‌های پر مخاطره و پر تکرار جوی در کشور ایران، این مطالعه تنها بر روی جست‌بادهای نوع غیرهمرفتی متمرکز گردید.

مدل‌های پیش‌بینی جست‌باد غیرهمرفتی بر پایه تخمین یا محاسبه تلاطم در لایه مرزی و انتقال قائم تکانه، استوار هستند. تأثیر این محاسبات در مدل‌های مختلف، با روش‌های مختلف تشریح می‌شود. این روش‌ها می‌توانند حاصل از روابط فیزیکی (مانند رابطه تخمین جست‌باد WGE^۵) و یا روابط تجربی (مانند الگوریتم مورد استفاده در پروژه NIMROD^۶ و یا رابطه مورد استفاده در سامانه پس‌پردازش UPP^۷) باشند.

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی تندی جست‌باد غیرهمرفتی، از رابطه‌ای که در سامانه پس‌پردازش یکپارچه مدل WRF (UPP) به کار گرفته می‌شود (تحت عنوان WPD) استفاده گردید. این رابطه از طریق برآورد بیشینه تکانه بالقوه که می‌تواند از بالای لایه مرزی تا سطح متقل شود، تندی جست‌باد را پیش‌بینی می‌کند (رابطه ۱). کدنویسی اولیه

1 Sheridan

2 Brasseur

3 Choi and Hidayat

4 Cook et al.

5 Wind Gust Estimate method

6 Northern Illinois Meteorological Research On Downburst

7 Unified Post Processor

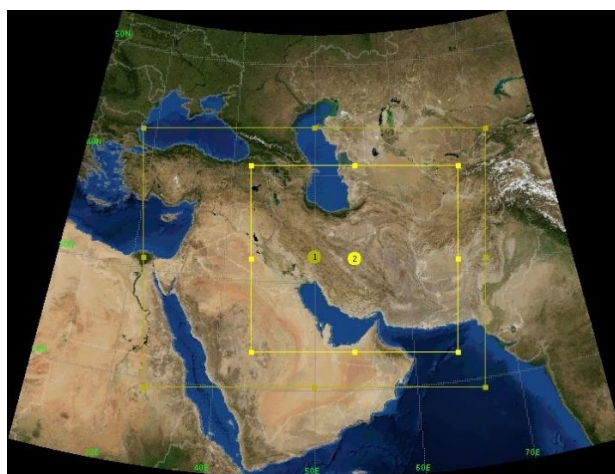
(1997 , NCO¹) و مستندات پراکنده موجود حاکی از اقتباس این رابطه از الگوریتم مورد استفاده در فرایند پس پردازش مدل RUC20² می باشد (2007 , RUC20²; همچنین شریدن، 2011 و استوکی و همکاران، 2016).

$$U_{g10} = U_{10} + (U_{PBL} - U_{10}) \times \left(1 - \frac{h_{PBL}}{2000}\right) \quad (1)$$

که در آن U_{10} تندی باد در ارتفاع 10 متری و U_{PBL} تندی باد در تارک لایه مرزی (h_{PBL}) است. در این روش ارتفاع لایه مرزی عمیق ($h_{PBL} > 1000m$)، 1000 متر در نظر گرفته می شود؛ بنابراین مقدار $\frac{h_{PBL}}{2000}$ همواره کمتر از 0.5 خواهد بود.

۲-۳- مدل WRF

در این پژوهش از مدل پیش بینی عددی میان مقیاس WRF نسخه $3/9$ برای انجام شبیه سازی ها استفاده گردید. مدل WRF یک مدل غیرهیدرواستاتیک (با گزینه هیدرواستاتیک) است که شبکه بندی آن شبکه C آراکاوا^۳ است (اسکاماروک^۴، 2008). تعداد آشیانه های انتخابی "دو آشیانه" و نسبت تفکیک افقی آشیانه ها 1 به 3 در نظر گرفته شد، به این معنی که این مدل با تفکیک افقی 27 کیلومتر برای آشیانه اول و 9 کیلومتر برای آشیانه دوم تنظیم گردید. شکل (۲) آشیانه های در نظر گرفته شده را جهت اجرای مدل نشان می دهد. آشیانه ها به صورت تو در تو بوده و با اندیس های 1 و 2 مشخص شده اند.



شکل ۲- دو آشیانه در نظر گرفته شده جهت اجرای مدل WRF

- 1 NetCDF operators
- 2 Rapid Update Cycle
- 3 Arakawa C
- 4 Skamarock

در این مدل از نگاشت لامبرت استفاده شد و از داده‌های GFS با تفکیک ۰/۵ درجه با گام‌های زمانی سه‌ساعته به‌عنوان ورودی مدل استفاده گردید. تعداد ترازهای قائم برابر با ۴۹ تراز در نظر گرفته شد. طرحواره‌های فیزیکی مورد استفاده مدل در **جدول (۱)** ارائه گردیدند. گام‌زمانی برای هر اجرای مدل ۹۰ ثانیه بوده و زمان اجرای هر شبیه‌سازی از ساعت ۰۰ UTC و برای یک روز کامل (۲۴ ساعت) در نظر گرفته شد که ۶ ساعت اول به‌عنوان زمان تطبیق^۱ و ۱۸ ساعت باقیمانده به‌عنوان زمان تحلیل در نظر گرفته شد.

جدول ۱- طرحواره‌های فیزیکی به‌کار گرفته شده جهت اجرای مدل WRF

عنوان	طرحواره به‌کار گرفته شده
mp_physics	Lin (خرد فیزیک)
ra_lw_physics	RRTM (تابش موج بلند)
ra_sw_physics	Goddard (تابش موج کوتاه)
sf_sfclay_physics	Revised MM5 (لایه سطحی)
sf_surface_physics	Noah (سطح زمین)
bl_pbl_physics	YSU (لایه‌مرزی سیاره‌ای)
cu_physics	Kain-Fritsch (همرفت)

۲-۴- سنجه‌های آماری جهت ارزیابی نتایج

راستی‌آزمایی یک پیش‌بینی، فرآیندی است که کیفیت آن پیش‌بینی را تعیین می‌کند و می‌توان با کمک آن نتایج پیش‌بینی را ارزیابی نمود. برای راستی‌آزمایی کمیت‌های عددی پیوسته مانند دما، فشار و غیره، می‌توان از سنجه‌های آماری خطای مطلق میانگین (MAE)، میانگین مربع خطا (MSE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (R) بهره گرفت که در این مطالعه نیز از آن‌ها استفاده گردیده و روابط آن‌ها به شرح ذیل است (جولیف و استفنسون^۲، ۲۰۰۳):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (۲)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2 \quad (۳)$$

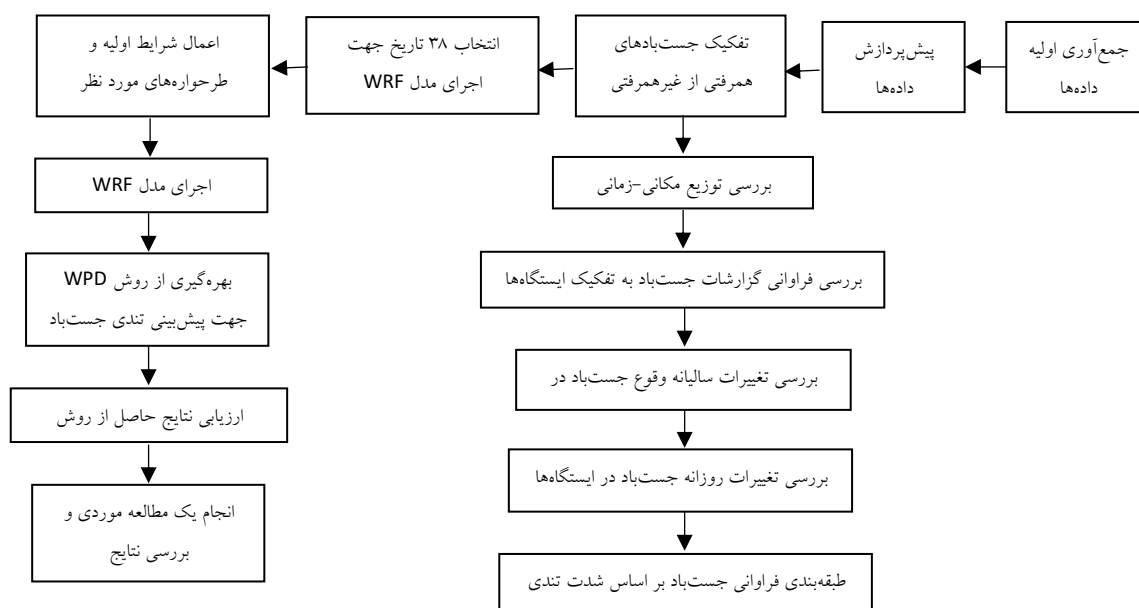
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (۴)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}) \times (F_i - \bar{F})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2}} \quad (۵)$$

1 Spin up

2 Jolliffe and Stephenson

که در آن مقدار پیش‌بینی شده متغیر مورد نظر و O_i مقدار دیدبانی شده متناظر با آن و N تعداد کل داده‌ها است. $\bar{O}$ و $\bar{F}$ به ترتیب میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و دیدبانی شده متغیر مورد نظر هستند. مراحل انجام این مطالعه در بلوک دیاگرام زیر به صورت خلاصه توضیح داده شده است.



۳- نتایج و بحث

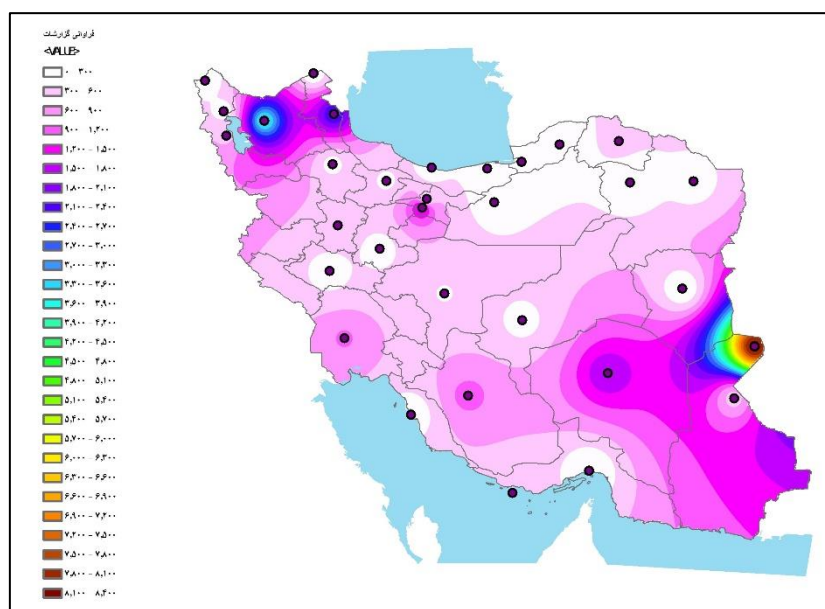
۳-۱- توزیع مکانی جست‌باد

در مجموع، گزارش‌های موجود شامل تعداد ۲۳۸۳۷ مورد جست‌باد بود که ۶۲۲ مورد از آن‌ها (حدود ۲/۶ درصد) از نوع همرفتی و ۲۳۲۱۵ مورد از نوع غیرهمرفتی بود. **شکل‌های (۳) و (۴)**، به ترتیب فراوانی کل گزارش‌های جست‌باد و فراوانی گزارش جست‌بادهای همرفتی را در کشور ایران نشان می‌دهند. این شکل‌ها با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ توسط نرم‌افزار ArcMap ترسیم شده‌اند. همان‌طور که از **شکل (۳)** مشخص است، ایستگاه زابل با ۸۲۸۳ مورد، بیشترین فراوانی وقوع جست‌باد را داشته و به دنبال آن ایستگاه‌های تبریز، اردبیل، فرودگاه امام خمینی، کرمان و شیراز، به ترتیب با ۳۷۸۶، ۲۳۹۲، ۱۷۶۸، ۱۷۶۱ و ۱۰۱۳ مورد قرار گرفته‌اند.

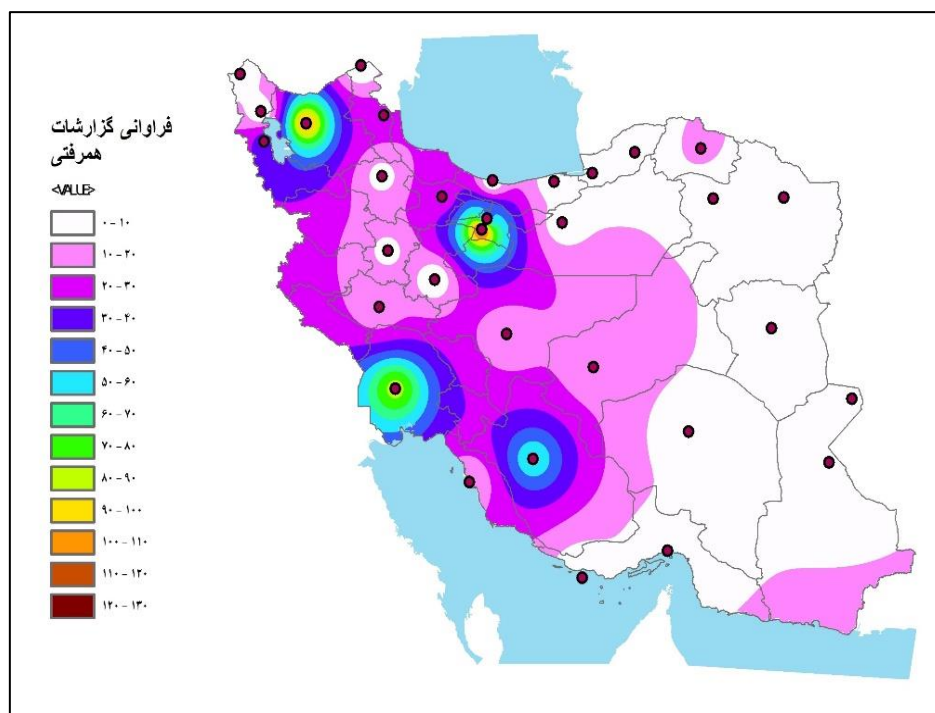
در مجموع این‌گونه به نظر می‌رسد که فراوانی گزارش‌های منطقه جنوب شرق و شمال غرب کشور نسبت به سایر مناطق بیشتر بوده و کمترین گزارش‌ها مربوط به مناطق شمال و شمال شرق کشور بوده است. از لحاظ فراوانی جست‌بادهای همرفتی (**شکل ۴**)، ایستگاه فرودگاه امام خمینی با ۱۲۷ مورد بیشترین آمار را به خود اختصاص داده و پس از آن ایستگاه‌های تبریز، اهواز، شیراز، مهرآباد و ارومیه به ترتیب با ۱۰۳، ۸۴، ۵۸، ۴۲ و ۳۳ مورد قرار دارند.

به‌طور کلی، فراوانی گزارش‌های جست‌باد همرفتی در بازه مورد مطالعه در نیمه غربی کشور بیشتر بود. موقعیت مکانی ایستگاه می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در احتمال وقوع جست‌باد داشته باشد. نزدیکی به مناطق کوهستانی و یا وجود موانع طبیعی در اطراف ایستگاه، پوشش سطحی و همین‌طور میزان عبور سامانه‌های ناپایدار جوی از منطقه، تأثیر بسزایی بر احتمال وقوع این پدیده جوی دارند. به‌عنوان مثال، ناپایداری‌های ناشی از امواج کوهستان که در ایستگاه هواشناسی فرودگاه تبریز به علت قرارگیری در میان ارتفاعات، به‌دفعات گزارش گردیده است، می‌تواند بر تغییرات ناگهانی سمت و تندی باد و در نتیجه وقوع جست‌باد در این ایستگاه تأثیرگذار باشد. به‌عنوان نمونه دیگر می‌توان به وقوع بادهای شدید و گزارش‌های متعدد جست‌باد در استان سیستان و بلوچستان به‌ویژه ایستگاه زابل اشاره کرد. این بادهای شدید در طول دوره گرم سال به شکل نوسانات و تغییرات چند روزه (حدوداً ۱۲۰ روز) نمود می‌یابند و از منظر شدت و جهت وزش باد از نظم خاصی پیروی نمی‌نمایند. وزش این بادهای در منطقه سیستان و بلوچستان علاوه بر احراز خصوصیات یک باد محلی، احراز خصوصیتی چون افزایش و کاهش نسبتاً ناگهانی شدت باد در زمان آغازگری و خاتمه را داشته که این موضوع حکایت از تأثیرپذیری بسیار زیاد این باد از گردش منطقه‌ای جو در شرق فلات ایران دارد (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲).

بالاترین تندی جست‌باد گزارش شده در طی دوره مورد مطالعه، ۳۴ متر بر ثانیه و مربوط به ایستگاه همدان و در ساعت ۱۳:۰۰ مورخه ۲۴ سپتامبر سال ۲۰۱۶ و از نوع غیرهمرفتی بود. بیشترین تندی جست‌باد همرفتی گزارش شده نیز ۳۰ متر بر ثانیه مربوط به ایستگاه فرودگاه مهرآباد و در ساعت ۱۶:۳۰ روز ۶ نوامبر سال ۲۰۱۸ بود.



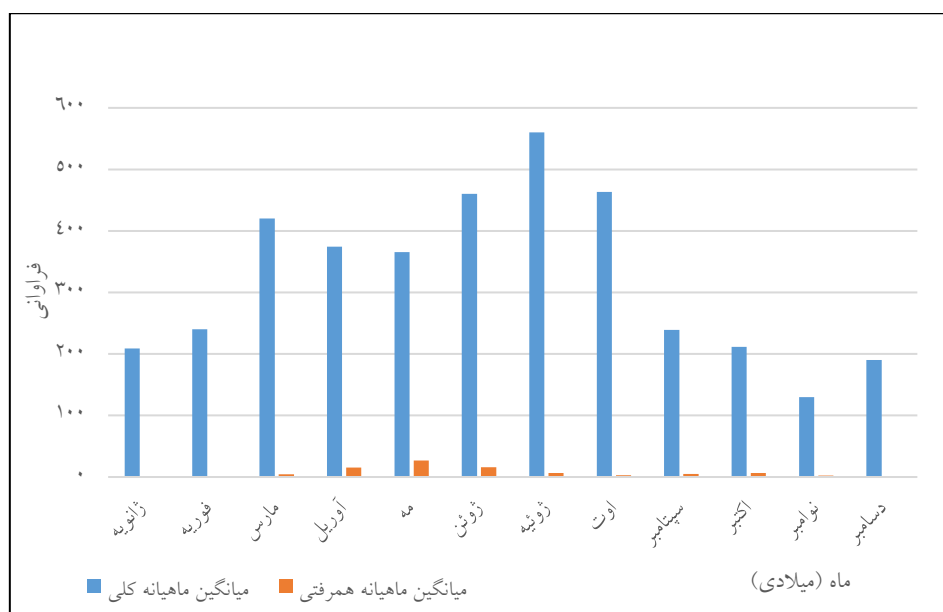
شکل ۳- فراوانی گزارش‌های جست‌باد طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴- فرآوانی گزارش های جست باد همرفتی طی سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ برای ایستگاه های مورد مطالعه

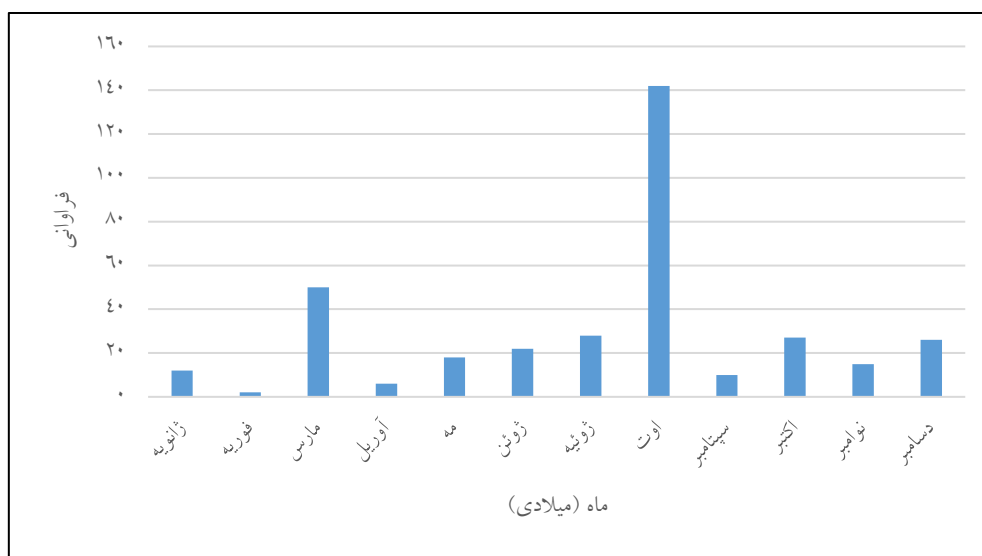
۳-۲- تغییرات سالیانه و ماهیانه جست باد

شکل (۵) میانگین ماهیانه فرآوانی جست بادهای گزارش شده را هم به صورت کلی و هم برای جست بادهای همرفتی به تفکیک هرماه از سال نمایش می دهد. همان طور که از **شکل (۵)** مشخص است، فرآوانی گزارش های جست باد همرفتی نسبت به جست باد غیر همرفتی به مراتب کمتر است. بیشتر جست بادهای همرفتی در فصل بهار و ابتدای تابستان گزارش گردیده که این امر می تواند به دلیل شرایط مطلوب برای تشکیل همرفت مرطوب عمیق و وقوع تعداد بیشتر توفان های تندری در ایران در این فصل از سال باشد که با نتایج تحقیقات **قویدل و همکاران (۲۰۱۷)** نیز مطابقت دارد. نتایج نشان می دهد حدود ۶۷ درصد از جست بادها (همرفتی و غیر همرفتی) در نیمه اول سال یعنی در فصول بهار و تابستان اتفاق افتاده اند. این در حالی است که تنها حدود ۱۳ درصد آن ها در فصل پاییز اتفاق افتاده اند. همچنین بیشترین فرآوانی جست باد مربوط به تیرماه با میانگین ۵۵۹ گزارش در طول ماه بوده است. همچنین نتایج بررسی ها نشان داد به صورت کلی فرآوانی وقوع جست باد در بازه مورد مطالعه روندی صعودی داشته و در سال ۲۰۱۸ به بالاترین میزان خود (۴۰۷۶ گزارش در طول سال) رسیده است.



شکل ۵- میانگین ماهیانه فراوانی کل گزارش‌های جست‌باد و فراوانی گزارش‌های جست‌باد همرفتی

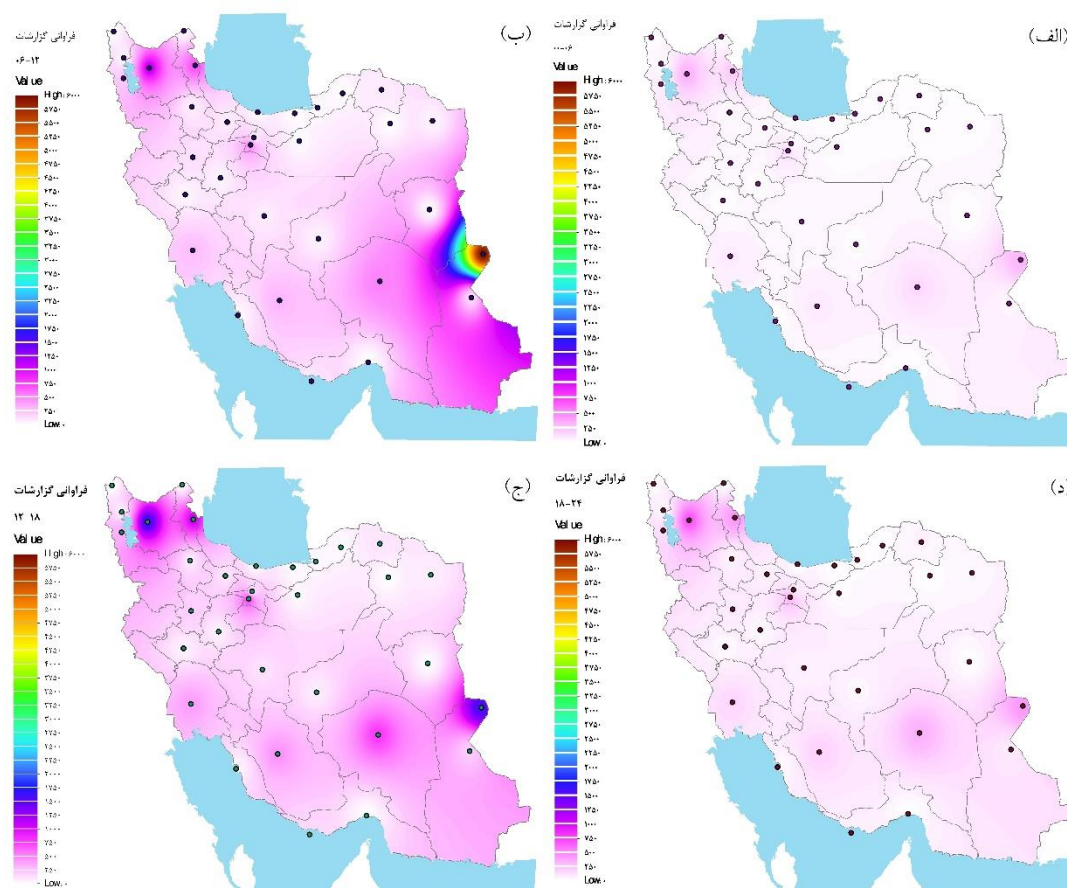
شکل (۶)، میانگین فراوانی گزارش‌های جست‌باد شدید با تندی بیش از ۲۵ متر بر ثانیه را برای ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. بررسی‌ها حاکی از آن است که فقط حدود ۱/۳ درصد (۳۲۹ مورد) از جست‌بادهای گزارش شده دارای تندی بیش از ۲۵ متر بر ثانیه و حدود ۹ درصد از آن‌ها دارای تندی بین ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه بوده‌اند. از ۳۲۹ مورد گزارش ثبت شده جست‌باد شدید با تندی بالای ۲۵ متر بر ثانیه، تعداد ۲۴۳ مورد مربوط به ایستگاه زابل و ۶۲ مورد مربوط به ایستگاه اردبیل بوده که تنها ۱۳ مورد از این گزارش‌ها از نوع همرفتی و سایر موارد از نوع غیرهمرفتی بوده است. فراوانی زیاد گزارش جست‌بادهای شدید در ایستگاه زابل غالباً مربوط به زمان وزش بادهای سیستان بود که بر اساس مطالعات پیشین (علیجانی، ۱۳۷۳ و حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) این بادهای در دوره گرم سال یعنی از اواسط خرداد تا اواسط مهرماه به مدت حدوداً ۱۲۰ روز از ارتفاعات شمال‌شرقی به سمت سرزمین‌های جنوب‌شرقی ایران می‌وزد و همان‌طور که اشاره شد می‌تواند افزایش و کاهش ناگهانی شدت باد را باعث شود.



شکل ۶- میانگین ماهیانه فراوانی جست باد با تندی بیش از ۲۵ متر بر ثانیه

۳-۳- تغییرات روزانه جست باد

شکل (۷-الف) تا (۷-د) فراوانی وقوع جست باد در بازه مورد مطالعه برای کلیه ایستگاه‌ها بر اساس ساعت وقوع این پدیده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه زابل، بیشترین فراوانی گزارش جست باد در حدود ساعت‌های ۱۲ تا ۱۸ محلی بوده است (شکل ۷-ج). در واقع زمان وقوع این پدیده اکثراً در بعدازظهر است که این می‌تواند به علت ناپایداری بیشتر در لایه مرزی به دلیل افزایش دمای سطحی در این زمان از روز باشد. این در حالی است که ایستگاه زابل به دلیل تأثیرپذیری زیاد از بادهای سیستان، دارای شرایط متفاوتی نسبت به سایر ایستگاه‌ها بود. بیشینه سرعت بادهای سیستان در ایستگاه زابل به صورت متوسط در حدود ساعت ۰۹:۰۰ اتفاق می‌افتد (حسین‌زاده، ۱۳۷۶، حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) که این عامل می‌تواند علت فراوانی بیشتر گزارش‌های جست باد در نزدیکی این ساعت از روز در ایستگاه زابل باشد (شکل ۷-ب).



شکل ۷- فراوانی وقوع جست‌باد در بازه زمانی مورد مطالعه برای تمامی ایستگاه‌ها بر اساس ساعات محلی

(الف) ۰۰-۰۶ (ب) ۰۶-۱۲ (ج) ۱۲-۱۸ (د) ۱۸-۲۴

(شکل‌ها با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ توسط نرم‌افزار ArcMap ترسیم شده‌اند)

۳-۴- شدت وقوع جست‌باد

به منظور دسته‌بندی جست‌بادها از لحاظ شدت و به عنوان مرجعی برای پیش‌بینی سطح خطر و اعلام هشدار و همچنین بر اساس بازه مربوط به تندی داده‌های موجود جست‌باد در ایران، طبقه‌بندی شامل ۳ سطح معرفی گردید. این ۳ سطح با تقریب اندکی برگرفته از طبقه‌بندی شاخص بوفورت^۱ بوده و نشان‌دهنده آستانه‌هایی است که شرایط و قدرت وزش باد در آن‌ها به صورت محسوس تغییر می‌کند. سطح ۱ شامل جست‌بادهای با سرعت ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه، سطح ۲ شامل جست‌بادهای با سرعت ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه و سطح ۳ شامل جست‌بادهای با سرعت بیش از

1 Beaufort Index

۲۵ متر بر ثانیه است. جست‌بادهای سطح ۳ شامل بالاترین سطح از لحاظ مخاطرات زیست‌محیطی بوده و نیاز به هشداردهی مناسب و اقدامات پیشگیرانه خاص خود را دارند. البته این طبقه‌بندی می‌تواند از منطقه‌ای به منطقه دیگر و بر حسب نیاز متفاوت باشد (کلندویچ و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول (۲)، دسته‌بندی جست‌باد بر اساس بیشینه تندی آن‌ها را نشان می‌دهد. روشن است که هرچه بیشینه تندی جست‌باد افزایش یابد، به تبع آن خطرات ناشی از وقوع این پدیده نیز بیشتر خواهد بود. همان‌طور که از **جدول (۲)** مشخص است، از مجموع ۲۳۸۳۷ گزارش موجود، ۱۱۲۵۱ گزارش جست‌باد در سطح هشدار ۱، ۲۱۸۴ مورد در سطح هشدار ۲ و ۲۶۸ مورد در سطح هشدار ۳ قرار داشت. فراوانی جست‌بادهای با تندی بالای ۲۵ متر بر ثانیه که از لحاظ شدت در سطح ۳ و رده پدیده‌های بسیار پرمخاطره جوی قرار می‌گیرند، فقط حدود ۱/۱ درصد از گزارش‌ها را به خود اختصاص داده که بیشتر این گزارش‌ها مربوط به مردادماه و ایستگاه زابل بوده است.

جدول ۲- فراوانی گزارش‌های جست‌باد در هر سطح هشدار طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸

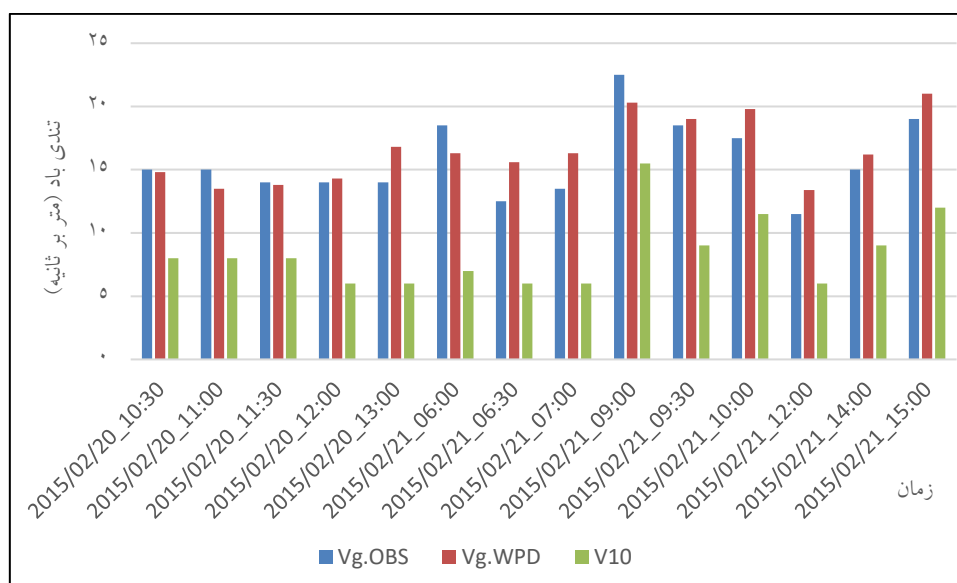
سطح هشدار	بیشینه تندی جست‌باد (متر بر ثانیه)	فراوانی
۱	۱۵-۲۰	۱۱۲۵۱
۲	۲۰-۲۵	۲۱۸۴
۳	> ۲۵	۲۶۸

۳-۵- پیش‌بینی تندی جست‌باد

در ادامه و به منظور پیش‌بینی تندی جست‌باد در کشور ایران، مدل WRF با شرایط اشاره شده در بخش ۲-۳ برای ۳۸ تاریخ منتخب (که تعداد گزارش‌های روزانه در آن‌ها نسبت به سایر روزها بیشتر بود) به صورت ۲۴ ساعته اجرا گردید. این تاریخ‌ها از سال‌ها و ماه‌های مختلف در طول دوره مورد مطالعه انتخاب گردیدند تا تأثیر عوامل فصلی و سالیانه در آن‌ها به حداقل برسد. داده‌های دیدبانی شده و همچنین داده‌های خروجی مدل مورد پیش‌پردازش قرار گرفته و پس از ارزیابی اولیه، در نهایت تعداد ۸۸۵ مورد گزارش جست‌باد غیرهمرفتی طی این ۳۸ روز از ایستگاه‌های مختلف به دست آمد. در ادامه مقادیر تندی باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین (U_{10}) و ارتفاع لایه مرزی (h_{PBL}) از برون‌داد مدل استخراج و مقادیر تندی باد در سقف لایه مرزی (U_{PBL}) بر اساس مقادیر خروجی مدل درونیابی شد. کلیه کدنویسی‌های لازم با استفاده از نرم‌افزار NCL نسخه ۶۵ صورت پذیرفت و در نهایت تندی جست‌باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین بر اساس روش WPD (رابطه ۱)، در زمان‌های مورد نظر پیش‌بینی گردید و نتایج با استفاده از داده‌های دیدبانی شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل، مقدار سنجه خطای مطلق میانگین برابر با $2/83$ ، مقدار سنجه میانگین مربع خطا برابر با $13/4$ ، مقدار سنجه جذر میانگین مربع خطا برابر با $3/23$ و مقدار سنجه ضریب همبستگی پیرسون نیز برابر با $0/71$ به دست آمد. بجز سنجه میانگین مربع خطا که مقدار آن برابر $13/4$ محاسبه گردید، سایر سنجه‌ها عملکرد قابل قبولی را برای روش WPD در پیش‌بینی تندی جست‌باد در کشور ایران نشان دادند.

شکل (۸)، مقادیر تندی باد میانگین ($V10$)، تندی جست‌باد دیدبانی شده ($Vg.OBS$) و تندی جست‌باد پیش‌بینی شده از روش WPD ($Vg.WPD$) را برای ایستگاه کرمان در تاریخ‌های انتخابی ۲۰ و ۲۱ فوریه سال ۲۰۱۵ به عنوان یک مطالعه موردی نشان می‌دهد. در طی این ۲ روز، وقوع تندبادهای لحظه‌ای و کاهش دید بر اثر طوفان شن در چندین زمان مختلف در ایستگاه پیش‌گفته گزارش گردیده است. به عنوان مثال بر اساس اطلاعات هوای حاضر ایستگاه (گزارش اسپسی)، در ساعت $09:30$ روز ۲۱ فوریه، تندی باد میانگین ۹ متر بر ثانیه و تندی جست‌باد $18/5$ متر بر ثانیه بوده است. این امر موجب کاهش دید افقی تا ۵۰۰ متر و وقوع پدیده طوفان شدید گرد و خاک یا شن گردیده است. این در حالی است که در این زمان مقدار تندی جست‌باد پیش‌بینی شده از روش WPD برابر با ۱۹ متر بر ثانیه برآورد گردید.



شکل ۸- نمودار تندی باد میانگین ($V10$)، تندی جست‌باد دیدبانی شده ($Vg.OBS$) و تندی جست‌باد پیش‌بینی

شده از روش WPD ($Vg.WPD$) برای ایستگاه کرمان در تاریخ‌های انتخابی ۲۰ و ۲۱ فوریه سال ۲۰۱۵

بر اساس محاسبات انجام شده، نتایج تندی جست باد پیش بینی شده از روش WPD در مقایسه با داده های دیدبانی شده (مشاهداتی) برای ایستگاه کرمان در تاریخ پیش گفته دارای خطای مطلق میانگین $1/66$ ، میانگین مربع خطا $3/72$ ، جذر میانگین مربع خطا $1/92$ و ضریب همبستگی پیرسون $0/79$ بود که همگی در محدوده قابل قبولی قرار داشتند.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی از انجام این مطالعه بررسی توزیع زمانی- مکانی جست باد در یک بازه زمانی ۱۵ ساله و بررسی و ارزیابی یک روش تجربی جهت پیش بینی این پدیده تحت عنوان WPD در کشور ایران بود. در بخش اول، کلیه اطلاعات جست باد از ۳۲ ایستگاه هواشناسی همدیدی در کشور ایران در طول سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی جمع آوری و از لحاظ زمان و مکان وقوع، نوع و همچنین شدت پدیده، مورد بررسی قرار گرفت. داده ها مربوط به گزارش های متار و اسپیدی تندی باد (گزارش های باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین) از ایستگاه های همدیدی سازمان هواشناسی ایران بود.

نتایج نشان داد در بازه مورد مطالعه، از مجموع ۲۳۸۳۷ مورد گزارش جست باد، ایستگاه زابل با ۸۲۸۳ مورد، بیشترین فراوانی وقوع را به خود اختصاص داده و به دنبال آن ایستگاه های تبریز، اردبیل، فرودگاه امام خمینی، کرمان و شیراز، به ترتیب با ۳۷۸۶، ۲۳۹۲، ۱۷۶۸، ۱۷۶۱ و ۱۰۱۳ مورد قرار گرفته اند. در مجموع این گونه به نظر می رسد که فراوانی گزارش های منطقه جنوب شرق و شمال غرب کشور نسبت به سایر مناطق بیشتر بوده و کمترین گزارش ها مربوط به مناطق شمال و شمال شرق کشور بوده است. از لحاظ فراوانی جست بادهای همرفتی، ایستگاه فرودگاه امام خمینی با ۱۲۷ مورد بیشترین آمار را به خود اختصاص داده و پس از آن ایستگاه های تبریز، اهواز، شیراز، مهرآباد و ارومیه به ترتیب با ۱۰۳، ۸۴، ۵۸، ۴۲ و ۳۳ مورد قرار دارند. به طور کلی، فراوانی گزارش های جست باد همرفتی در بازه مورد مطالعه در نیمه غربی کشور بیشتر بود. بیشترین تندی جست باد گزارش شده برابر با ۳۴ متر بر ثانیه و مربوط به ایستگاه همدان و از نوع غیر همرفتی بود. همچنین فراوانی گزارش های جست باد از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ به صورت کلی روندی صعودی داشته و سال ۲۰۱۸ بیشترین فراوانی وقوع جست باد را به خود اختصاص داده است. میان نتایج این مطالعه و نتایج حاصل از مطالعات گذشته، همخوانی و ارتباط مناسبی برقرار است. مشابه با نتایج فریرا و ناسیمتو (۲۰۱۶) اغلب جست بادهای گزارش شده در بین ساعت های ظهر تا بعد از ظهر (۱۲ تا ۱۸ محلی) به ثبت رسیده اند و از لحاظ زمانی نیز اغلب جست بادهای در نیمه اول سال اتفاق افتاده اند که نتایج حاصل شده با نتایج کلندویچ و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. بررسی ها نشان داد که فقط حدود ۱/۳ درصد (۳۲۹ مورد) از جست بادهای گزارش شده دارای تندی بیش از ۲۵ متر بر ثانیه و حدود ۹ درصد از آن ها دارای تندی بین ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه بوده اند.

در بخش دوم مطالعه به بررسی و ارزیابی روشی تجربی تحت عنوان WPD جهت پیش بینی تندی جست باد غیر همرفتی با استفاده از برون داد مدل WRF در کشور ایران پرداخته شد. مدل با شرایط اولیه و فیزیک انتخابی برای

۳۸ تاریخ تعیین شده به صورت ۲۴ ساعته اجرا و کمیت‌های مورد نیاز از برون داد مدل استخراج گردید. در نهایت نتایج پیش‌بینی تندی جست‌باد حاصل از روش WPD با استفاده از داده‌های دیدبانی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، مقدار سنجه خطای مطلق میانگین برابر با $2/83$ ، مقدار سنجه میانگین مربع خطا برابر با $13/4$ ، مقدار سنجه جذر میانگین مربع خطا برابر با $3/23$ و مقدار سنجه ضریب همبستگی پیرسون نیز برابر با $0/71$ به دست آمد. به جز سنجه میانگین مربع خطا که مقدار آن برابر $13/4$ محاسبه گردید، سایر سنجه‌ها عملکرد قابل قبولی را برای روش WPD در پیش‌بینی تندی جست‌باد نشان دادند. در مجموع می‌توان عملکرد روش WPD در پیش‌بینی تندی جست‌باد غیرهمرفتی در کشور ایران را مطلوب ارزیابی کرد.

لازم به توضیح است که این تحقیق به منظور به دست آوردن شناختی اولیه از چگونگی شکل‌گیری، توزیع زمانی- مکانی، شدت و امکان پیش‌بینی پدیده جست‌باد در ایران با استفاده از برون داد مدل WRF صورت گرفته که علی‌رغم اهمیت زیاد این پدیده، تا کنون به این شکل در کشور انجام نگرفته بود. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان مقدمه مطالعات آینده در زمینه پیش‌بینی وقوع جست‌باد در ایران مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تشخیص موقعیت زمانی- مکانی وقوع جست‌باد و پیش‌بینی آن، در کنار شناخت سازوکار شکل‌گیری این پدیده می‌تواند به کاهش مخاطرات زیست‌محیطی و اقدامات پیشگیرانه در این خصوص کمک کند. پیشنهاد می‌گردد در آینده مطالعاتی در خصوص ارزیابی عملکرد سایر روش‌های موجود پیش‌بینی جست‌باد از جمله روش‌های فیزیکی (مانند روش برسر) و آماری (مانند الگوریتم‌های یادگیری ماشینی و شبکه عصبی مصنوعی) صورت پذیرد.

قدردانی

نگارندگان این مقاله از سازمان هواشناسی ایران برای همکاری سازنده و در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز ایستگاه‌های هواشناسی، کمال تشکر را دارند.

کتابنامه

- حسین‌زاده، سیدرضا. (۱۳۷۶). بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، ۱۰۲-۱۲۷.
<https://www.noormags.ir/view/en/articlepage/144149>
 حمیدیان‌پور، محسن؛ مفیدی، عباس؛ سلیقه، محمد. (۱۳۹۵). تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستان، مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰، (۲)، ۸۳-۱۰۹.
https://www.ijgeophysics.ir/article_33350.html
 علیجانی، بهلول. (۱۳۷۳). آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۳۶ ص.
<https://www.ketabcity.com/bookview.aspx?bookid=1837223>
 محمدی، محمد حسام؛ مشکوتی، امیرحسین؛ قادر، سرمد؛ آزادی، مجید. (۱۳۹۹). بررسی آماری جست‌بادهای همرفتی و غیرهمرفتی در محدوده ایران، مجموعه مقالات نوزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، آبان ۱۳۹۹، ۸۸-۹۱.
https://www.nigsconference.ir/article_4098.pdf

محمودی، محمد حسام؛ مشکوتی، امیرحسین؛ قادر، سرمد؛ آزادی، مجید. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تندی جست‌باد در ایران با استفاده از مدل WRF، مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ایران، آذر ۱۳۹۹.

<https://civilica.com/doc/1243770>

مفیدی، عباس؛ حمیدیان‌پور، محسن؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول. (۱۳۹۲). تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت

وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطه تغییر، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۸،

صص. ۸۷-۱۱۲. https://geoeh.um.ac.ir/article_38890.html

Brasseur, O. 2001. Development and Application of a Physical Approach to Estimating Wind Gusts, Monthly Weather Review, 129 (1): 5-25.

[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0005:DAAOAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0005:DAAOAP>2.0.CO;2)

Burton, T., D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, 2011. Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 742 PP, edition 2.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119992714>

Choi, E. C. C., Hidayat, F. A., 2002. Gust factors for thunderstorm and non-thunderstorm winds. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90 (12): 1683-1696.

[https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00279-9](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00279-9)

Cook, N. J., Harris, R. I., and Whiting, R., 2003. Extreme wind speeds in mixed climates revisited. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91 (3): 403- 422.

[https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00397-5](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00397-5)

De Meutter, P., Gerard, L., Smet, G., Hamid, K., Hamdi, R., Degrauwe, D., and Termonia, P., 2015. Predicting small-scale, short-lived downbursts: case study with the NWP limited-area ALARO model for the Pukkelpop thunderstorm. Mon. Weather Rev., 143 (3): 742-756.

<https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00290.1>

Ferreira, V., Nascimento, E., 2016. Convectively-Induced Severe Wind Gusts in Southern Brazil, Surface Observations, Atmospheric Environment, and Association with Distinct Convective Modes: 28th Conference on Severe Local Storms, At Portland/OR, USA.

<https://ams.confex.com/ams/28SLS/webprogram/Paper299442.html>

Ghavidel, Y., Baghbanan, P., Farajzadeh, M., 2017. The spatial analysis of thunderstorm hazard in Iran. Arabian Journal of Geosciences. 10 (5): 1-13. <http://doi.org/10.1007/s12517-017-2902-7>

Jolliffe, I. T., and D. B. Stephenson, 2003. Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. John Wiley and Sons, 240pp. <http://doi.org/10.1002/9781119960003>

Kolendowicz, L., Tazarek, M., Czernecki, Bartosz., 2016. Convective and non-convective wind gusts in Poland, 2001-2015. Meteorology Hydrology and Water Management. 4 (2): 15-21.

<https://doi.org/10.26491/mhwm/63636>

Kurbatova, M., Konstantin, R., Gubenko, I. and Kurbatov, G., 2018. Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia. Advances in Science and Research, 15: 251-255. <https://doi.org/10.5194/asr-15-251-2018>

Mohr, S., Kunz, M., Richter, A., and Ruck, B., 2017. Statistical characteristics of convective wind gusts in Germany. Natural Hazards and Earth System Sciences, 17 (6): 957-969.

<https://doi.org/10.5445/IR/1000071814>

NCO, 1997. Subroutine calgust, Available from the National Weather Service, NCO Production, source code: <https://github.com/ERA-URBAN/UPP/blob/master/src/unipost/CALGUST.f>

RUC20, 2007. diagnostic output fields for the Rapid Refresh and HRRR, Available from the National Oceanic and Atmospheric Administration website:

- https://rapidrefresh.noaa.gov/RAP_var_diagnosis.html
- Sheridan, P., 2011. Review of Techniques and Research for Gust Forecasting and Parameterisation, Forecasting Research Technical Report 570, Met Office, Exeter. https://www.researchgate.net/publication/268744498_Review_of_techniques_and_research_for_gust_forecasting_and_parameterisation
- Skamarock W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X., Wang, W., Powers, J. G., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR THECNICAL NOTE. http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf
- Stucki, P., Dierer, S., Welker, C., Navarro, J. J. G., Raible, C. C., Martius, O. and Brönnimann, S., 2016. Evaluation of downscaled wind speeds and parameterised gusts for recent and historical windstorms in Switzerland. Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography, 68 (1). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3402/tellusa.v68.31820>



Performace Evaluation of PERSIAN PDIR-Now and PERSIANN CCS Products for Precipitation leading to the Most Severe Floods in Iran between 2017 and 2019

Seyed Hossein Sanaei Nejad^{a*}, Khosro Salari^b

^a Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b PhD Candidate in Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 25 December 2021

Revised: 19 February 2022

Accepted: 24 February 2022

Abstract

Precipitation is one of the main components of the hydrological cycle. Rainfall distribution plays a significant role in the Earth's energy balance and human access to water resources, but rainfall is not always promising for humans. Floods cause a lot of human and financial losses to people and infrastructure all over the world annually. Planning for the damage reduction must be done with some measurements. It is necessary to record the amount of rainfall in high resolution, but measuring precipitation in high spatial and temporal resolution is a costly process. Scientists have developed many models to estimate precipitation values. It is necessary to evaluate the output data of these models and their performance before using them. In this study, the performance of two precipitation estimation products, PERSIANN-CCS and PDIR-Now, was evaluated against precipitation recorded in all synoptic stations of Iran for the devastating flood events from 2017 to 2019. For comparing precipitation estimations with the ground data, 9 indices (PC, BIAS, FAR, POD, HSS, R^2 , ME, MAE & RMSE) were used. The results showed high variability of indicators in different events. On average, PERSIANN-CCS and PDIR-Now products have a coefficient of determination of 0.16 and 0.19 and RMSE of 9.38 and 12.78, respectively. The values are not desirable, even though the average of PC is high. Moreover, the results showed that the PERSIANN-CCS and PDIR-Now products do not perform well due to the statistical indexes for all stations, and further researches for better heavy rainfall estimation are needed.

Keywords: PERSIANN-CCS, PDIR-Now, Precipitation, Remote Sensing, Flood

*. Corresponding author: Seyed Hossein Sanaei Nejad E-mail: sanaein@gmail.com Tel: 09153136888

How to cite this Article: Sanaei-Nejad, S. H., & Salari, K. (2023). Performance evaluation of PDIR-Now and PERSIANN CCS products for precipitation leading to the most severe floods in Iran between 2017 and 2019. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 229-246.

DOI: 10.22067/GEOEH.2022.74364.1147



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74364.1147>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهار و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۴۶-۲۲۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش‌های منجر به

خسارت‌بارترین سیلاب‌های کشور ایران در سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸

سید حسین ثنائی نژاد^۱- استاد هوشناسی کشاورزی، گروه مهندسی علوم و آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
خسرو سالاری- دانشجوی دکتری هوشناسی کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴

چکیده

بارش یکی از اصلی‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی است. علاوه بر این، توزیع بارش نقش بسیار مهمی را در توازن انرژی کره زمین و دسترسی بشر به منابع آبی ایفا می‌کند؛ اما بارندگی همواره برای بشر ثمربخش نیست. هر ساله وقوع سیل در کشور ایران خسارات جانی و مالی بسیاری را به مردم و زیرساخت‌ها تحمیل می‌نماید. برای به حداقل رساندن این خسارت‌ها لازم است مقدار بارش‌های وقوع یافته اندازه‌گیری شود، تا بتوان برای کاهش خسارت‌ها برنامه‌ریزی کرد. از آنجایی که اندازه‌گیری بارش با دقت مکانی و زمانی بالا هزینه بسیاری دارد، مدل‌های بسیاری برای تخمین مقادیر بارش توسعه یافته‌اند؛ اما برای استفاده از داده‌های خروجی این مدل‌ها لازم است ابتدا عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش به ارزیابی عملکرد دو محصول تخمین بارش PERSIANN-CCS و PDIR-Now با استفاده از بارش‌های تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور برای خسارت‌بارترین سیلاب‌های ایران در سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸ اقدام گردید. برای ارزیابی عملکرد از شاخص‌های آماری PC، BIAS، FAR، POD، HSS،

Email: sanaein@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۳۶۸۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

ثنائی نژاد، سید حسین؛ سالاری، خسرو؛ ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش‌های منجر به خسارت‌بارترین سیلاب‌های کشور ایران در سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۱). صص ۲۴۶-۲۲۹

۲۲۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74364.1147>

MAE ، ME ، R^2 و $RMSE$ استفاده شد. نتایج به دست آمده بیانگر تغییرپذیری بالای شاخص‌ها در وقایع مختلف است. به‌طور میانگین ملاحظه شد که محصولات $PERSIANN-CCS$ و $PDIR-Now$ اگرچه دارای میانگین PC بالا هستند اما به ترتیب دارای ضریب تعیین $0/16$ و $0/19$ و $RMSE$ برابر با $9/38$ و $12/78$ بوده که مقادیر بسیار مطلوبی نیستند. با توجه به شاخص‌های آماری خطا در تاریخ‌های موردبررسی ملاحظه می‌شود که این دو محصول برای تخمین مقادیر بارش تمامی ایستگاه‌ها عملکرد مناسبی نداشته و برای تخمین بهتر بارش‌های منجر به سیلاب‌های سنگین، بررسی‌های بیشتر پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: $PERSIANN-CCS$ ، $PDIR-Now$ ، بارش، سنجش‌ازدور، سیل.

۱- مقدمه

بارش بخش اصلی چرخه آب‌شناختی است که وظیفه توزیع آب در سرتاسر کره زمین را بر عهده دارد؛ اما بارش همواره برای بشر مفید نبوده و گاه از طریق ایجاد سیل، منجر به بروز خسارات جانی و مالی فراوانی در کشورهای مختلف شده است. بر اساس تعریف آزمایشگاه ملی طوفان‌های شدید (۲۰۲۰) به جاری شدن آب بر روی سطحی از زمین که معمولاً خشک است، سیل گفته می‌شود.

به‌منظور آمادگی در برابر سیلاب، مدل‌های هشدار زودهنگام سیل در طول سال‌ها توسعه یافته‌اند (ون هوآنگ و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از داده‌های مورد نیاز این مدل‌ها، مقادیر بارش در حوضه‌های آبریز است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ قهرمان و همکاران، ۱۳۹۷). به دست آوردن مقادیر بارش با استفاده از داده‌های زمینی، امری بسیار زمان‌بر و پرهزینه است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ برت و بئومونت، ۱۹۹۴)، اما با ورود ماهواره‌های هواشناسی، امکان بررسی بهتر ابرها و در نتیجه تخمین مقادیر بارش در بسیاری از مناطق فراهم شد (کید، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر، محصولات تخمین بارش ماهواره‌ای فراوانی در دنیا عرضه گشته‌اند. از آنجایی که پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی برای بارش در ایران کاربرد چندانی (از نظر کمی و کیفی) برای استفاده در مدل‌های هشدار زودهنگام ندارند (خبرگزاری جمهوری اسلامی، ۱۳۹۸)، لذا محصولات ماهواره‌ای به‌عنوان گزینه مناسب احتمالی برای استفاده در این مدل‌ها مطرح می‌شوند. قبل از استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای، این محصولات باید توسط داده‌های ایستگاهی مورد ارزیابی قرار گیرند، تا میزان عملکرد آن‌ها مشخص شده و محصولی که بهترین عملکرد را در زمینه تخمین بارش دارد، مورد استفاده قرار گیرد.

1 Van Hoang et al.,

2 Barrett & Beaumont

3 Kidd

در این رابطه پژوهش‌های متعددی انجام شده است. **سبحانی و همکاران (۱۳۹۵)** برای تحلیل مقدار بارش پیش‌بینی شده از محصول بارش پروژه TRMM استفاده کردند، اما نتایج مقایسه پیش‌بینی‌های TRMM با داده‌های زمینی بیانگر عملکرد ضعیف این محصولات در تخمین بارش استان چهارمحال و بختیاری بود. **چاوشیان و کتیرایی (۱۳۹۸)** به بررسی و مقایسه متوسط سالانه بارش‌های اندازه‌گیری شده کشور با هفت مجموعه شامل مجموعه بارش زمینی و ماهواره‌ای اقدام کردند. ایشان سه مجموعه TRMM، GPCP و PERSIANN-CDR را به عنوان مجموعه‌های دارای بیشترین شباهت با داده‌های باران‌سنجی سالانه معرفی کردند. **اکبری و کاظم‌زاده (۱۳۹۸)** به ارزیابی بارش ماهانه تخمینی ماهواره TRMM محصول 3B43v7 در ایران پرداختند. نتیجه نهایی این پژوهش دربردارنده این موضوع بود که تخمین‌های ماهواره TRMM در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای بیش برآورد و پرباران دارای کم‌برآورد است. **رحمتی و مساح (۱۳۹۸)** در مطالعه موردی به ارزیابی مجموعه داده‌های PERSIANN، ERA-INTERIM و CHIRPS V2، TRMM-3B42RT، APHRODITE، PERSIANN-CDR و ERA-INTERIM الی ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج این پژوهش بیانگر عملکرد بهتر داده‌های APHRODITE و ERA-INTERIM در مقایسه با سایر مجموعه‌ها است، و داده‌های APHRODITE را به عنوان جایگزینی برای مناطق فاقد ایستگاه مشاهداتی پیشنهاد دادند. **گرچی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)** به مقایسه دو مجموعه بارشی PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR با داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی در بالادست سد مارون واقع در کشور ایران پرداختند. بررسی‌های ایشان نشان داد که مقادیر بارش‌های سالانه تخمینی، دارای کم‌برآورد بوده، اما در محصول PERSIANN-CCS مقادیر تخمین زده شده، به مقادیر مشاهده شده نزدیک‌تر است. در مورد بارش‌های روزانه و ماهانه، عملکرد محصول PERSIANN-CDR نسبت به محصول دیگر بهتر بوده است. **شکری و همکاران (۱۳۹۹)** به ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و PERSIANN-CDR و بررسی تأثیر ناهم‌واری‌ها بر این الگوریتم‌ها در حوضه آبریز حله پرداختند. ایشان دریافتند، که دقت محصولات مذکور در تخمین بارش روزانه قابل قبول نبوده، اما در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه از عملکرد بهتری برخوردار هستند. **مسعود و همکاران^۱ (۲۰۱۹)** به ارزیابی محصولات بارش زمان واقعی چند ماهواره‌ای برای کشور پاکستان در دوره آماری ۲۰۱۷ الی ۲۰۱۹ برای مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه پرداختند. ایشان بیان داشتند که عملکرد محصولات بارشی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به مراتب بهتر و قابل قبول‌تر از مقیاس روزانه است و عملکرد تصاویر ماهواره‌ای IMERG را نسبت به سایر محصولات بهتر ارزیابی نمودند. **السوماتی و همکاران^۲ (۲۰۲۰)** در مطالعه‌ای به ارزیابی عملکرد دو مجموعه CMORPH و GPM IMERG V06 در امارات متحده عربی برای دوره آماری ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۸ و مقیاس‌های زمانی روزانه و سالانه پرداختند. ایشان بیان داشتند که هر دو محصول عملکرد بسیار خوبی را در شناسایی بارش داشته‌اند،

1 Masood et al.,

2 Alsumaiti et al.,

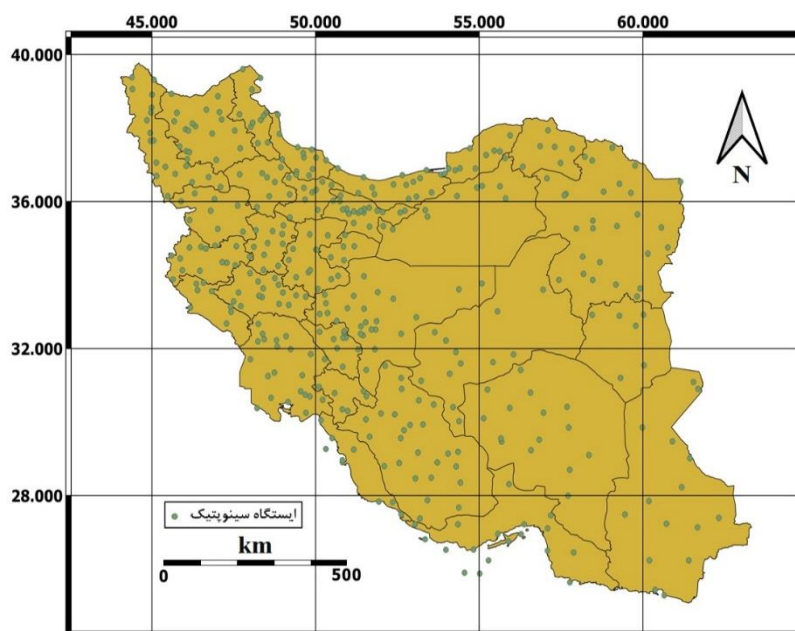
اما در گزارش‌های ماهواره‌ای مواردی وجود دارد که توسط ایستگاه‌های زمینی و به خصوص برای بارش‌های سبک به ثبت نرسیده است. **صائمیان و همکاران (۲۰۲۱)** در پژوهشی جامع به بررسی همه‌جانبه محصولات بارشی اقدام کرده که در آن تمامی محصولات بارشی موجود برای کشور ایران در مقیاس روزانه ماهانه و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت. ایشان در این پژوهش محصول PDIR-Now را به‌عنوان تنها محصولی زمان واقعی موجود و با عملکرد مناسب برای ایران معرفی نمودند.

با دقت در پژوهش‌های انجام شده مذکور، روشن می‌شود که ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌ای بارش به‌صورت کلی و برای تمامی وقایع بارشی در یک دوره آماری انجام شده است. علاوه بر این، سعی شده تا تعداد بیشتری از محصولات ماهواره‌ای در این مطالعات موردبررسی قرار گیرند. این نحوه بررسی اگرچه بسیار جامع و مفید است، اما توانایی محصولات بارشی برای تخمین بارش‌های سنگین، که عموماً منجر به وقوع سیلاب می‌شوند، مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. به همین منظور در این پژوهش با رویکردی متفاوت، به بررسی عملکرد دو محصول تخمین بارش PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای خسارت‌بارترین وقایع سیلاب کشور در سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸ پرداخته شد. این دو محصول صرفاً مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای بوده و همین موضوع باعث می‌شود تا در زمان سریع‌تری نسبت به محصولات ترکیبی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی و یا محصولات چندسنجنده‌ای در دسترس باشند. علاوه بر این تنوع اقلیمی گسترده در ایران باعث می‌شود که عملکرد مدل‌های تخمین بارش در نواحی اقلیمی مختلف، متفاوت باشد (**عزیزیان، امینی ۱۳۹۹**، **کیرایی و همکاران ۲۰۱۳**)؛ بنابراین به نظر می‌رسد، محصولاتی مانند PDIR-Now که تصحیحات اقلیمی را بر روی تخمین‌ها اعمال می‌کنند، عملکرد بهتری در تخمین بارش داشته باشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کشور ایران است. کشور ایران دارای مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع است و در محدوده طول جغرافیایی ۴۴ الی ۶۳/۵ و عرض جغرافیایی ۲۵ الی ۴۰ درجه گسترده شده است، که این کشور را در محدوده جنب حاره قرار می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کشور ایران و ایستگاه‌های سینوپتیک

در پژوهش انجام شده اخیر توسط رضیئی (۱۳۹۶) به روش کوپن - گایگر، کشور ایران به ۹ منطقه عمده اقلیمی تقسیم شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های گروه‌های اقلیمی کوپن گایگر موجود در ایران (رضیئی، ۱۳۹۶)

ویژگی	کد اقلیم
بیابان خشک و بسیار گرم	BWh
بیابان خشک و سرد	BWk
نیمه بیابانی (استپ) خشک و بسیار گرم	BSh
نیمه بیابانی (استپ) خشک و سرد	BSk
معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم	Csa
معتدل با تابستان‌های خشک و گرم	Csb
معتدل پرباران (بدون فصل خشک) با تابستان‌های گرم	Cfa
اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم	Dsa
اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم	Dsb

۲-۲- روش انجام پژوهش

به منظور بررسی عملکرد محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای وقایع سیلاب خسارت بار، مقدار بارش ثبت شده در روز وقوع سیل و روز ماقبل آن که در **جدول ۲** ارائه شده است، برای تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور که دارای داده بارش بودند، از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور^۱ تهیه گردید. از آنجایی که مقادیر بارش ۲۴ ساعته ایستگاهی از ساعت ۶ صبح هر روز الی روز بعد اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر بارش ماهواره‌ای برای ساعت ۲۴ بامداد هر روز الی روز بعد محاسبه می‌گردد، لذا برای برطرف کردن این عدم هماهنگی، مقادیر ساعتی تخمینی بارش از پایگاه داده محصولات^۲ استخراج شده و بازنگاری ۲۴ ساعته با استفاده از مجموع مقادیر ساعتی برای ساعت ۶ هر روز محاسبه گردید.

جدول ۲- فهرست سیل‌های انتخاب شده و روزهای مورد بررسی

ترتیب واقعه	تاریخ وقوع سیل	محل وقوع	روزهای مورد بررسی
واقعه اول	۲۵ فروردین ۱۳۹۶	شمال غرب ایران	۲۵ فروردین ۹۶
			۲۶ فروردین ۹۶
واقعه دوم	۲۰ مرداد ۱۳۹۶	شمال و شمال شرق ایران	۲۰ مرداد ۹۶
			۲۱ مرداد ۹۶
واقعه سوم	۲۸ اسفند ۱۳۹۷	شمال ایران	۲۷ اسفند ۹۷
			۲۸ اسفند ۹۷
واقعه چهارم	۶ فروردین ۱۳۹۸	جنوب غربی ایران	۵ فروردین ۹۸
			۶ فروردین ۹۸
			۷ فروردین ۹۸
			۸ فروردین ۹۸
واقعه پنجم	۱۱ فروردین ۱۳۹۸	جنوب و غرب ایران	۱۱ فروردین ۹۸
			۱۲ فروردین ۹۸
			۱۳ فروردین ۹۸
			۱۴ فروردین ۹۸
واقعه ششم	۸ خرداد ۱۳۹۸	شمال شرق ایران	۸ خرداد ۹۸
			۹ خرداد ۹۸
			۱۰ خرداد ۹۸
			۱۱ خرداد ۹۸

1 data.irimo.ir

2 https://chrdata.eng.uci.edu

۲-۲-۱- معرفی محصول PERSIANN-CCS

سامانه طبقه‌بندی ابر یا به اختصار PERSIANN-CCS یک محصول ماهواره‌ای بارش زمان واقعی با تفکیک بالا (۴ کیلومتر در ۴ کیلومتر) است. این محصول توسط مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور در دانشگاه اروین کالیفرنیا توسعه داده شده است. سامانه PERSIANN-CCS امکان طبقه‌بندی ویژگی‌های تکه‌های ابر بر اساس ارتفاع ابر، گستردگی سطحی و تغییرات بافت که توسط تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده می‌شود را فراهم می‌کند. در قلب PERSIANN-CCS الگوریتم تقسیم‌بندی متغیر آستانه ابر قرار دارد. برخلاف رویکرد سنتی آستانه ثابت، روش آستانه متغیر امکان شناسایی و تفکیک تکه‌های منفرد ابرها را فراهم می‌سازد. تکه‌های انفرادی سپس می‌توانند بر اساس بافت، ویژگی‌های هندسی، تحولات دینامیکی و ارتفاع قله ابر طبقه‌بندی شوند. این طبقه‌بندی‌ها برای تخصیص مقادیر بارش به هر پیکسل که درون ابر قرار دارد، با توجه به منحنی مشخصه‌ای که رابطه بین شدت بارش و دمای درخشندگی را تبیین می‌کند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور، ۲۰۱۹).

۲-۲-۲ معرفی محصول PDIR-Now

تخمین بارش با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به وسیله‌ی شبکه عصبی مصنوعی نرخ بارش پویای مادون‌قرمز نزدیک به زمان واقعی یا به اختصار PDIR-Now، مانند محصول PERSIANN-CCS یک محصول ماهواره‌ای بارش زمان واقعی با تفکیک بالا (۴ کیلومتر در ۴ کیلومتر) است. این محصول نیز توسط مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور در دانشگاه اروین کالیفرنیا توسعه داده شده است.

مزیت اصلی PDIR-Now در مقایسه با سایر مجموعه‌های داده بارشی زمان واقعی در وابستگی به تصاویر مادون‌قرمز که به تعداد زیاد در واحد زمان نمونه‌برداری می‌شوند، است. در نتیجه، تأخیر PDIR-Now از زمان وقوع بارش بسیار اندک است (بین ۱۵ الی ۶۰ دقیقه). علاوه بر این PDIR-Now خطاها و عدم قطعیت‌هایی که به دلیل استفاده از تصاویر مادون‌قرمز امکان به وجود آمدن دارد را اصلاح می‌نماید. این کار با روش‌های مختلفی که مهم‌ترین آن جابه‌جایی پویای منحنی بارش - دما است، به وسیله اقلیم‌شناسی بارش انجام می‌شود. تأخیر کوتاه PDIR-Now، این مجموعه داده را برای کاربردهای هیدرولوژیکی نزدیک به زمان واقعی، نظیر پیش‌بینی سیلاب و توسعه نقشه‌های طغیان سیلاب مناسب می‌سازد (مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور، ۲۰۱۹).

۲-۲-۳ ارزیابی داده‌های تخمین ماهواره‌ای

بسیاری از پدیده‌های هواشناسی را می‌توان به صورت وقایع دودویی ساده، در نظر گرفت (هوگن و میسون^۱، ۲۰۱۲). از جمله این وقایع می‌توان به بارش، سیل، یخبندان و یا سایر موارد اشاره کرد. حال برای ارزیابی عملکرد

یک سیستم پیش‌بینی می‌توان از جدول توافقی 2×2 و شاخص‌های استخراج شده از این جدول استفاده کرد (جوان، ۱۳۹۲). این جداول به شکل زیر هستند:

جدول ۳- جدول توافقی 2×2

بارش مشاهده شده در ایستگاه			نام مدل ارائه شده	
مجموع	بدون باران	بارانی	بارانی	بارش برآورد شده توسط مدل
$a + b$	b	a	بدون باران	
$c + d$	d	c	مجموع	
$a + b + c + d$	$b + c$	$a + c$		

در جدول ۳، a تعداد ایستگاه‌هایی است که هم توسط دیده‌بان و هم توسط مدل به‌صورت بارانی ثبت شده‌اند. b تعداد ایستگاه‌هایی هستند که بارش در آن‌ها فقط توسط مدل تخمین زده شده است. c وقایعی است که توسط دیده‌بان در هر ایستگاه ثبت شده، اما توسط مدل تخمین زده نشده است. d تعداد وقایعی است که هم مدل و هم ایستگاه بدون بارش گزارش کرده‌اند. این جدول‌ها برای هر روز بارشی پس از میانگین‌گیری ۲۴ ساعته از مقادیر بارش یک‌ساعته محصولات تهیه گردید، و بعد از آن، شاخص‌های ارزیابی از جدول‌های توافقی به دست آورده شدند. این شاخص‌ها به شرح زیر هستند:

$$PC = \frac{a + b}{a + b + c + d} \quad \text{رابطه (۱) شاخص نسبت صحیح (PC):}$$

$$BIAS = \frac{a + b}{a + c} \quad \text{رابطه (۲) شاخص اریبی (BIAS):}$$

$$FAR = \frac{b}{a + b} \quad \text{رابطه (۳) نسبت هشدار اشتباه (FAR):}$$

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad \text{رابطه (۴) احتمال تشخیص (POD):}$$

$$HSS = \frac{2(ad - bc)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)} \quad \text{رابطه (۵) نمره مهارت جدول 2×2 توافقی}$$

علاوه بر شاخص‌های ذکر شده، برای مقایسه مقدار بارش‌های تخمینی توسط دو محصول با بارش‌های ایستگاه‌های زمینی، از معیارهای آماری ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) استفاده شده است. این معیارها به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R^2 = \frac{\sum (S_i - \overline{O_i})^2}{\sum (O_i - \overline{O_i})^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)}{N} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{N} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این روابط S_i مقدار بارش تخمین زده شده توسط محصولات PDIR-Now یا CCS بوده، O_i مقدار بارندگی مشاهده‌ای و N تعداد کل مشاهدات است.

۳- نتایج و بحث

جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دو محصول PDIR-Now و PERSIANN-CCS را برای ۶ واقعه سیل خسارت‌بار اخیر کشور نمایش می‌دهند.

۳-۱- واقعه اول

عملکرد محصول PDIR-Now در هر دو روز این واقعه بسیار به یکدیگر نزدیک است. مقادیر شاخص PC برای روز اول و دوم به ترتیب برابر ۰/۴۵ و ۰/۴۰ است که مناسب نبوده و بیانگر این است که محصول در تخمین وقایع بارش و بدون بارش عملکرد مناسبی را نداشته است. شاخص BIAS و FAR نیز در این واقعه بسیار بالا و بیانگر تشخیص‌های اشتباه محصول است. در واقع مقادیر بالای BIAS بیانگر این موضوع است که این محصول وقایع بارشی را بیشتر از آنچه رخ داده پیش‌بینی کرده و به همین دلیل مقادیر FAR بسیار نزدیک به یک هستند. مقادیر بالای POD نیز حاکی از تشخیص صحیح محصول در تخمین وقایع بارش است، اما این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده مناسب بودن عملکرد محصول باشد. شاخص HSS با مقدار نزدیک به صفر بیانگر این موضوع است که محصول PDIR-Now عملکرد خوبی را از خود در تخمین مقادیر بارش در این واقعه ارائه نکرده است. مقدار کم R^2 نشان‌دهنده همبستگی بسیار ضعیف تخمین‌ها با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده است. به‌علاوه مقادیر بالای ME، MAE و RMSE نیز تأیید کننده همین موضوع هستند. مقدار مثبت شاخص ME بیانگر بیش برآورد مقادیر بارش توسط محصول PDIR-Now است.

نتایج به دست آمده از محصول PERSIANN-CCS بسیار مشابه با نتایج به دست آمده از محصول PDIR-Now است. تنها وجه تمایز این دو محصول در تخمین مقادیر بارش به وقوع پیوسته است، که محصول PDIR-Now عملکرد بهتری نسبت به محصول PERSIANN-CCS دارد، اما همچنان مناسب نیست.

در پژوهش **گرچی و همکاران (۱۳۹۸)** مقادیر به دست آمده RMSE، POD و FAR برای محصول CCS به طور میانگین برای محدوده مورد مطالعه ایشان، کمتر از مقادیر به دست آمده در پژوهش حاضر بود، دلیل این موضوع عملکرد متفاوت محصولات بارشی در هر منطقه می باشد. مقادیر به دست آمده ضریب تعیین برای این واقعه در مقایسه با پژوهش زنگنه نیز (۱۳۹۷) کمتر است. این اختلاف به دلیل تفاوت محصولات مورد استفاده، چندان دور از انتظار نیست. در محصولات TRMM علاوه بر استفاده از داده های دمای درخشندگی سطح ابر، از داده های راداری و ماکروویو نیز بهره می برند. به این ترتیب علاوه بر تشخیص ویژگی های سطح فوقانی ابر، وضعیت رطوبتی داخل ابر نیز مشخص شود و تخمین بارش با دقت بهتری انجام می شود؛ اما حتی با وجود این برتری باز هم نتایج به دست آمده از پژوهش **زنگنه و همکاران (۱۳۹۷)** در مورد محصول بارشی TRMM و **گرچی و همکاران (۱۳۹۷)** درباره محصول CCS بیانگر عملکرد ضعیف هر دو محصول در مقیاس روزانه است.

۳-۲- واقعه دوم

شاخص PC در مورد محصول PDIR-Now برای هر دو روز بسیار بالا، و مقادیر BIAS برای این واقعه نسبت به واقعه اول بسیار کمتر است. مقدار بالای شاخص FAR بیانگر ضعف بالای این شاخص برای تخمین ایستگاه های بدون بارش در این واقعه است. میزان پایین شاخص POD نیز نشانگر ضعف محصول در تشخیص وقایع بارشی است. شاخص HSS نیز در این واقعه اندک است. شاخص های مقداری خطا اگرچه کم و امیدوار کننده هستند، اما به معنای عملکرد مناسب محصول نمی باشند؛ زیرا در هماهنگی با شاخص های دیگر نیستند. به علاوه محصول PDIR-Now در برآورد مقدار بارش روز اول واقعه دوم، دارای کم برآورد بوده و شاهد این موضوع مقدار منفی ME است. عملکرد محصول CCS نسبت به PDIR-Now در این واقعه کمی بهتر است؛ به طوری که شاخص PC در حالتی ایده آل قرار گرفته و مقادیر شاخص FAR و BIAS نیز به مقدار زیادی کاهش پیدا کرده اند. البته در این محصول BIAS از یک کمتر بوده و به این معنی است که محصول PERSIANN-CCS در این واقعه تعداد ایستگاه های دارای بارش را کمتر از واقعیت تخمین زده است؛ به طوری که FAR برای روز دوم واقعه برابر با صفر شده است. مقادیر شاخص های مقداری نیز به صورت مشابه با محصول PDIR-Now بسیار کم است؛ اما محصول PERSIANN-CCS در واقعه دوم مقدار بارش را کمتر برآورد کرده است.

۳-۳- واقعه سوم

در واقعه سوم بین مقادیر شاخص‌ها در روز اول و دوم اختلاف زیادی وجود دارد، به صورتی که عملکرد محصول PDIR-Now در تشخیص وقوع بارش در روز اول، به مراتب بهتر از روز دوم است. شاخص BIAS نزدیک به یک، نشان‌دهنده تخمین نسبتاً صحیح وقایع بارشی در روز اول است؛ اما بر اساس شاخص HSS همچنان محصول PDIR-Now عملکرد خاصی را دارا نیست. در رابطه با شاخص‌های مقداری نیز اختلاف زیادی بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر مشاهداتی دیده می‌شود، که کمتر از واقعیت تخمین زده شده‌اند. این وضعیت درباره محصول PERSIANN-CCS نیز صادق بوده و مشابه با محصول PDIR-Now است.

۳-۴- واقعه چهارم

این واقعه شامل چهار روز بوده که عملکرد PDIR-Now در هر چهار روز متفاوت است. بهترین عملکرد برای تخمین وقوع بارش، در روزهای دوم و سوم صورت گرفته است. علت این عملکرد مناسب بالا بودن مقادیر PC و POD و پایین بودن BIAS و FAR است. شاخص HSS نیز در مقایسه با وقایع دیگر تفاوت زیادی ندارد. در رابطه با تخمین مقادیر بارش، روز اول دارای بیشترین ضریب تعیین و بیشترین اختلاف را با مقادیر اندازه‌گیری شده است. در روزهای دوم و سوم نیز محصول در تخمین مقادیر بارش دارای کم‌برآورد است.

در رابطه با محصول PERSIANN-CCS نیز شرایط به صورت مشابه با محصول PDIR-Now است. تفاوت محصول PERSIANN-CCS با محصول PDIR-Now در این واقعه، در تخمین مقادیر بارش است، که در محصول PERSIANN-CCS برخلاف محصول دیگر بیش برآورد مقدار بارش مشاهده می‌شود.

در پژوهش السوماتی (۲۰۲۰) که با استفاده از محصول بارش ماهواره IMERG-V6 انجام گرفته نیز مقادیر POD بالا بوده که نشان می‌دهد، مدل مورد استفاده در تشخیص وقوع بارش موفق است، اما مقادیر بالای FAR نیز به این معنی است که در خیلی از ایستگاه‌ها وقوع بارش به اشتباه اعلام شده است. نکته حائز اهمیت در پژوهش ایشان پایین بودن مقادیر RMSE و MAE و ME است. علت این برتری را نیز می‌توان در لایه‌های مورد استفاده در مدل یافت. محصول IMERG-V6 از داده‌های GPM و داده‌های ماکروویو ATMS استفاده می‌کند، که همانند محصولات TRMM باعث افزایش دقت محصول می‌شود.

۳-۵- واقعه پنجم

بهترین عملکرد محصول PDIR-Now در واقعه پنجم برای تخمین وقوع بارش در روز سوم صورت گرفته است. مقادیر شاخص‌های تخمین وقوع بارش در این روز نسبت به سایر روزها بیشتر است. بهترین تخمین در برآورد مقدار بارش بر اساس شاخص ضریب تعیین در روز دوم اتفاق افتاده است، اما در این روز مقادیر RMSE به مقدار بسیار زیادی بالا است.

در محصول PERSIANN-CCS بهترین عملکرد در تخمین روزهای بارانی در روز دوم قابل ملاحظه است. با این حال همچنان پایین بودن شاخص HSS بیانگر عملکرد غیر خاص محصول است. به علاوه بهترین عملکرد محصول برای تخمین مقادیر بارش نیز در همین روز است؛ اما همچنان مقادیر خطا بسیار بالاست.

۳-۶- واقعه ششم

در این واقعه بهترین عملکرد محصول PDIR-Now در مورد شاخص های وقوع بارش در روز دوم صورت گرفته است؛ اما در رابطه با تخمین های مقداری، بهترین عملکرد در روز سوم اتفاق افتاده که مقادیر ضریب تعیین همچنان پایین است.

محصول PERSIANN-CCS بهترین عملکرد را در تخمین وقوع بارش برای روز سوم واقعه داشته است. بهترین عملکرد برای تخمین مقدار بارش در روز دوم اتفاق افتاده است.

۳-۷- میانگین ها

مقدار میانگین شاخص PC برای محصول PDIR-Now برابر $0/72$ است. این مقدار بیانگر این است که در 72 درصد ایستگاه ها، وقوع یا عدم وقوع بارش توسط محصول به درستی پیش بینی شده است. این شاخص برای محصول PERSIANN-CCS برابر $0/73$ است. شاخص BIAS برای محصول PDIR-Now برابر $1/84$ بوده و به این معنی است که در بیشتر ایستگاه ها وقوع بارش پیش بینی شده است، در حالی که ایستگاه ها بدون بارش بوده اند. این شاخص برای محصول PERSIANN-CCS برابر $1/49$ است که نشان می دهد پیش بینی محصول PDIR-Now نسبت به محصول PERSIANN-CCS دارای بیش برآورد است. مقدار شاخص FAR برای محصول PDIR-Now برابر است با $0/51$ که به معنی پیش بینی اشتباه وقوع بارش در 51 درصد موارد است. مقدار این شاخص در محصول PERSIANN-CCS برابر با $0/45$ است. شاخص POD در محصول PDIR-Now برابر $0/75$ بوده که بیانگر پیش بینی صحیح وقوع بارش در 75 درصد از موارد است و محصول PERSIANN-CCS تنها در 68 درصد از موارد، پیش بینی صحیح ارائه داده است.

شاخص HSS برای محصول PDIR-Now برابر $0/16$ است. با توجه به اینکه مقدار این شاخص به صفر نزدیک است؛ بنابراین محصول عملکرد خوبی را در تخمین وقایع بارشی دارا نیست. شاخص HSS برای محصول PERSIANN-CCS برابر $0/15$ بوده و نتیجه مشابه با محصول قبلی را در میزان عملکرد دارد.

مقدار R^2 (ضریب تعیین) برای محصول PDIR-Now برابر با $0/19$ است، که بیانگر عملکرد ضعیف محصول در تخمین مقدار بارش رخ داده در مجموعه ایستگاه ها است. ضریب تعیین برای محصول PERSIANN-CCS برابر با $0/16$ بوده که همچنان مقدار اندکی است.

مقدار ME در محصول PDIR-Now برابر با ۱/۹۴ می‌باشد و به این معنی است که محصول دارای بیش‌برآورد می‌باشد. این شاخص برای محصول PERSIANN-CCS برابر با ۴/۳۹ بوده که نشان می‌دهد، میزان بیش‌برآورد PERSIANN-CCS بیشتر از محصول PDIR-Now است.

در محصول PDIR-Now شاخص‌های MAE و RMSE به ترتیب برابر ۵/۷۶ و ۹/۳۸ هستند. این دو شاخص نشان‌دهنده وجود خطای بالا در محصول PDIR-Now برای پیش‌بینی مقدار بارش در مجموعه ایستگاه‌ها هستند. مقادیر MAE و RMSE برای محصول PERSIANN-CCS نیز به ترتیب برابر ۷/۹۳ و ۱۲/۷۸ هستند، که نشان می‌دهد عملکرد محصول PDIR-Now لندگی بهتر است. [نوبین و همکاران^۱ \(۲۰۲۰\)](#) در مقیاس روزانه و مقیاس وقایع حدی، مقادیر بهتری از شاخص‌های آماری را در مقایسه با این پژوهش بدست آوردند. ایشان در این پژوهش داده‌های خود را با داده‌های ماهواره‌ای و چندسنسوری IMERG و NCEP 4 مورد مقایسه قرار دادند که همین موضوع باعث می‌شود عملکرد محصولات افزایش پیدا کند.

همان‌طور که مشاهده شد، در محصول PERSIANN-CCS نتایج میانگین بسیار به محصول PDIR-Now نزدیک است. تنها تفاوت موجود عملکرد نسبتاً بهتر محصول PDIR-Now در مقایسه با محصول PERSIANN-CCS است، که این موضوع با نتیجه حاصل از پژوهش [نوبین و همکاران^۲ \(۲۰۲۰\)](#) مطابقت دارد.

در ارزیابی [صائمیان و همکاران \(۲۰۲۱\)](#) با رویکرد نقطه به پیکسل، محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now به ترتیب دارای همبستگی ۰/۱۷ و ۰/۲۶ بوده و BIAS نیز به ترتیب برابر ۱/۵۸ و ۱/۰۳ می‌باشد، که این مقادیر با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر همخوانی دارد. مقادیر HSS (نمره مهارت هیگ) در پژوهش ایشان اما به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۵۳ است. علت مقادیر بالای نمره مهارت هیگ در پژوهش [صائمیان \(۲۰۲۱\)](#) را می‌توان در این دانست که ایشان به‌جای بررسی وقایع خاص، تمامی روزها را در دوره آماری مورد مطالعه، بررسی کرده‌اند، همین موضوع باعث بهبود عملکرد محصولا به دلیل افزایش تعداد پیش‌بینی‌های موفق مدل شده است.

به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش عملکرد محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای تخمین بارش‌های سنگین مورد مطالعه در این پژوهش چندان مطلوب نبوده که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های [عزیزیان و امینی \(۱۳۹۹\)](#) و [زنگنه و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) مبنی بر عملکرد نامناسب محصول ماهواره‌ای PERSIANN-CCS مطابقت دارد.

1 Nguyen et al.

2 Nguyen et al.,

جدول ۴- مقادیر تمامی معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مستخرج از جدول‌های توافقی برای تمامی وقایع

بارشی محصول PDIR-Now

تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R ²	ME	MAE	RMSE
۲۵ فروردین ۹۶	۰/۴۰	۴/۷۲	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۱۶	۹/۴۹	۹/۵۹	۱۵/۶۲
۲۶ فروردین ۹۶	۰/۴۵	۳/۰۷	۰/۶۸	۰/۹۹	۰/۱۵	۰/۰۴	۸/۹۳	۱۰/۰۹	۱۳/۴۴
۲۰ مرداد ۹۶	۰/۸۹	۱/۷۰	۰/۸۲	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۱۳	-۰/۱۷	۰/۵۱	۳/۰۲
۲۱ مرداد ۹۶	۰/۸۹	۲/۵۳	۰/۸۴	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۲۶	۱/۱۲
۲۷ اسفند ۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹۶	۰/۵۰	۰/۰۶	-۵/۹۳	۸/۳۹	۱۵/۱۷
۲۸ اسفند ۹۷	۰/۵۱	۱/۲۰	۰/۶۸	۰/۳۸	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۱/۰۰	۳/۹۹	۱۰/۱۷
۵ فروردین ۹۸	۰/۷۲	۱/۳۹	۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۶۴	۱۴/۱۰	۱۵/۱۷	۲۴/۰۸
۶ فروردین ۹۸	۰/۸۶	۱/۱۱	۰/۱۲	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۳۱	-۲/۹۴	۱۲/۶۸	۱۷/۶۳
تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R ²	ME	MAE	RMSE
۷ فروردین ۹۸	۰/۸۴	۱/۰۴	۰/۱۰	۰/۹۳	۰/۱۰	۰/۰۸	-۳/۳۳	۶/۸۸	۹/۴۴
۸ فروردین ۹۸	۰/۵۱	۱/۵۴	۰/۶۶	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۲/۰۴	۳/۴۱	۶/۲۵
۱۱ فروردین ۹۸	۰/۶۸	۱/۴۱	۰/۳۲	۰/۹۶	۰/۱۵	۰/۲۹	۵/۹۹	۷/۱۴	۱۱/۰۱
۱۲ فروردین ۹۸	۰/۷۷	۱/۲۸	۰/۲۳	۰/۹۹	۰/۰۵	۰/۴۰	۱/۵۲	۱۱/۵۹	۱۷/۹۴
۱۳ فروردین ۹۸	۰/۷۳	۱/۳۵	۰/۲۷	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۱/۸۹	۷/۸۰	۱۰/۱۳
۱۴ فروردین ۹۸	۰/۴۵	۳/۵۵	۰/۷۴	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۰۱	۳/۳۹	۳/۷۰	۶/۰۲
۸ خرداد ۹۸	۰/۷۶	۱/۴۸	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۸۲	۲/۳۲
۹ خرداد ۹۸	۰/۸۵	۱/۳۳	۰/۴۶	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۶۲	۱/۹۱
۱۰ خرداد ۹۸	۰/۸۷	۱/۴۵	۰/۵۱	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۹۷
۱۱ خرداد ۹۸	۰/۷۶	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۲۰	۰/۶۴	۲/۷۰
میانگین	۰/۷۲	۱/۸۴	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۱/۹۴	۵/۷۶	۹/۳۸

جدول ۵- مقادیر تمامی معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مقادیری و مستخرج از جدول‌های توافقی برای

تمامی وقایع بارشی محصول PERSIANN-CCS

تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R ²	ME	MAE	RMSE
۲۵ فروردین ۹۶	۰/۴۴	۴/۴۸	۰/۷۸	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۱۰	۱۳/۱۲	۱۳/۱۳	۲۳/۵۶
۲۶ فروردین ۹۶	۰/۴۴	۳/۰۳	۰/۶۹	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۱۶/۱۰	۱۷/۶۵	۲۷/۲۸
۲۰ مرداد ۹۶	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۵۷	-۰/۳۷	۰/۳۷	۳/۱۳
۲۱ مرداد ۹۶	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۷۹
۲۷ اسفند ۹۷	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۰۲	۰/۸۹	۰/۲۹	۰/۰۱	-۶/۳۹	۹/۸۱	۱۶/۰۵
۲۸ اسفند ۹۷	۰/۶۰	۴/۲۰	۰/۷۳	۰/۱۱	-۰/۰۵	۰/۰۱	-۱/۶۱	۳/۶۰	۱۰/۶۸
۵ فروردین ۹۸	۰/۷۲	۱/۳۸	۰/۲۸	۱/۰۰	۰/۰۱	۰/۵۵	۳۹/۲۹	۳۰/۲۴	۳۹/۳۱

تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R ²	ME	MAE	RMSE
۶ فروردین ۹۸	۰/۸۸	۱/۱۳	۰/۱۲	۱/۰۰	-۰/۰۱	۰/۲۵	۳/۹۸	۱۶/۲۴	۲۱/۶۳
۷ فروردین ۹۸	۰/۷۸	۰/۹۴	۰/۱۰	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۰۰	-۲/۲۲	۸/۴۱	۱۱/۶۸
۸ فروردین ۹۸	۰/۵۸	۱/۰۰	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۱/۲۹	۲/۶۸	۵/۸۹
۱۱ فروردین ۹۸	۰/۶۸	۱/۳۷	۰/۳۲	۰/۹۴	۰/۱۷	۰/۳۰	۵/۹۹	۷/۱۴	۱۱/۰۱
۱۲ فروردین ۹۸	۰/۷۸	۱/۲۸	۰/۲۲	۱/۰۰	۰/۰۹	۰/۴۵	۷/۵۰	۱۳/۳۷	۱۹/۴۷
۱۳ فروردین ۹۸	۰/۶۹	۱/۳۳	۰/۲۹	۰/۹۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۴/۰۱	۹/۹۵	۱۳/۴۷
۱۴ فروردین ۹۸	۰/۵۱	۲/۹۶	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۱۴	۰/۰۱	۴/۴۸	۴/۸۲	۹/۳۸
۸ خرداد ۹۸	۰/۷۵	۲/۵۷	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۲۷	۰/۰۴	۲/۰۷	۲/۲۵	۶/۶۶
۹ خرداد ۹۸	۰/۸۲	۱/۵۳	۰/۵۲	۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۲۳	۱/۲۳	۱/۴۴	۴/۰۷
۱۰ خرداد ۹۸	۰/۸۸	۱/۳۴	۰/۴۹	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۱۹	۰/۵۳	۰/۶۹	۲/۶۱
۱۱ خرداد ۹۸	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۸۸	۳/۱۳
میانگین	۰/۷۳	۱/۴۹	۰/۴۵	۰/۶۸	۰/۱۵	۰/۱۶	۴/۳۹	۷/۹۳	۱۲/۷۸

۴- جمع‌بندی

اگرچه محصولات تخمین بارش ابزارهای بسیار مناسبی برای پیش‌بینی بارندگی و هشدار سیل هستند، اما قبل از استفاده از این محصولات لازم است ابتدا عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور، عملکرد دو محصول PDIR-Now و PERSIANN-CCS برای خسارت‌بارترین وقایع سیل سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، محصولات PDIR-Now و PERSIANN-CCS عملکرد متفاوتی در روزهای موردبررسی از خود نشان دادند. این عملکرد از حالت‌های مطلوب تا حالت‌های فوق‌العاده ضعیف تغییر می‌کرد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی محصولات تخمین بارش PDIR-Now و PERSIANN-CCS نشان‌دهنده این است که عملکرد محصولات با توجه به میانگین شاخص‌های به‌دست‌آمده از جدول‌های توافقی ۲×۲ برای وقوع و یا عدم وقوع بارش در منطقه بدون در نظر گرفتن شاخص نمره مهارت بسیار بالا است، اما با دقت در شاخص نمره مهارت مشخص می‌شود که این عملکرد فقط به‌صورت ظاهری مناسب است. در حقیقت مقدار نمره مهارت نزدیک به صفر بیان‌گر این است که محصولات عملکرد بسیار خوبی ندارند. در واقع به دلیل اینکه همواره بخشی از کشور بدون پوشش ابر است، عملکرد این شاخص‌ها در تخمین وقوع بارش به‌صورت غیرواقعی بهبود پیدا می‌کند. به‌علاوه، ملاحظه می‌شود که در تعدادی از وقایع موردبررسی، محصولات تخمین بارش، عملکرد بسیار ضعیفی را برای پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش از خود نشان داده‌اند.

مقادیر به دست آمده از شاخص های آماری ME ، MAE و $RMSE$ نیز بیان گر عملکرد ضعیف این محصولات در تخمین مقادیر واقعی بارش است. در واقع با یک رویکرد کلی در مورد کشور ایران، این محصولات توانایی تخمین نزدیک به واقعیت را برای همه ایستگاه های زمینی کشور ندارند. با این حال عملکرد محصول PDIR-Now از محصول PERSIANN-CCS نسبتاً بهتر است؛ زیرا در این محصول از تأثیرات اقلیم بر بارش استفاده شده است. در واقع محصول PDIR-Now نسخه بهبود یافته PERSIANN-CCS با توجه به اقلیم مناطق مختلف است. با توجه به نتایج به دست آمده و عملکرد ضعیف محصولات مورد بررسی، پیشنهاد می شود عملکرد محصولات فوق در دوره های آماری طولانی تر مورد ارزیابی قرار گیرند، به علاوه عملکرد هر دو محصول برای سیستم های مختلف بارشی نیز بررسی شود.

کتابنامه

- اکبری، جواد؛ کاظم زاده، مجید؛ ۱۳۹۸. ارزیابی دقت توزیع مکانی بارش ماهواره TRMM 3B43 در اقلیم مختلف کشور ایران. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۳ (۴۴)، ۷۳.
- <https://www.magiran.com/paper/1947294>
- جوان، خدیجه؛ ۱۳۹۲. *ارزیابی تطبیقی داده های ماهواره ای و داده های زمینی در برآورد مقدار بارندگی در حوضه آبریز دریچه ارومیه*. پایان نامه دکتری دانشگاه تبریز. دانشکده جغرافیا. گروه آب و هواشناسی. اساتید راهنما دکتر بهروز ساری صراف، دکتر علی اکبر رسولی. استاد مشاور: دکتر مهدی عرفانیان.
- چاوشیان، علی؛ کتیرایی، پری سیما؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده های دیدبانی (زمینی و ماهواره ای) بارش بر روی ایران. *نشریه آب و خاک*، ۳۳ (۳)، صص ۵۲۰-۵۰۱.
- <https://www.magiran.com/paper/2041188>
- خبرگزاری جمهوری اسلامی؛ ۱۳۹۸. *هشدارهای هواشناسی قابلیت پیش بینی سیل را ندارند [اخبار]*. بازیابی شده در ۲۵ اسفند ۱۳۹۹، از <https://www.irna.ir/news/83327702>
- رحمتی، اکبر؛ مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی پایگاه داده های جهانی بارش برای استفاده در مدل های فیزیکی، مطالعه موردی: حوزه آبریز کارون. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۵ (۱)، صص ۱۹۲-۱۷۸.
- <https://www.magiran.com/paper/1978598>
- زنگنه اینالو، محمدرضا؛ قهرمان، بیزن؛ فرید حسینی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. مقایسه مقادیر مشاهداتی و اطلاعات بارش ماهواره ای PERSIAN و CMORPH - روش های درون یابی در مقایسه ساعتی و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاپور). *مجله تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۴ (۴)، صص ۱-۱۲.
- <https://www.magiran.com/paper/1936725>
- سبحانی، بهروز؛ عالی جهان، مهدی؛ زینالی، بتول؛ ۱۳۹۵. واکاوی همدید - ماهواره ای موج بارشی سنگین استان چهارمحال و بختیاری. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۵ (۲۰)، صص ۱۳۴-۱۰۹.
- <https://www.magiran.com/paper/1706341>

شریفی، احسان؛ ثقفیان، بهرام؛ هلد اشتایناکر، راین؛ ۱۳۹۵. بررسی کارایی جدیدترین نسل محصولات بارش ماهواره‌های با وضوح زمانی-مکانی بالا. ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران.

<https://civilica.com/doc/559219/>

شکری کوچک، سعید؛ آخوندعلی، علی محمد؛ شریفی، محمدرضا؛ ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و PERSIANN-CDR و بررسی تأثیر ناهمواری‌ها بر آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز حله. مجله اکوهیدرولوژی. ۷(۲)، صص ۵۲۷-۵۱۱.

<https://www.magiran.com/paper/2144274>

عزیزیان، اصغر؛ امینی، ستاره؛ ۱۳۹۹. تأثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در سطح ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۶(۱)، صص ۱۰۱-۸۶.

<https://www.magiran.com/paper/2146596>

قهرمان، بیژن؛ زنگنه اینالو، محمدرضا؛ فریدحسینی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. بررسی تطابق داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM اصلاح شده، با داده‌های بارش زمینی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ی آبخیز رود شاپور استان فارس. فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی. ۱۲۱، صص ۵۷-۴۳.

<https://www.magiran.com/paper/1963200>

گرجی زاده، علی؛ آخوندعلی، علی محمد؛ شهبازی، علی؛ مریدی، علی؛ ۱۳۹۸. مقایسه دو مجموعه داده بارش شبکه‌بندی شده با وضوح بالا در بالادست سد مارون در ایران. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۳)، صص

<https://www.magiran.com/paper/2007634>. ۵۴۱-۵۲۷

Alsumaiti, T. S., Hussein, K., Ghebreyesus, D. T., & Sharif, H. O., 2020. Performance of the CMORPH and GPM IMERG products over the United Arab Emirates. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/RS12091426>

Barrett, E. C., 1970. The estimation of monthly rainfall from satellite data. *Monthly weather review*, 98(4), 322-327.

[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1970\)098<0322:TEOMRF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1970)098<0322:TEOMRF>2.3.CO;2)

Hogan, R. J., & Mason, I. B., 2012. Deterministic Forecasts of Binary Events. In *Forecast Verification* (pp. 31-59). <https://doi.org/10.1002/9781119960003.ch3>

Katiraie-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L., & Sorooshian, S., 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments*, 97, 205-219.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.05.013>

Kidd, C., 2001. Satellite rainfall climatology: A review. *International Journal of Climatology*, 21(9), 1041-1066. <https://doi.org/10.1002/joc.635>

Laboratory, N. N. S. S., 2020. *SEVERE WEATHER 101 Flood Basics*. Retrieved March 8, 2021, from <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/floods/>

Masood, M., Shakir, A. S., Azhar, A. H., Nabi, G., & Habib-u-Rehman., 2020. Assessment of Real Time, Multi-Satellite Precipitation Products under Diverse Climatic and Topographic Conditions. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 56(4), 577-591.

<https://doi.org/10.1007/s13143-019-00166-1>

Nguyen, P., Ombadi, M., Goroooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... & Ralph, M. F., 2020. PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate (PDIR-Now): A Near-Real-Time,

- Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset. *Journal of hydrometeorology*, 21(12), 2893-2906. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0177.1>
- Saemian, P., Hosseini-Moghari, S. M., Fatehi, I., Shoarinezhad, V., Modiri, E., Tourian, M. J., ... & Sneeuw, N., 2021. Comprehensive evaluation of precipitation datasets over Iran. *Journal of Hydrology*, 603, 127054. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127054>
- Ur Rahman, K., Shang, S., Shahid, M., & Wen, Y., 2020. An Appraisal of Dynamic Bayesian Model Averaging-based Merged Multi-Satellite Precipitation Datasets Over Complex Topography and the Diverse Climate of Pakistan. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/rs12010010>
- Van Hoang, T., Chou, T. Y., Nguyen, N. T., Fang, Y. M., Yeh, M. L., Nguyen, Q. H., & Nguyen, X. L., 2019. A robust early warning system for preventing flash floods in mountainous area in Vietnam. In *ISPRS International Journal of Geo-Information* (Vol. 8, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/ijgi8050228>



Identifying and Prioritizing the Effective Weather Threats to the Combat Readiness of Military Units in Southeast Iran

Mohammad Mohammadi^{a*}, Mohammadhosein Naserzadeh^b, Bohlul Alijani^c, Hasan Ghazi^d

^a PhD in Climatology, Army Command and Staff University, Tehran, Iran

^b Associate Professor in Climatology, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

^c Professor of Climatology, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

^d Assistant Professor in Defense Management, Army Command and Staff University, Tehran, Iran

Received: 2 March 2022

Revised: 26 April 2022

Accepted: 8 May 2022

Abstract

Combat readiness in military units indicates the ability of the unit to perform military missions. To study and extract climatology threats in the southeastern Iran, data from 19 synoptic stations with a statistical period of 22 years were used and to prioritize climatology threats, combat readiness criteria were used. Dust storms, heat stress, heavy rainfall and sultry conditions were identified as the most important climatology threats affecting combat readiness in the region. Based on the hierarchical analysis of dust storms, the most important and effective threat to the combat readiness of military units was identified. The incompatibility rate was calculated and its value was less than 0.1, so the pairwise comparison, weighting, and prioritization of threats were confirmed. The zoning map of each climatology threat was prepared by GIS software. Using the weight of each climatology threat, combining the zoning maps of the identified threats, and using fuzzy hierarchical analysis, a comprehensive map of climatology threats was prepared. Zabol and Zahak synoptic stations in spring, the whole region in summer, Saravan station in autumn and Iranshahr, Saravan, Minab, and Kahnooj stations in winter are the worst places for military units. Moreover, in autumn the lowest frequency of hazards is in the region. Based on climatology maps, autumn was recognized as the best season for the deployment and operation of military units in the region. The most weather threats such as dust storms, heat stress and sultry conditions occur in summer. In this season, the combat readiness of the units stationed in the southeast Iran is extremely reduced.

Keywords: Weather Threats, Combat Readiness, Hierarchical Analysis

*.Corresponding author: Mohammad Mohammadi E-mail: M.Mohammadi@casu.ac.ir Tel: + 989127513453

How to cite this Article: Mohammadi, M., Naserzadeh, M., Alijani, B., & Ghazi, H. (2023). Identifying and prioritizing the effective weather threats to the combat readiness of military units in southeast Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 247-267.

DOI: 10.22067/geoh.2022.75845.1200



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75845.1200> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۶۷-۲۴۷

مقاله پژوهشی

شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی منطقه جنوب شرق

 محمد محمدی^۱ - دکتری تخصصی آب و هواشناسی، دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش، تهران، ایران.

محمدحسین ناصرزاده - دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

بهلول علیجانی - استاد آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

حسن قاضی - استادیار مدیریت دفاعی - دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱۸

چکیده

آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی نشان‌دهنده توانایی و قابلیت آن یگان در انجام مأموریت‌های نظامی است. جهت انجام پژوهش و استخراج تهدیدات جوی در منطقه جنوب شرق از داده‌های مربوط به سرعت باد، دید افقی، بارش، فشار بخار آب و دما در مقیاس روزانه مربوط به ۱۹ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۲۲ (۲۰۰۰-۲۰۲۱) ساله استفاده شده و برای اولویت‌بندی تهدیدات جوی از معیارهای آمادگی رزمی (تحرک، نیروی انسانی، سلاح و تجهیزات، آموزش، اطلاعات، مهمات، مهندسی، جنگ نوین، فاوا) استفاده شده است. طوفان‌های گردوغبار، تنش گرمایی، بارش‌های سنگین و شرایط شرجی به‌عنوان مهم‌ترین تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در منطقه شناسایی شد. بر اساس تحلیل سلسله مراتبی انجام‌شده طوفان‌های گردوغبار مهم‌ترین و مؤثرترین تهدید بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی تشخیص داده شد. نقشه پهنه‌بندی هر یک از تهدیدات جوی در نرم‌افزار جی‌آی‌اس تهیه و درنهایت با استفاده از وزن هر یک از تهدیدات جوی به‌دست‌آمده و با ترکیب نقشه‌های پهنه‌بندی تهدیدات شناسایی شده و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی، نقشه جامع تهدیدات جوی در منطقه به‌صورت

Email: M.Mohammadi@casu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۵۱۳۴۵۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

محمدی، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین؛ علیجانی، بهلول؛ قاضی، حسن؛ ۱۴۰۲. شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر

آمادگی رزمی یگان‌های نظامی منطقه جنوب شرق. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۲۶۷-۲۴۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75845.1200>

فصلی و سالیانه تهیه شد. ایستگاه‌های سینوپتیک زابل و زهک در فصل بهار، تمام منطقه در فصل تابستان، ایستگاه سراوان در فصل پاییز و ایستگاه‌های ایرانشهر، سراوان، میناب و کهنوج در فصل زمستان بدترین مکان برای استقرار یگان‌های نظامی است و همچنین در فصل پاییز کمترین فراوانی مخاطرات را در منطقه شاهد بودیم و بر اساس نقشه‌های ترسیمی تهدیدات جوی، این فصل بهترین فصل برای استقرار و فعالیت یگان‌های نظامی در منطقه تشخیص داده شد.

کلیدواژه‌ها: تهدیدات جوی، آمادگی رزمی، تحلیل سلسله‌مراتبی.

۱- مقدمه

میزان و معیار ارزیابی یگان‌های نظامی در زمان صلح از طریق میزان آمادگی رزمی آن‌ها مشخص می‌شود و هر مقدار یگان‌ها از آمادگی رزمی بالاتری برخوردار باشند، از قابلیت بالاتری در جهت مواجهه با شرایط رزمی و جنگی برخوردار خواهند بود. آمادگی رزمی مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در سرنوشت جنگ‌ها است و اصلی‌ترین معیار در ارزیابی کارایی واحدهای رزمی در یگان‌های نظامی است. این مهم بیانگر میزان توانایی و قابلیت واحدهای نظامی در اجرای مأموریت‌ها است. هر نوع تاکتیک، تکنیک و یا تجهیزاتی که در میدان نبرد بکار برده می‌شود، به میزان آمادگی رزمی یگان‌های نظامی بستگی دارد و واحدهای نظامی که از این نظر در سطح مطلوبی قرار دارند، از کارایی بالاتری نیز در اجرای مأموریت‌ها برخوردار هستند. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های فرماندهان، میزان آمادگی رزمی یگان‌های تحت امر خود است زمانی که این مهم حاصل شود فرمانده در طرح‌ریزی و اجرای مأموریت‌های محوله با اطمینان بیشتری عمل کرده و احتمال موفقیت نیز افزایش می‌یابد. مؤلفه‌های آمادگی رزمی در یگان‌ها از شرایط بدی آب‌وهوایی متأثر شده و در صورت عدم توجه به تهدیدات جوی آمادگی رزمی یگان‌ها به‌شدت کاهش پیدا کرده و از قابلیت آن‌ها در شرایط رزم به‌شدت کم می‌شود.

تأثیر آب‌وهوا روی عملیات و تجهیزات نظامی غیرقابل انکار است. اطلاع کافی از شرایط جوی باعث موفقیت‌های نظامی می‌گردد. تمام عناصر تشکیل‌دهنده هوای یک منطقه در عملیات نظامی اثر دارد. سرعت و جهت باد در هوانوردی نظامی و گسترش اثر بمباران‌های شیمیایی، حرکت ناوگان‌های دریایی و ... دخالت دارد. گازهای سمی پخش‌شده در جهت باد گسترش می‌یابند و هرچه قدر سرعت باد بیشتر باشد، گسترش آن‌ها سریع‌تر و در منطقه وسیع‌تری صورت می‌گیرد (علیجانی، ۱۳۶۷). دما در انتخاب نوع تجهیزات و تدارکات نظامی، فعالیت ماشین‌آلات و نیروهای نظامی اثر می‌گذارد. بررسی حداقل و حداکثر دما برای ساخت و یا سفارش نوع لباس و توقف طولانی‌مدت یگان‌های رزمی حائز اهمیت است و تعیین آستانه‌های حرارتی یکی از ضروری‌ترین اقدامات قبل از انجام عملیات نظامی است (حنفی، ۱۳۹۳). آب‌وهوا یکی از مهم‌ترین عوامل برترساز توان رزمی در یگان‌های نظامی است؛ در صورتی که آب‌وهوا به سمت شرایط حدی میل کند و درعین حال، آمادگی و پیش‌بینی لازم برای مقابله با آن وجود

نداشته باشد بر آمادگی رزمی یگان‌ها و به تبع آن بر طرح‌ریزی‌ها، برآوردها و طرح‌های نظامی تأثیر مستقیم و منفی گذاشته و مأموریت نیروهای نظامی را با مشکل مواجه می‌سازد. تهدیدات جوی یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر است، که فرماندهان کتتری روی آن ندارند؛ باین‌حال، فرماندهان می‌توانند از آن بهره ببرند تا از طریق برنامه‌ریزی صحیح، اثرات منفی آن را به حداقل ممکن رسانده و از آن به‌عنوان یک فرصت و یک مزیت علیه دشمن استفاده نمایند. برای ارزیابی آمادگی رزمی از مؤلفه‌های تحرک، نیروی انسانی، سلاح و تجهیزات، آموزش، اطلاعات، مهمات، مهندسی، جنگ نوین، فوا، جنگال، بهداری رزمی و عوامل نامحسوس استفاده می‌شود و مهم‌ترین مسئله‌ای که بر همه این مؤلفه‌ها تأثیر مستقیم دارد، شرایط ویژگی‌های آب‌وهوایی یک منطقه است. میزان تأثیرگذاری شرایط حدی و هر یک از تهدیدات جوی بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی کاملاً متفاوت است، ولی اهمیت هر یک از آن‌ها مشخص نیست؛ لذا مطالعه حاضر به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی این تهدیدات در تأثیرگذاری بر آمادگی رزمی و تهیه نقشه تهدیدات جوی در منطقه انجام می‌شود و تمام مؤلفه‌های آمادگی رزمی به‌جز بهداری رزمی و عوامل نامحسوس در این تحقیق استفاده شده است.

مفیدی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی، پهنه‌بندی مخاطرات جوی شمال شرق ایران را انجام و برای منطقه مورد مطالعه ۱۳ مخاطره را شناسایی و برای هر کدام نقشه پهنه‌بندی در نرم‌افزار جی‌آی‌اس ترسیم و از ترکیب آن‌ها نقشه جامع مخاطرات جوی منطقه را تهیه و مخاطرات جوی منطقه را به ۳ دسته اصلی مخاطرات دمایی، مخاطرات مربوط به دید و مخاطرات بارشی تقسیم کردند. **حنفی و فخری (۱۳۹۳)** با استفاده از شاخص اقلیم نظامی (MCI^1) اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی وضعیت اقلیم دفاعی نیمه غربی کشور نموده و وضعیت اقلیم نظامی در ماه‌های مختلف سال را مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار دادند. **محمدی و همکاران (۱۳۹۴)** ارتباط بین عناصر اقلیمی با فرار از خدمت سربازی در پادگان‌های نظامی را با استفاده از روش‌های آمار توصیفی، روابط همبستگی و رگرسیونی بررسی و نشان دادند که بین عناصر اقلیمی (دما، بارش) با تعداد فراریان از خدمت سربازی رابطه همبستگی معنادار وجود دارد. **افشاری (۱۳۹۵)** در آیین‌نامه هواشناسی نظامی جنبه‌های نظامی آب‌وهوا را بررسی و تأثیر هر یک از عناصر آب‌وهوایی را در کارکردهای نظامی مطالعه نموده است. **بدری و رضایی (۱۳۹۶)** با استفاده از عناصر اقلیمی اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی تقویم اقلیم‌شناسی نظامی شمال غرب کشور نموده و سپس آستانه‌های عناصر اقلیمی تأثیرگذار در عملیات نظامی را تعیین و احتمالات وقوع پارامترهای تأثیرگذار بر عملیات نظامی را محاسبه و شاخص اقلیم دفاعی را برای این منطقه به دست آورده‌اند.

عباسی و رستمی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای نقش آب‌وهوا را به‌عنوان عامل برتر ساز توان رزمی در یگان‌های هوانیروز جهت مقابله با گروه‌های تکفیری-تارشرگی مورد مطالعه قرار داده‌است. **حنفی و منیری (۱۳۹۸)** در پژوهشی تحت

1 Military climate index

عنوان آمایش اقلیم دفاعی منطقه جنوب شرق کشور و اهمیت آن در سناریوهای طرح‌ریزی عملیات‌های نظامی، به این نتیجه رسیدند که ایستگاه‌های زهک و زابل کمترین مطلوبیت اقلیم نظامی را دارا هستند و در ماه‌های مهر، آبان و اسفند بیشترین مطلوبیت اقلیم دفاعی در سطح منطقه برقرار است. **صفوی (۱۳۹۹)** در تحقیقی تأثیر پدیده‌های جوی در بروز سوانح هوایی دو دهه اخیر نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران را بررسی و به این نتیجه رسید که پدیده‌های ابرناکی، اغتشاشات جوی و طوفان‌های تندی به میزان زیاد و خیلی زیاد (به ترتیب ۷۲ درصد، ۶۸ درصد و ۶۷ درصد) و پدیده‌های یخبندان و باد به میزان کمتر از متوسط (به ترتیب ۲۹ درصد و ۲۲/۲۵ درصد) در بروز سوانح هوایی دو دهه اخیر نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران، تأثیرگذار بوده و از مجموع سوانح هوایی به وقوع پیوسته در دو دهه اخیر، پنج سانحه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر پدیده‌های جوی به‌عنوان عوامل اصلی یا کمکی، اتفاق افتاده است که در این بین، پدیده ابرناکی در بروز چهار سانحه، پدیده اغتشاشات جوی در بروز دو سانحه، پدیده‌های باد و طوفان‌های تندی هرکدام در بروز یک سانحه تأثیرگذار بوده‌است، ولی مؤلفه یخبندان در این دو دهه تأثیری در بروز سوانح هوایی نداشته است.

در خصوص تأثیرات آب‌وهوا از دیدگاه نظامی، تحقیقات متعددی در خارج از ایران نیز انجام‌شده است که دسترسی به برخی از آن‌ها به دلیل نظامی بودن و به تبع آن، محرمانه بودن موضوع غیرممکن است. برخی تحقیقات انجام‌شده در این زمینه به شرح ذیل است:

تامزی^۱ و همکاران (۱۹۹۶) در تحقیقی نقش آب‌وهوا را به‌عنوان یک عامل برترساز در نیروی هوایی ارتش آمریکا بررسی و راهکارهای لازم برای نیروی هوایی تا سال ۲۰۲۵ را ارائه داده است. **استیوارد^۲ و همکاران (۲۰۱۰)** اثرات تغییرات اقلیمی روی تقاضا برای کمک‌های بشردوستانه و پاسخ به حادثه ارتش ایالات‌متحده را مطالعه و در این تحقیق کارکردهای ارتش آمریکا را در زهان مخاطرات اقلیمی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق در مورد چالش‌های فرمانطقه‌ای که ارتش ایالات‌متحده با آن مواجه هست بحث شده است. اولین چالش این است که تعداد عملیات‌هایی که ارتش در حال حاضر به آن‌ها پاسخ می‌دهد با تغییرات اقلیم و به تبع آن به دلیل افزایش مخاطرات جوی روند افزایشی دارد. **بای‌بن^۳ و همکاران (۲۰۱۱)** در تحقیقی با عنوان دیدگاه نظامی به تغییر آب‌وهوا در سراسر جهان، شاخص‌های آب‌وهوایی نیروی دریایی را بر محیط کار نظامی بررسی کردند و اعتقاد دارند که محیط کار نظامی زمینه، ویژگی‌ها و چالش‌های منحصر به فردی دارد.

1 Tamzy

2 Stewart

3 By Bann

کارلو^۱ و همکاران (۲۰۱۱) شاخص دفاع جهانی امنیت در مورد تغییرات اقلیمی در ارتش آمریکا را بررسی و پیامدهای تغییرات اقلیم و شرایط نامطلوب اقلیمی در نیروی دریایی ارتش آمریکا را مورد مطالعه قرار داده‌اند. شرلی^۲ و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود با عنوان پیامدهای تغییرات اقلیمی برای ارتش، و برای درگیری و پیشگیری، از جمله از طریق مأموریت‌های صلح‌آمیز، تغییرات آب‌وهوایی را تهدیدی جدی برای امنیت جهانی دانسته و خطری فوری بیان کرده و تغییرات آب‌وهوایی را در برنامه‌ریزی‌های دفاعی و امنیتی مهم دانسته است. مایکل^۳ (۲۰۱۹) در مطالعه متغیرهای تاکتیکی، ابزاری برای تجزیه و تحلیل مأموریت، به بررسی متغیر جو، زمین و دشمن پرداخته و عناصر دما، رطوبت هوا، دید، سمت و سرعت باد، بارش (باران و برف) و ابر، در یک مکان خاص و در یک‌زمان خاص را بر انجام موفقیت‌آمیز مأموریت مهم ارزیابی نموده و به‌طور کلی زمین و هوا را مستقیماً بر استقرار توانایی‌های نظامی، استفاده از سلاح، تجهیزات و تحرک مؤثر دانسته است.

با توجه به آنچه بیان شد هدف اصلی تحقیق شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی و تعیین توزیع مکانی تهدیدات در منطقه مورد مطالعه است.

۲- مواد و روش

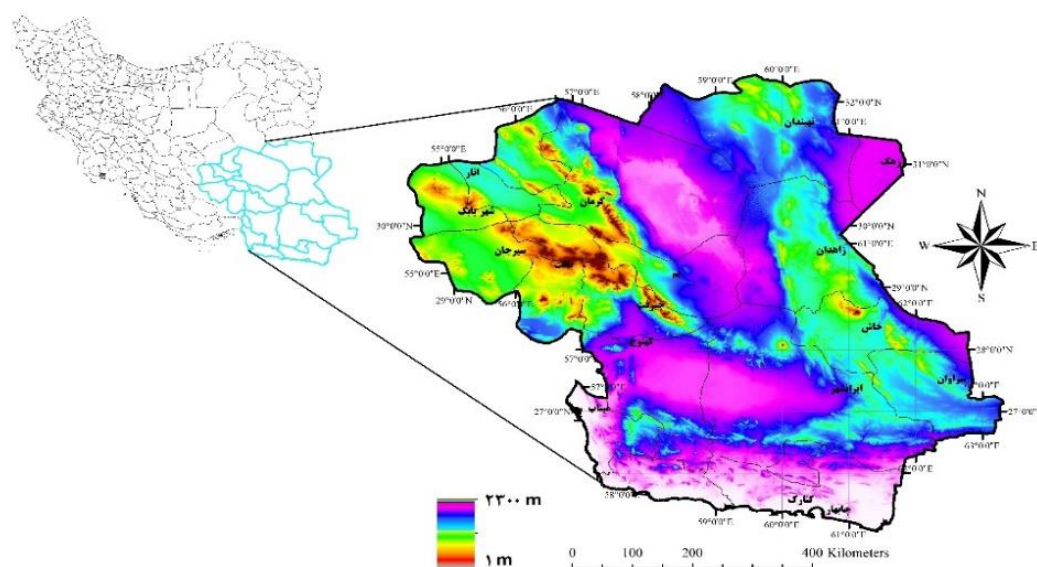
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل کلیه ایستگاه‌های منطقه جنوب شرق واقع در استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و شهرستان نهبندان استان خراسان جنوبی و بخش‌هایی از استان هرمزگان که در ۲۵ درجه الی ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۴ درجه ۳۰ دقیقه درجه الی ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است. این منطقه از شرق به کشور پاکستان و افغانستان و از جنوب به سواحل دریای عمان ختم می‌شود. قدرت‌های فرامنطقه‌ای مانند آمریکا با توجه به موقعیت ژئواستراتژیکی و ژئوپلیتیکی خلیج فارس همیشه در این منطقه حضور فعال دارند و در صورت تهدید نظامی ایران از سوی کشورهای فرامنطقه‌ای یکی از محتمل‌ترین راه‌کارها دشمن استفاده از سواحل جنوبی ایران خواهد بود.

1 Carla et al

2 Shirley

3 Michal



شکل ۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش انجام پژوهش

جهت شناسایی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در منطقه مورد مطالعه، از داده‌های سطحی مربوط به عناصر اقلیمی با دوره آماری ۲۲ (۲۰۰۰-۲۰۲۱) سال که شامل داده‌های سمت و سرعت باد، دید افقی، بارش، فشار بخار آب، دمای حداکثر، میانگین دما از ایستگاه‌های سینوپتیک (۱۹ ایستگاه) در منطقه مورد مطالعه است، اخذ گردیده است (شکل ۱). برای شناسایی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی در منطقه جنوب شرق، ابتدا مطالعه اکتشافی در خصوص موضوع تحقیق صورت پذیرفته و آیین‌نامه‌های نظامی داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق بررسی شده است (جدول ۱) و همچنین نظر صاحب‌نظران و خبرگان نظامی در خصوص موضوع تحقیق اخذ و برای تعیین تهدیدات جوی به شرح ذیل اقدام شده است:

برای شناسایی تنش گرمایی، دمای بالای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده و بارش سنگین به بارش‌های بالای ۵ میلی‌متر در روز، اطلاق شده است (جدول ۱) که تأثیر منفی بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی دارد و به عنوان تهدید جوی برای فعالیت و کارکردهای نظامی محسوب می‌شود. در این شرایط آمادگی رزمی یگان‌ها به شدت کاهش یافته و تمام مؤلفه‌های آمادگی رزمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (جدول ۱).

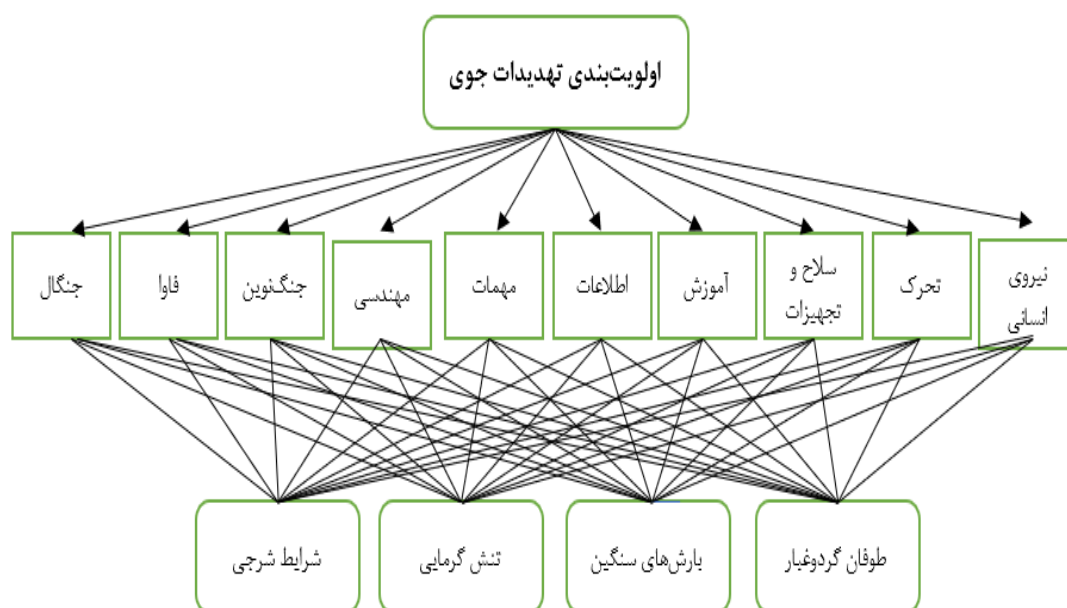
جدول ۱- پارامترهای جوی و آستانه و نوع تأثیرگذاری آن‌ها در عملیات نظامی (FM 34-81/AFM 105-4)

عصر جوی	مقادیر بحرانی	تأثیرات بر فعالیت‌های نظامی
بارش	بیشتر از ۵ میلی‌متر	متناسب با نوع خاک تأثیر منفی در حرکت تحرک نیروها و وسایل نقلیه دارد. تدارکات نیروهای خودی را با مشکل مواجه می‌سازد. باعث کاهش دید شده و اکتساب اهداف را با مشکل مواجه می‌کند. برد وسایل ارتباطی را کاهش می‌دهد. امکان استفاده از دود و عوامل شیمیایی را از بین می‌برد. کارایی رادارهای زمینی را کاهش می‌دهد. بر حس‌گرهای مادون‌قرمز تأثیر منفی می‌گذارد.
دمای سطحی	بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد	در انبارداری و نگهداری وسایل فاسدشدنی تأثیر منفی دارد. کارایی کارکنان را کاهش و نیاز به تدارکات بیشتر را افزایش می‌دهد. بر ارتباط و مخابرات تأثیر منفی و برد بی‌سیم‌ها را کاهش می‌دهد. اثرگذاری عوامل شیمیایی را بیشتر می‌کند. بر کارایی دوربین‌های حرارتی تأثیر منفی دارد.
باد سطحی	بیشتر از ۱۵ متر بر ثانیه	بر عملیات‌های ایجاد پرده دود تأثیر می‌گذارد. محدودیت دید را برای نیروها ایجاد می‌کند. امکان استقرار پل‌های متحرک و سایر استحکامات را با مشکل مواجه می‌سازد. بر هلی‌برن و هلی‌برد نیروها تأثیر می‌گذارد. دقت موشک‌های ضدتانک و مهمات را به‌شدت کاهش می‌دهد. بر ارتباط و مخابرات تأثیر منفی می‌گذارد. امکان استفاده از پهپادهای متوسط و کوچک وجود ندارد.

از شاخص فشار جزئی بخار آب برای شناسایی شرایط حدی شرجی استفاده شده است. بر این اساس محققان روز شرجی را روزی دانسته‌اند که مقدار فشار جزئی بخار آب آن روز برابر یا بیشتر از $1/8$ هکتوپاسگال باشد که از رابطه ۱ زیر به دست می‌آید (مجرد و همکاران، ۱۳۹۸):

$$E = \frac{rh \times es}{100}$$

که در این رابطه e فشار بخار آب جزئی (هکتوپاسگال) rh رطوبت نسبی و es فشار بخار اشباع برحسب هکتوپاسگال است. برای انتخاب روزه‌های همراه با توفان گردوغبار، سرعت باد 15 m/s و دید افقی کمتر از 4000 متر گرفته شد؛ بنابراین روزه‌های با مشخصات مذکور به‌عنوان روزه‌های توأم با گردوغبار شده لحاظ شده است (جدول ۱).



شکل ۲- شمایک تحلیل سلسله مراتبی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی

پس از استخراج تهدیدات جوی، اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی به روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. برای اندازه‌گیری ارزش هر یک مؤلفه‌های آمادگی رزمی (معیارها) در مقایسه زوجی از پرسشنامه محقق ساخته و مصاحبه با صاحب‌نظران استفاده شده است.

شکل ۲، هدف، معیارها و گزینه‌ها را در تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد. ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارها که حاصل مصاحبه با صاحب‌نظران و خروجی پرسشنامه خبرگی است، تشکیل و مقادیر آن بی‌مقیاس شده و در ادامه وزن هر یک از معیارها به روش میانگین حسابی به‌دست‌آمده و در نهایت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی گزینه‌ها انجام شده است.

جدول ۲- تعریف اعداد مقایسه در روش AHP (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۱)

مقدار عددی	ترجیح‌ها
۱	مطلوبیت یکسان
۳	کمی مطلوب‌تر
۵	مطلوبیت قوی
۷	مطلوب خیلی قوی
۹	کاملاً مطلوب‌تر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

به‌منظور تعیین نرخ ناسازگاری ابتدا مقدار بردار سازگاری از رابطه زیر به‌دست‌آمده است:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{A \cdot w(i,j)}{w(i,j)}$$

در رابطه فوق λ_{max} میانگین بردار سازگاری، A ماتریس مقایسه زوجی (یک سطح افقی)، $w(i,j)$ وزن یا اولویت جایگزین ij (یک سطح افقی) و N تعداد جایگزین‌های مورد مقایسه است. جهت مقایسه شاخص ناسازگاری از رابطه زیر استفاده شده است:

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

λ_{max} میانگین بردار سازگاری، n تعداد گزینه‌ها در مقایسه زوجی است. پرفسور هاکر و ساعتی^۱ جدولی تهیه کرده‌اند که در آن شاخص تصادفی بر اساس جایگزین‌های رقیب نشان داده‌شده است در جدول زیر شاخص تصادفی (R.I) تا ۱۰ جایگزین آورده شده است:

جدول ۳- مقادیر شاخص تصادفی (صامتی و همکاران، ۱۳۸۲)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
R.I	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۹

درنهایت به‌منظور محاسبه نرخ ناسازگاری (C.R) از رابطه زیر استفاده شده است:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I}$$

مقدار نرخ ناسازگاری (C.R) به‌دست‌آمده باید کمتر از ۰.۱ باشد؛ در غیر این صورت فرایند منتهی به وزن دهی باید بازنگری و اصلاح شود. در ادامه تک‌تک معیارها را در گزینه‌های موجود به‌صورت مقایسه زوجی بررسی و مقادیر آن را بی‌مقیاس کرده و وزن هر یک از گزینه‌ها را نسبت به معیارها به دست آورده و برای تعیین نرخ ناسازگاری از روش پیش‌گفته شده استفاده شده است. به‌منظور اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی ماتریس مربوط به وزن معیارها با ماتریس حاصل از وزن گزینه‌های مربوط به هر یک از معیارها به روش زیر ضرب شده است (خاتمی و جوتقانی، ۱۳۹۲):

$$(u_j(A)) \times w = u(A)$$

$u_j(A)$ نشان‌دهنده یک ماتریس $m \times n$ است که هر ستون آن نشان‌دهنده مطلوبیت گزینه‌های تصمیم در ارتباط با معیار j و هر سطر آن، نشان‌دهنده مطلوبیت گزینه i در ارتباط با کلیه معیارهاست. بردار ستونی w نیز نشان‌دهنده بردار وزن معیارها و بردار ستونی $u(A)$ بیانگر مطلوبیت تلفیقی گزینه‌های تصمیم است که اولویت هر یک از تهدیدات در این مرحله مشخص گردید.

پس از شناسایی تهدیدات جوی و اولویت‌بندی این تهدیدات نقشه تهدیدات جوی منطقه با استفاده از نرم‌افزار GIS رسم شده است. به‌منظور تعیین موقعیت مکانی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در منطقه جنوب شرق، ابتدا نقشه فراوانی تهدیدات جوی در محیط نرم‌افزار GIS ترسیم و برای درون‌یابی و تولید داده برای مکان‌های فاقد داده از روش کریجینگ معمولی استفاده شده است. علت انتخاب این روش به این دلیل است در فرایند تولید داده از میانگین استفاده نمی‌شود و تفاضل نقاط مورد استفاده قرار می‌گیرد در این روش تفاضل ۲ نقطه در فاصله‌های مساوی برابر است. نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر فصل به‌صورت جداگانه تهیه شده و سپس به روش سلسله مراتبی فازی و با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از تهدیدات اقدام به ترسیم نقشه تهدیدات به‌صورت فصلی و سالیانه در نرم‌افزار GIS شده است.

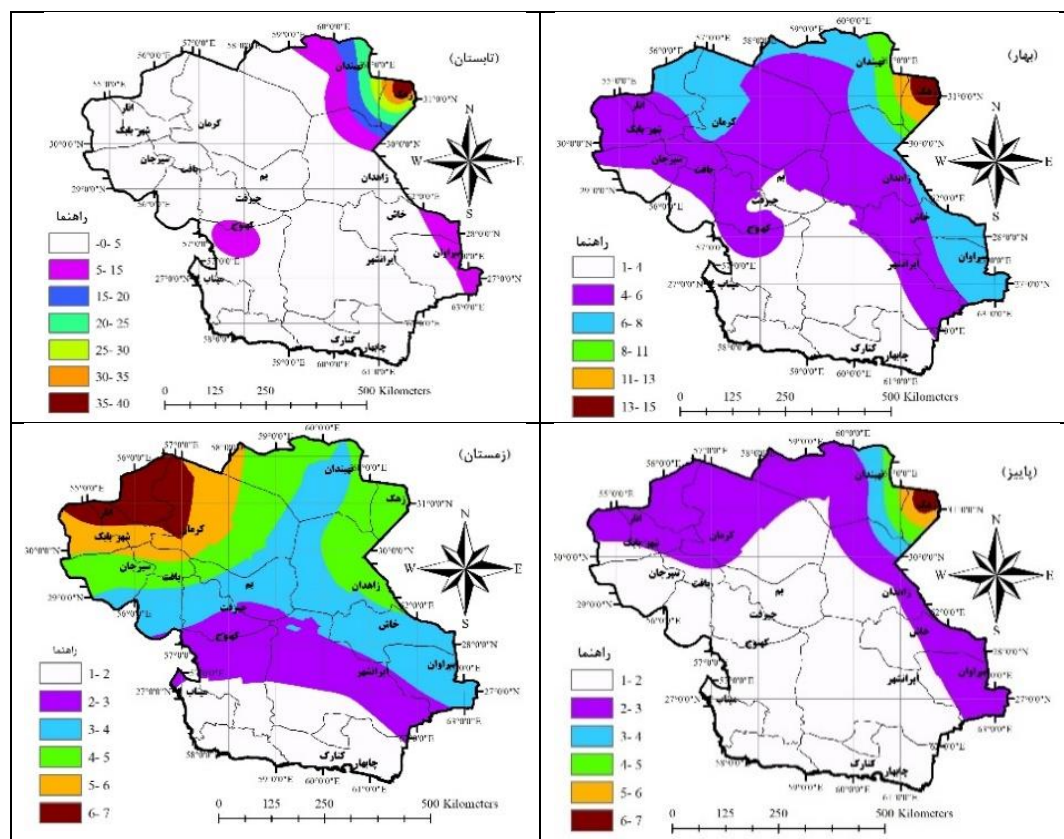
۳- نتایج و بحث

آب‌وهوا یکی از مهم‌ترین مؤلفه برتر ساز توان رزمی در یگان‌های نظامی است که بر عوامل محسوس و غیر محسوس توان رزمی نیز تأثیر گذاشته و در نتیجه مأموریت محوله به یگان‌های نظامی یک عامل تعیین‌کننده محسوب می‌شود. در صورتی که این عامل مهم به شرایط حدی میل نماید، میزان تأثیرگذاری آن بیشتر و بسته به آمادگی و میزان شناخت از این شرایط می‌تواند موجب تهدید و یا فرصت برای یگان‌های نظامی در انجام مأموریت‌های محوله شود. طوفان‌های گردوغبار، تنش گرمایی، بارش‌های سنگین و شرایط شرجی به‌عنوان مهم‌ترین تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در منطقه شناسایی شدند.

۳-۱- طوفان‌های گردوغبار

شکل ۳ فراوانی طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ایستگاه زابل در منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان بیشترین تعداد و فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار را دارد و این موضوع با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در این منطقه ارتباط دارد. بعد از ایستگاه زابل، ایستگاه زهک که این ایستگاه هم در منطقه سیستان واقع شده است در رتبه بعد به لحاظ بیشترین تعداد فراوانی روزه‌های همراه با طوفان گردوغبار را در طول سال دارد. فراوانی رخداد طوفان‌های همراه با گردوغبار در منطقه در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست که مصادف با

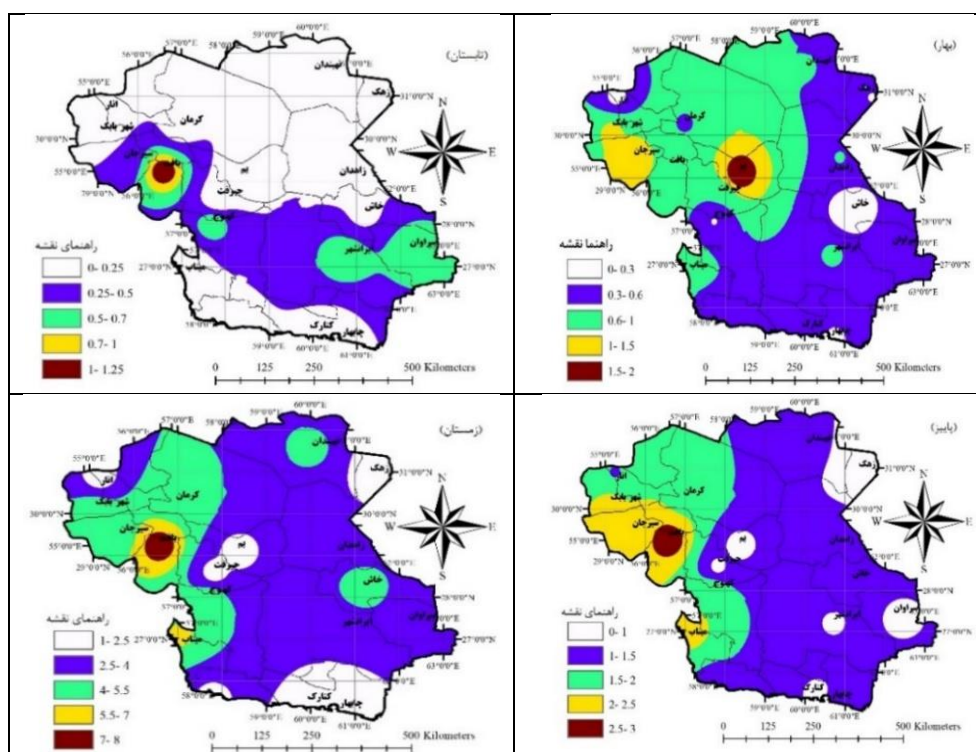
اواخر بهار و فصل تابستان است بیشترین مقدار را دارد. در فصل پاییز کم‌ترین رخداد فراوانی طوفان گردوغبار در منطقه را شاهد هستیم. رفتار زمانی این پدیده در منطقه و فراوانی آن در فصل بهار و تابستان مرتبط با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است به‌نحوی که بیشترین فراوانی طوفان گردوغبار منطقه جنوب شرق نیز در ایستگاه‌های منطقه فعالیت این بادهای رخ داده است.



شکل ۳- پهنه‌بندی فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

۳-۲- بارش‌های سنگین

شکل ۴ بارش‌های تهدیدآمیز آمادگی رزمی در منطقه جنوب شرق را نشان می‌دهد. فصل زمستان و فصل پاییز بیشترین رخداد فراوانی روزهای همراه با بارش تهدیدآمیز آمادگی رزمی در منطقه را دارند. علت این مسئله، در خروج منطقه از نفوذ پرفشار جنب حاره و شروع فعالیت سامانه‌های بارشی در منطقه مورد مطالعه است (علیچانی، ۱۳۹۸: ۱۰۵).

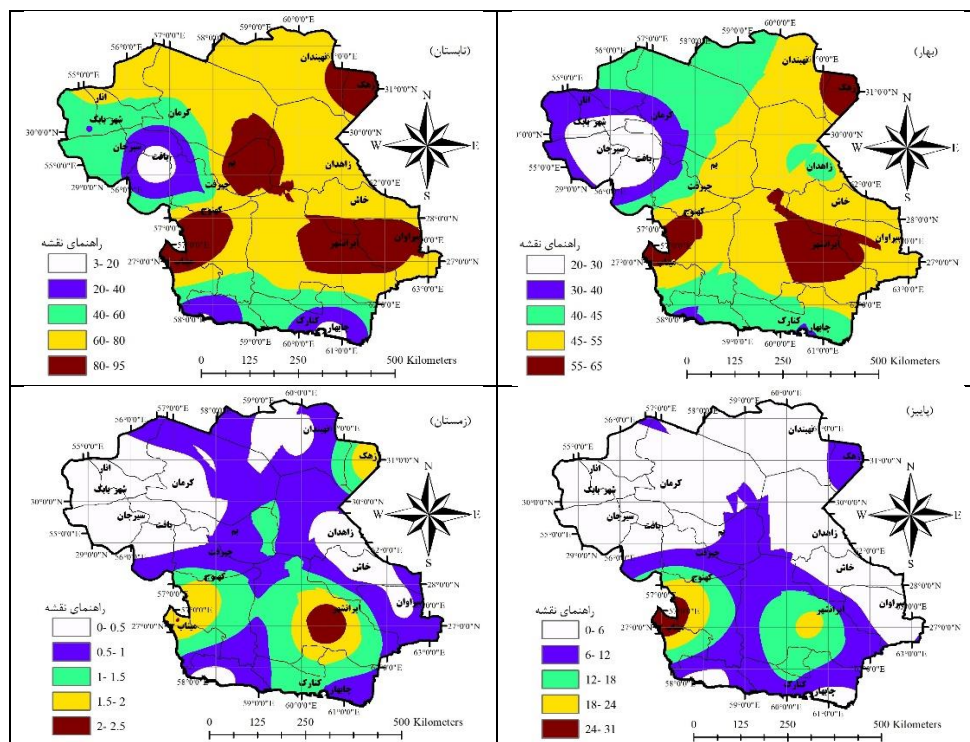


شکل ۴- پهنه‌بندی فراوانی روزهای همراه با بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه

در ماه‌های ژانویه، مارس و فوریه به ترتیب بیشترین رخداد بارش‌های تهدیدآمیز مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی در منطقه رخ می‌دهد همچنین فصل تابستان و ماه‌های آگوست و سپتامبر کمترین احتمال رخداد بارش سنگین در منطقه را شاهد هستیم به نحوی که در ماه سپتامبر در تابستان فراوانی بارش سنگین در این منطقه صفر است.

۳-۳- تنش گرمایی

شکل ۵ فراوانی تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی رخداد این تهدیدات برای فعالیت‌های نظامی در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست در اواخر فصل بهار و تمام فصل تابستان، است. علت رخداد این تهدید در فصل بهار و تابستان به افزایش طول روز و شروع و گسترش پرفشار جنب حاره در منطقه مورد مطالعه و نیز نزدیکی به مناطق حاره‌ای مربوط می‌شود.

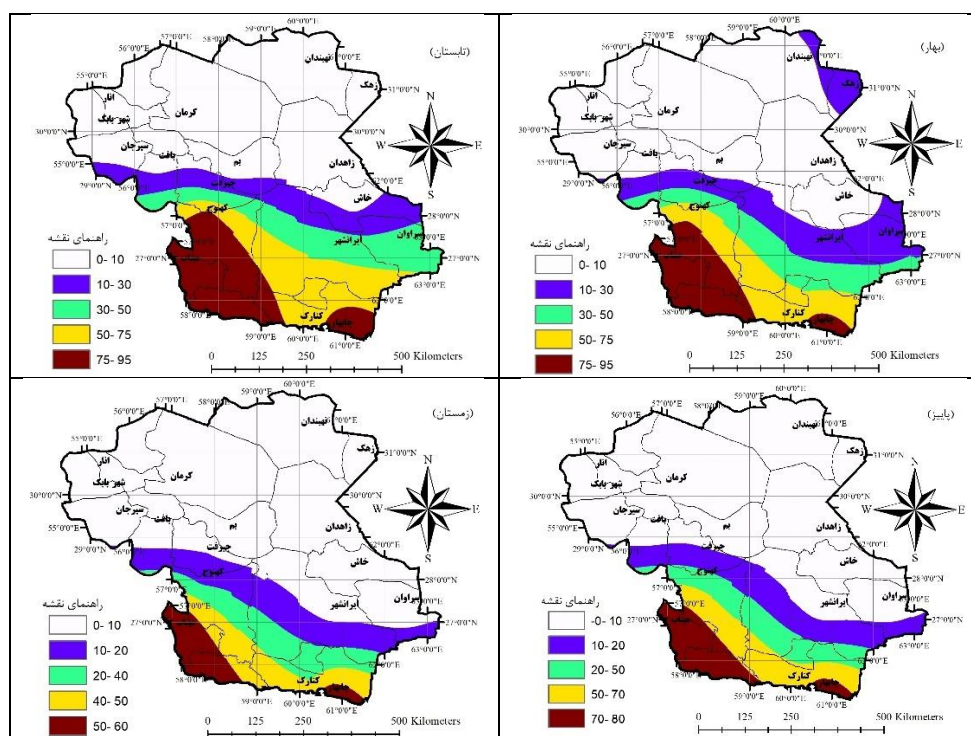


شکل ۵- پهنه‌بندی فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی در منطقه مورد مطالعه

۳-۴- شدت شرعی

شکل ۶ فراوانی تعداد روزهای همراه با شدت شرعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های چابهار، جاسک، کنارک و میناب بیشترین و ایستگاه‌های کرمان و نهبندان کمترین میزان فراوانی روزهای همراه با شدت شرعی در منطقه رخ می‌دهد همچنین شرایط حدی شرعی در ماه‌های می، ژوئن، ژولای و آگوست در اواخر فصل بهار و فصل تابستان دارای بیشترین فراوانی و در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه در فصل سرد، کمترین فراوانی روزهای همراه با شدت شرعی در منطقه است.

درواقع با سرد شدن هوا از شدت شرعی کاسته شده و در نیمه دوم سال شدت شرعی کم‌تر می‌شود. ایستگاه چابهار بیشترین فراوانی روزهای همراه با شرعی را به خود اختصاص داده و همچنین ایستگاه‌های کنارک، جاسک و میناب تقریباً در تمام ایام سال همراه با شرایط نامساعد شرعی هستند. این مورد به عرض پایین این ایستگاه‌ها و ساحلی بودن و همسایگی آن‌ها با آب‌های آزاد جنوب مربوط می‌شود. ایستگاه‌های که از عرض جغرافیایی بالاتری برخوردار بوده و از آب‌های دریای عمان و خلیج فارس فاصله می‌گیرند فراوانی روزهای همراه با شدت شرعی در آن‌ها کم‌تر است.



شکل ۶- پهنه‌بندی فراوانی روزهای همراه با شدت شرجی در منطقه مورد مطالعه

پس از شناسایی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی در منطقه جنوب شرق به‌منظور اولویت‌بندی این تهدیدات از تحلیل سلسله مراتبی استفاده، ماتریس مقایسه زوجی تشکیل و معیارهای آمادگی رزمی به‌صورت زوجی مقایسه و وزن نسبی هر یک از معیارها به شرح زیر به دست آمد. با توجه به محرمانه بودن و میزان اهمیت وزن معیارهای آمادگی رزمی از حروف لاتین به‌جای عنوان معیار استفاده شده است.

جدول ۴- وزن هر یک از معیارهای آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی

معیار	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
وزن	۰.۰۴	۰.۱۳	۰.۰۱	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۰۷	۰.۰۴	۰.۲۵	۰.۰۶	۰.۰۴

جدول شماره ۴ وزن هر یک از معیارها را در مقایسه زوجی نسبت به هم نشان می‌دهد بر این اساس معیار H با وزن ۰.۲۵ مهم‌ترین معیار و مؤلفه آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی تشخیص داده شد این مسئله بیانگر اهمیت این معیار و تأثیرپذیری زیاد آن از تهدیدات جوی است. معیار A و G نیز کمترین وزن را در مؤلفه‌های آمادگی رزمی به خود اختصاص دادند. نرخ ناسازگاری برای وزن معیارها برابر ۰.۰۲۲ به دست آمد و چون این مقدار کمتر از ۰.۱ است وزن دهی معیارها تأیید می‌شود.

جدول ۵ ماتریس وزن هر یک از گزینه‌های تصمیم (تهدیدهای جوی) را نسبت به معیارها نشان می‌دهد که از مقایسه زوجی گزینه‌ها در هر یک از معیارها به‌دست‌آمده است.

جدول ۵- ماتریس وزن هر یک از گزینه‌ها نسبت به معیارها

J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	
۰.۵۵	۰.۶۳	۰.۵۱	۰.۱۷	۰.۳۴	۰.۶	۰.۴۸	۰.۵۶	۰.۲۴	۰.۵۸	طوفان گردوغبار
۰.۲۶	۰.۱۸	۰.۲۴	۰.۶۳	۰.۴۹	۰.۱۹	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۶۲	۰.۲۴	بارش سنگین
۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۱۱	تنش گرمایی
۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۷	شرایط شرعی

جدول ۶ نرخ ناسازگاری گزینه‌ها، در هر یک از معیارها را نشان می‌دهد با توجه به اینکه همه مقادیر به‌دست‌آمده کمتر ۰.۱ است، بنابراین مقایسه زوجی گزینه‌ها و درنهایت بردار وزن حاصل از آن‌ها در هر یک از معیارها پذیرفته می‌شود.

جدول ۶- نرخ ناسازگاری مقایسه گزینه‌ها در هر یک از معیارها

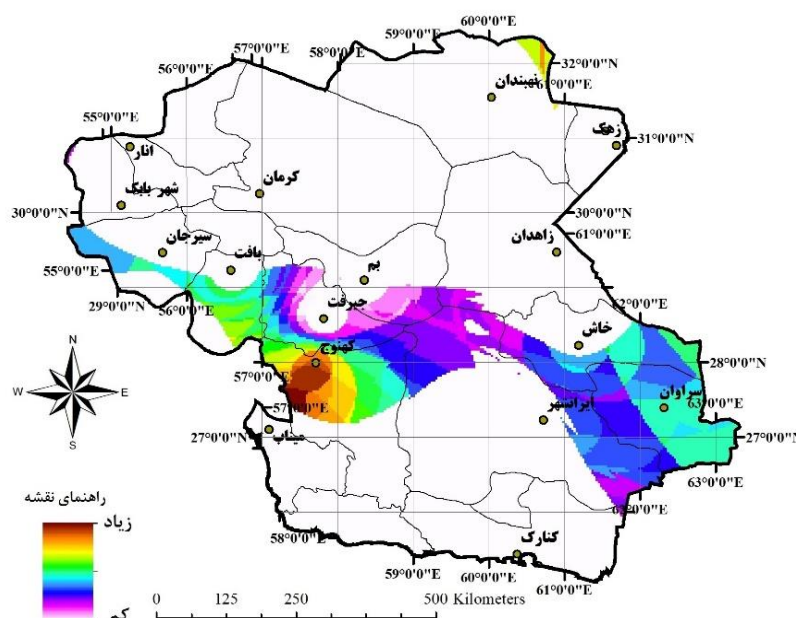
J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	معیار
۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۰۵	نرخ ناسازگاری

از حاصل ضرب ماتریس وزن گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها (**جدول ۴**) با ماتریس حاصل از وزن معیارها (**جدول ۳**)، وزن نهایی هر یک از تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی و اولویت هرکدام از آن‌ها به شرح **جدول شماره ۷** مشخص گردید.

جدول ۷- اولویت تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی

اولویت	وزن	نوع تهدید
۱	۰.۴۷۷	طوفان‌های گردوغبار
۳	۰.۱۲۵	تنش گرمایی
۲	۰.۳۱۶	بارش‌های سنگین
۴	۰.۰۸۲	شرایط شرعی

شکل ۶ نقشه تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی در سال در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تأثیر وزن به دست آمده از مرحله قبل ترسیم شده است.

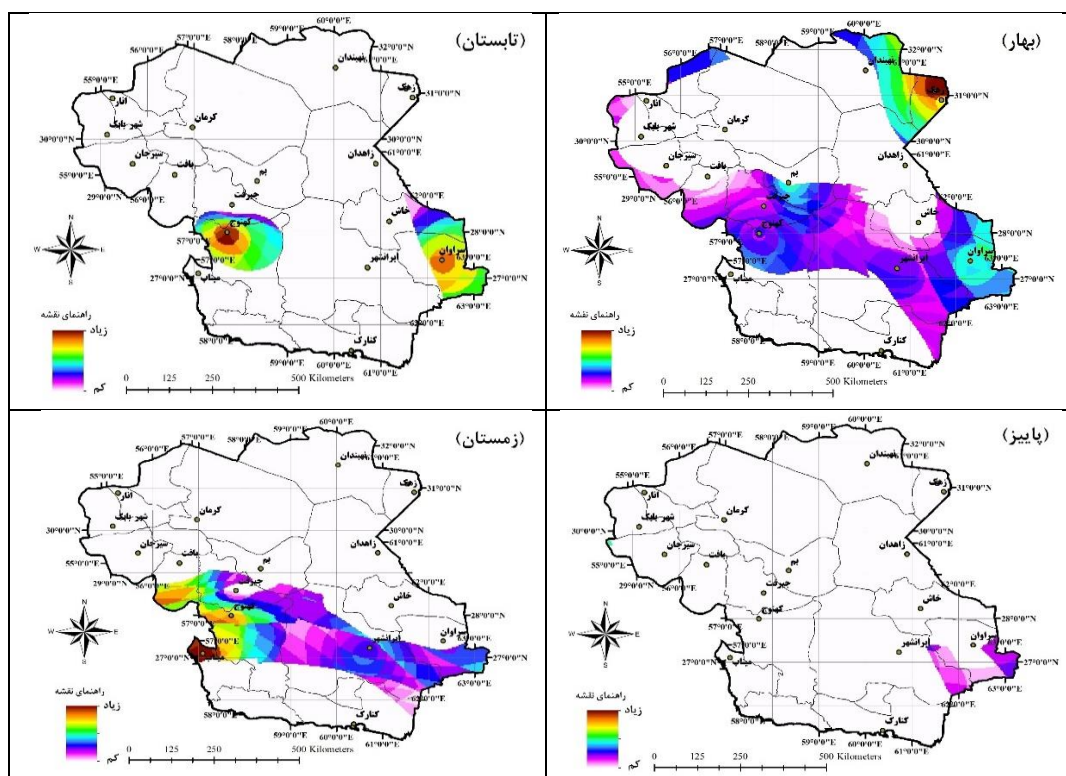


شکل ۷- پهنه‌بندی خطرناک‌ترین مناطق جهت استقرار یگان‌های نظامی در سال

شکل شماره ۷ نامطلوب‌ترین موقعیت‌های مکانی جهت استقرار یگان‌های نظامی در منطقه جنوب شرق را نشان می‌دهد. در صورت استقرار یگان‌های نظامی در تمام ایام سال در این منطقه، باید در طرح‌ریزی‌ها و برنامه‌ریزی‌های نظامی این شرایط مدنظر باشد. نامطلوب‌ترین موقعیت مکانی منطقه، در کمربند سراوان - ایرانشهر - کهنوج، در نزدیکی جنب‌حاره و در حوالی عرض ۳۰ درجه شمالی واقع شده است.

شکل ۸ نقشه پراکندگی خطرناک‌ترین موقعیت‌های مکانی به لحاظ تهدیدات جوی در منطقه جنوب شرق را برای فصل‌های مختلف سال نشان می‌دهد. در اواخر فصل بهار با توجه به شروع فعالیت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و افزایش فراوانی رخداد طوفان‌های گردوغبار در منطقه سیستان و همچنین وزن بالای این مخاطره در اولویت‌بندی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی، بدترین موقعیت مکانی برای استقرار یگان‌های نظامی در شمال استان سیستان و بلوچستان در نزدیکی ایستگاه‌های زابل، زهک و نهبندان است. ایستگاه زابل بدترین نقطه در منطقه جنوب شرق در فصل بهار برای یگان‌های نظامی است. بعد از این منطقه ایستگاه‌های سراوان، ایرانشهر، کهنوج و جیرفت جزء موقعیت‌های مکانی نامناسب جهت استقرار مکانی یگان‌های نظامی در فصل بهار هستند، علت آن

فراوانی همراه با تنش گرمایی زیاد در این فصل از سال در منطقه است که نسبت به سایر مناطق از فراوانی بالاتری برخوردار هستند.



شکل ۸- پهنه‌بندی خطرناک‌ترین مناطق جهت استقرار یگان‌های نظامی در ۴ فصل

در فصل تابستان با توجه به شرایط و ویژگی‌های منطقه و حاکمیت پرفشار جنب حاره، شدت و مدت تابش، تقریباً تمام منطقه برای استقرار نیروهای نظامی مناسب نیست. در صورت حضور نیروها، آمادگی رزمی آن‌ها در منطقه به شدت کاهش می‌یابد. طوفان‌های گردوغبار در شمال سیستان و بلوچستان، تنش گرمایی شدید در تمام منطقه و شرایط نامناسب شرعی در تمام سواحل جنوبی منطقه، مجموع تهدیدات جوی را در این موقع از سال در سراسر منطقه برای یگان‌های نظامی به وجود آورده است. در همین شرایط که تقریباً در تمام منطقه تهدیدات جوی وجود دارد ایستگاه‌های سراوان و کهنوج از شرایط به مراتب بدتری نسبت به سایر مناطق در منطقه جنوب شرق دارا هستند که در طرح‌ریزی‌های نظامی باید مدنظر باشد.

کم‌ترین میزان فراوانی تهدیدات جوی به لحاظ بازه زمانی در منطقه جنوب شرق در فصل پاییز است این فصل بهترین زمان برای فعالیت‌ها، مانورها و رزمایش‌های نظامی در منطقه است. در این شرایط تهدیدات جوی تأثیر منفی

بر آمادگی رزمی نخواهد گذاشت و واحدهای نظامی با بالاترین آمادگی رزمی ممکن مأموریت محوله را انجام می‌دهند. در این شرایط که تقریباً تمام منطقه فاقد تهدیدات جوی است ایستگاه‌های ایرانشهر و سراوان مناسب برای فعالیت‌های نظامی نیستند که در برنامه‌ریزی‌های نظامی باید مدنظر قرار گیرد. علت مطلوبیت فصل پاییز به عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره به عرض‌های پایین‌تر، کاهش مدت و شدت تابش خورشید در منطقه و پایان فعالیت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در منطقه مربوط می‌شود.

فصل زمستان بعد از فصل پاییز از مطلوبیت مناسبی به لحاظ تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی برخوردار بوده و در این فصل فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی و شرایط شرحی نامناسب جوی کم شده و در عوض بیشترین فراوانی تهدیدات جوی مربوط به بارش‌های سنگین در این فصل از سال است که به گسترش و فعالیت سامانه‌های بارشی در این موقع از سال در منطقه مورد مطالعه مربوط می‌شود. ایستگاه‌های کهنوج، میناب، ایرانشهر و سراوان مطابق با نقشه از فراوانی تهدیدات بیشتری نسبت به سایر مناطق جنوب شرق برخوردار هستند و این تهدیدات قطعاً میزان آمادگی رزمی نیروها را تحت شعاع قرار داده و انجام مأموریت محوله را با مشکل مواجه می‌سازد.

۴- جمع‌بندی

میزان و معیار ارزیابی یگان‌های نظامی در زمان صلح از طریق میزان آمادگی رزمی آن‌ها مشخص می‌شود و هر مقدار یگان‌ها از آمادگی رزمی بالاتری برخوردار باشند از قابلیت بالاتری در جهت مواجه با شرایط رزمی و جنگی برخوردار خواهند بود. معیارهای آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی از شرایط بدی جوی متأثر شده و در صورت عدم توجه به تهدیدات جوی آمادگی رزمی یگان‌ها به شدت کاهش پیدا کرده و از قابلیت آن‌ها در شرایط رزم کاسته می‌شود. جنوب شرق ایران با توجه به همسایگی با کشورهای پاکستان و افغانستان و همچنین داشتن مرزهای آبی از طریق دریای عمان از اهمیت فوق‌العاده‌ای به لحاظ نظامی برخوردار است؛ به همین منظور لازم است شرایط جوی حاکم بر منطقه به درستی شناسایی و برای مقابله با تهدیدات جوی برنامه‌ریزی لازم و درستی صورت گیرد. در این راستا با دید نظامی مطالعات جامع و کاملی در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته و این تحقیق را می‌توان یک نوآوری در مطالعه تأثیرات نظامی آب‌وهوا دانست. با توجه به اهمیت نقشه در برنامه‌ریزی و فعالیت‌های نظامی، در این تحقیق از تحلیل فضایی و ترسیم نقشه تهدیدات جوی استفاده شده است.

با توجه به اولویت‌بندی انجام‌شده طوفان‌های گردوغبار به عنوان مهم‌ترین تهدید جوی در منطقه شناسایی و بر اساس وزن هر یک از تهدیدات نقشه مخاطرات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی در یگان‌های نظامی در منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. توزیع مکانی تهدیدات شناسایی‌شده بیانگر نایک‌نواختی این تهدیدات در منطقه مورد مطالعه بود. طوفان‌های گردوغبار در شمال شرق، شرایط شرحی در سواحل جنوبی، بارش‌های سنگین در غرب منطقه از فراوانی بالاتری برخوردار بودند و تنش گرمایی یکی از ویژگی‌های مهم و بارز منطقه مورد مطالعه است. ایستگاه‌های سراوان،

ایران‌شهر، کهنوج و میناب در منطقه از نامطلوب‌ترین مناطق برای فعالیت‌های نظامی شناسایی شدند در این مناطق آمادگی رزمی یگان‌های نظامی به شدت کاسته شده در نتیجه مأموریت و فعالیت نظامی تأثیر منفی خواهد داشت. در بررسی رفتار زمانی تهدیدات جوی مؤثر بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی در منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که مهم‌ترین و تأثیرگذارترین تهدید جوی در فصل بهار طوفان‌های گردوغبار در منطقه و در فصل تابستان علاوه بر طوفان‌های گردوغبار تنش گرمایی و شرایط شرجی نیز در منطقه حکم‌فرماست که این شرایط بر آمادگی رزمی یگان‌های نظامی تأثیر منفی می‌گذارد در فصل پاییز از تهدیدات جو در منطقه کاسته شده و این فصل برای انجام فعالیت‌های نظامی نسبت به سایر فصل‌ها مناسب‌تر تشخیص داده شد در این فصل یگان‌های نظامی می‌توانند با بیشترین آمادگی رزمی برای انجام مأموریت و اگذاری اقدام نمایند.

با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق پیشنهاد می‌گردد فرماندهان و تصمیم‌گیران نظامی در جهت به‌روزرسانی جدول تجهیزات یگان‌های نظامی مستقر در منطقه جنوب شرق ایران و تهیه ریشه برنامه آموزشی متناسب با شرایط آب‌وهوایی منطقه اقدام و از نتایج تحقیق در جهت بهره‌برداری در طرح‌های عملیاتی موجود در منطقه، بهره ببرند. همچنین متناسب با نوع تهدیدات جوی و بحران‌های احتمالی ناشی از آن در منطقه مورد مطالعه، پیش‌بینی‌های لازم در خصوص اقدامات مردم‌یاری را انجام دهند.

کتابنامه

- افشاری، محمد؛ ۱۳۹۵. *آیین‌نامه هواشناسی نظامی*. انتشارات معاونت تربیت و آموزش نزا، تهران.
- بدری، هادی؛ رضایی بنفشه، مجید؛ ۱۳۹۶. *ارزیابی و پهنه‌بندی تقویم اقلیم‌شناسی نظامی شمال غرب کشور*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته اقلیم‌شناسی. دانشگاه تبریز.
- پودینه، محمدرضا؛ طاووسی، تقی؛ نگارش، حسین؛ ۱۳۹۳. *بررسی و تحلیل مخاطرات اقلیمی سیستان و بلوچستان با تأکید بر تهیه اطلس مخاطرات اقلیمی*. رساله دکتری رشته اقلیم‌شناسی. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- حنفی، علی؛ ۱۳۹۸. *ارزیابی تنش‌های حرارتی و برودتی و تأثیر آن بر فعالیت‌های نظامی در استان آذربایجان غربی*. علوم و فنون نظامی. شماره ۴۹. ۲۹-۴۶. <https://doi.org/10.22034/qjmst.2019.38015>
- حنفی، علی؛ فخری، سیروس؛ ۱۳۹۳. *تحلیل شاخص‌های اقلیم دفاعی در نیمه غربی ایران*. علوم و فنون نظامی. شماره ۲۹. ۲۵-۴۶. http://www.qjmst.ir/article_22328.html
- حنفی، علی؛ منیری، کامل؛ ۱۳۹۸. *آمایش اقلیم دفاعی منطقه جنوب شرق کشور و اهمیت آن در سناریوهای طرح‌ریزی عملیات‌های نظامی*. آینده‌پژوهی دفاعی. شماره ۱۴. ۳۵-۵۹.
- <https://doi.org/10.22034/dfs.2019.37985>.
- خاتمی فیروزآبادی، علی؛ حمزه جوقانی، ستار؛ ۱۳۹۲. *تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت. سازمان مدیریت صنعتی*. تهران.

خورشید دوست، علی محمد؛ فتحی، سعید؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی و تحلیل فضایی مخاطرات بالقوه محیطی مطالعه موردی: بخش سیلوانا. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۱. ۲۰-۱.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2908-fa.html>.

صامتی، مجید؛ ساعتی، مرتضی؛ مریم اصغری؛ ۱۳۸۲. اولویت‌بندی توسعه بخش صنعت استان اصفهان بر اساس روش و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *پژوهش‌نامه بازرگانی*. شماره ۲۷. ۵۹-۹۰.

<http://ensani.ir/fa/article/journal-number/521>

صفوی، سیدجعفر؛ زنجانی، داود؛ ۱۳۹۹. تأثیر پدیده‌های جوی در بروز سوانح هوایی دو دهه اخیر نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران. عباسی، حشمت‌الله؛ رستمی، علی؛ ۱۳۹۷. بهره‌گیری از عامل برتر ساز آب‌وهوا و جو در ارتقاء توان رزمی یگان‌های هواییروز جهت مقابله با گروه‌های تکفیری- تارگری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش. تهران.

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۶۷. آب‌وهوا و برنامه‌ریزی فعالیت‌های نظامی. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۱۰. ۹۶-۱۱۸.

https://georesearch.ir/browse.php?&slct_pg_id=45&sid=1&slc_lang=fa.

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۸. روش‌های کمی در جغرافیا. انتشارات سمت. تهران. کاشکی، عبدالرضا؛ کرمی، مختار؛ باعقیده، محمد؛ علیمردی، محمدرضا؛ ۱۳۹۸. واکاوی آماری امواج گرمایی زایل. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی*. شماره ۱. ۵۵-۴۰.

http://cccd.znu.ac.ir/issue_5443_5745.html

مجرد، فیروز؛ ذوالفقاری، حسن؛ کیقبادی فر، مهدی؛ ۱۳۹۸. تحلیل ویژگی‌های روزهای شرجی در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۴. ۳۶-۱۹.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2868-fa.html&sw>

محمدی، محمد؛ ۱۳۹۴. بررسی ارتباط بین عناصر اقلیمی با فرار از خدمت سربازی در پادگان‌های نظامی. *نهمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل*. صص ۴۵-۶۱.

<https://civilica.com/doc/661352/>

مفیدی، عباس؛ حسین زاده، سیدرضا؛ محمدیاریان، محترم؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی مخاطرات جوی منطقه شمال شرق ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۶. ۱-۱۶.

<https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.23110>

By Bann, Carla M., Williams-Piehot, Pamela A. & Whittam, Kimberly P. May., 2011. Military Perspectives on Climate Change from Around, *Military Psychology*, 23(3): 53-271.

<https://www.tandfonline.com/toc/hmlp20/23/3?nav=tocList>

David N. Livingstone., 2015). The climate of war: violence, warfare, and climatic reductionism, *WIREs Clim Change*, 37(1): 253-271. <https://doi.org/10.1002/wcc.352>.

FM 34-81/ AFM 104-5., 1989. Weather Support for Army Tactical Operations, Department of the Army. Washington D.C.

FM34-81-1., 1992. Battlefield Weather Effects. Headquarters Department of the Army, Washington D. C.

Michal hrnciar., 2019. Tactical variables – a tool for mission analysis, *International Conference knowledge - based organization*, 25(1): 86-90. <https://doi.org/10.2478/kbo-2019-001>.

- Shirley V. & Scott, Shaheul Khan., 2016. The Implications of Climate Change for the Military and for Conflict Prevention, Including through Peace Missions, Mplications of climate change, 20(3): 82-94. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_French/journals_E/Volume-07_Issue-3/scottkhan_e.pdf
- Stewart J.; Maria Kingsley, ED McGrady., 2010. Climate Change: Potential Effects on Demands for US Military Humanitarian Assistance and Disaster Response, US.
- Tamzy J. House., 2015. Weather as a Force Multiplier: Owning the Weather in 2025. Air Force, us.



Identifying the Components affecting the Application of the Principles of Emerging Resilience Discourses (Hugo) in the Management System of Cities (Case Study: Tabriz Metropolis)

Maryam Alipour Shoari Dehghani^a, Ali Panahi^{b*}, Reza Valizadeh^b

^a PhD Candidate, Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

^b Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Received: 14 December 2021

Revised: 6 April 2022

Accepted: 9 May 2022

Abstract

Urban systems are currently facing major challenges regarding increasing the types of hazards and their effects. Therefore, planning to improve the resilience of urban systems according to the principles of the organizations and international discourses and their applying in the management system of cities is an necessity. The purpose of this study is to identify components effective in the application of the principles of emerging resilience discourses (Hugo) on the management system of Tabriz metropolis. Mixed method was used for the descriptive-analytical study. Questionnaire was used to collect the required data. Academic elites, managers and officials of crisis management in Tabriz were included to answer the questions using Delphi method. The sample consisted of 100 participants. Moreover, content validity method was used to check the validity of the research, Cronbach's alpha method was used to measure the reliability of the research, and structural equation modeling in Amos software was used for data analysis. The results showed that 10 principles of resilience management in management system of Tabriz metropolis is not good, especially regarding such dimensions as organization and coordination, information updating, training local communities, and supervising measures. The most important component that affects the application of the principles is the existence of a uniting and supportive management with a coefficient of 0.83, followed by “systemic attitude”, “institutional coordination and synergy”, and “participation and integrated organizational structure” with coefficients of 0.69, 0.63, and 0.58, respectively.

Keywords: Discourse, Resilience, Urban Management, Tabriz Metropolis

* Corresponding author: Ali Panahi

E-mail: panahin@yahoo.com

Tel: +989141205953

How to cite this Article: Alipour Shoari Dehghani, M., Panahi, A., & Valizade, R. (2023). Identifying the components affecting the application of the principles of emerging resilience discourses (Hugo) in the management system of cities (Case study: Tabriz metropolis). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 269-290.

DOI:10.22067/geoh.2022.74187.1142



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 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

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



<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74187.1142>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۹۰-۲۶۹

مطالعه موردی

شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی شهرها (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)^۱

مریم علیپور شعاری دهقانی - دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

^{ID} علی پناهی^۲ - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

رضا ولی‌زاده - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱۹

چکیده

سیستم‌های شهری در حال حاضر با چالش‌های بزرگی در ارتباط با افزایش انواع مخاطرات و اثرات آن‌ها روبه‌رو هستند؛ از این‌رو برنامه‌ریزی در راستای ارتقای تاب‌آوری سیستم‌های شهری با توجه به اصول مطرح‌شده در سازمان‌ها و گفتمان‌های بین‌المللی و کاربست آن‌ها در نظام مدیریتی شهرها ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بدین منظور هدف از پژوهش حاضر شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز است. روش تحقیق آمیخته (کمی-کیفی) با هدف توسعه‌ای-کاربردی و ماهیت توصیفی-تحلیلی است که به‌منظور گردآوری اطلاعات از روش پیمایشی یعنی پرسشگری از نخبگان دانشگاهی و مدیران و مسئولان حوزه مدیریت بحران شهر

۱ مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری تحت عنوان «امکان‌سنجی اصول مدیریتی تاب‌آوری بر مبنای رویکرد هیوگو (HFA) در کلان‌شهرهای ایران (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)» است.

Email: Panahin@yahoo.com

۲ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۲۰۵۹۵۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

علیپور شعاری دهقانی، مریم؛ پناهی، علی؛ ولیزاده، رضا. ۱۴۰۲. شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی شهرها (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۱). صص

۲۶۹-۲۹۰

تبریز که بر اساس روش دلفی هدفمند ۱۰۰ نفر به عنوان حجم نمونه برآورد گردیده و مشاهدات میدانی استفاده شده است. همچنین در راستای بررسی روایی تحقیق از روش اعتبار محتوا، سنجش پایایی تحقیق از روش آلفای کرونباخ و تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل سازی معادلات ساختاری در نرم افزار Amos بهره گرفته شده است. یافته های تحقیق نشان می دهد که اصول ۱۰ گانه مدیریتی تاب آوری بر مبنای دیدگاه هیوگو به ویژه در ابعاد ساماندهی و هماهنگی، به روزرسانی اطلاعات، آموزش جوامع محلی و اقدامات بازرسی در نظام مدیریتی کلان شهر تبریز دارای وضعیت مساعدی نیست. مهم ترین مؤلفه تأثیرگذار بر کاربست اصول ۱۰ گانه این رویکرد در باب نظام مدیریتی کلان شهر تبریز، تحقق مدیریت واحد و حمایت کننده با ضریب ۰/۸۳ است. پس از آن نیز به ترتیب بیشترین اثرگذاری مربوط به مؤلفه های دیدگاه سیستمی، هماهنگی و هم افزایی نهادی و مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه با ضرایب ۰/۶۹، ۰/۶۳ و ۰/۵۸ بوده است.

کلیدواژه ها: گفتمان، تاب آوری، مدیریت شهری، کلان شهر تبریز.

۱- مقدمه

امروزه تاب آوری و تفکر در باب آن به مفهومی مهم در تحقیقات علمی و گفتمان های سیاسی تبدیل شده است (بولکلی و توتس^۱، ۲۰۱۳؛ داوودی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ارلیدین و تاشان کوک^۳، ۲۰۱۳؛ هگر^۴ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لیچنکو^۵، ۲۰۱۱) و یک رویکرد اساسی با قدرت بالای مقابله در راستای عدم قطعیت های موجود در چالش های پیچیده شهری تلقی می گردد (واردکر^۶ و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین این رویکرد در ابعاد مختلف برنامه ریزی و مدیریتی به ویژه در برنامه ریزی شهری و مدیریت بحران با توجه به قابلیت کاربرد بالقوه برای طیف وسیعی از مخاطرات و مشکلات مورد توجه قرار گرفته (اوهاره و وایت^۷، ۲۰۱۳؛ استامپ^۸، ۲۰۱۳؛ میرو^۹ و همکاران، ۲۰۱۶) و مفاهیم موجود آن نیز به سیاست گذاری در راستای ارتقای ابعاد مختلف در راستای کاهش آسیب پذیری یاری رسان است (مکایووی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳). در عمل می توان عنوان کرد که مفاهیم و اصول مطرح شده توسط سازمان های مختلف و گفتمان های بین المللی، مورد استفاده بسیاری از شهرهای جهان در راستای دستیابی به تاب آوری و پایداری شبکه ای قرار گرفته است. به عنوان مثال سازمان دولت های محلی تحت عنوان (ICLEI)، به منظور تحقق

1 Bulkeley & Tuts

2 Davoudi

3 Eraydin & Taşan-Kok

4 Hegger

5 Leichenko

6 Wardekker

7 O'Hare & White

8 Stumpp

9 Meerow

10 McEvoy

پایداری شبکه‌ای و سیستمی، تاب‌آوری و سازماندهی شهرها را از طریق کنگره شهرهای تاب‌آور از سال ۲۰۱۰ ترویج داده‌اند (اوتو-زیمِرن^۱، ۲۰۱۱). «۱۰۰ شهر تاب‌آور» که توسط بنیاد راکفلر^۲ (۲۰۱۹) ارائه شده است، به شهرها در سراسر جهان کمک کرده است تا به ارتقای تاب‌آوری در برابر چالش‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی رو به رشد قرن ۲۱ فائق آیند. همچنین مهم‌ترین اصول مدیریتی رویکرد تاب‌آوری از زمان تصویب چارچوب قانونی طرح هیوگو^۳ ۲۰۰۵ (HFA)، در راهبرد بین‌المللی کاهش سوانح سازمان ملل متحد (UNISDR)، برای فرایند برنامه‌ریزی برای تقلیل خطرهای ناشی از سوانح، مطرح‌شده (مانیونگا^۴، ۲۰۰۷) و به دنبال آن، ایجاد جوامع تاب‌آور به‌وسیله روش‌هایی مانند یکپارچگی در دیدگاه‌های کاهش آسیب‌پذیری، افزایش ظرفیت محلی برای ایجاد تاب‌آوری و یکپارچه کردن کاهش خطر با طراحی و اجرای آمادگی اضطراری، واکنش، بازتوانی و برنامه‌های بازسازی موردتوجه قرار گرفته است (رفیعان و همکاران، ۱۳۹۰)؛ بنابراین مدیران شهری می‌توانند با بهره‌گیری از ابزار مناسب و پشتیبانی گفتمان نوظهور در مورد تاب‌آوری، برنامه‌ریزی، مدیریت و سیاست‌گذاری مناسبی را با توجه به سرعت تغییر مناطق شهری و پویایی سیستم‌های پیچیده شهری به کار بندند (آندریس^۵، ۲۰۱۴). از این‌رو شناسایی دقیق امکانات و محدودیت‌های موجود شهرها بر مبنای اصول مطرح‌شده و همچنین برنامه‌ریزی در مؤلفه‌های تأثیرگذار به‌منظور کاربست این اصول، با توجه به این موضوع که مخاطرات طبیعی-انسانی جزء لاینفک سکونتگاه‌های انسانی به‌ویژه مناطق شهری محسوب می‌گردند و طی دوره‌های تاریخی آسیب‌های فراوانی را به شهرهای مختلف دنیا تحمیل کرده و در عصر حاضر نیز اثرات این مخاطرات با توجه به افزایش جمعیت و تراکم انسانی در مناطق شهری بیشتر گردیده، می‌تواند مقدمات تحقق تاب‌آوری شهرها را فراهم سازد. در این راستا، با توجه به ضرورت و اهمیت موضوع تاب‌آور نمودن شهرها و نقش ارگان‌های مسئول شهری، هدف از پژوهش حاضر شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول رویکرد هیوگو در نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز برای دستیابی به شهری تاب‌آور است. کلان‌شهر تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین هسته و تراکم جمعیتی شمال‌غرب کشور، بیشترین میزان نیروی انسانی، سرمایه‌گذاری، طرح‌های اقتصادی و زیرساختی را در خود جای‌داده است و تمرکز بیش‌ازحد جمعیت، این شهر را در معرض تهدیدات و آسیب‌های فراوانی قرار داده که می‌تولند در مواقع بحرانی، زندگی شهروندان را با مشکلات جدی مواجه کند؛ بنابراین، اتخاذ تدابیر مناسب در قالب طرح‌های شهر تاب‌آور با بهره‌مندی از اصول مطرح‌شده در گفتمان‌هایی همچون هیوگو ضروری است. از طرفی می‌توان عنوان کرد که نظام مدیریت بحران کلان‌شهر تبریز همچون سایر حوزه‌های مدیریت شهری در وضعیت نامطلوبی از منظر رویکردهای نوین مدیریتی همچون حکمروایی، مدیریت

1 Otto-Zimmermann

2 Rockefeller Foundation

3 Hugo

4 Manyunga

5 Anderies

یکپارچه و مدیریت دانش بنیان قرار داشته و برای تحقق تاب‌آوری نیاز به شناسایی عوامل و مؤلفه‌های تأثیرگذار به‌ویژه در حوزه مدیریتی شهر احساس می‌گردد؛ بنابراین با توجه به اهداف مطرح‌شده، پاسخگویی به سؤال‌های زیر اساس کار پژوهش حاضر است:

- مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق تاب‌آوری در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز با توجه به اصول مطرح‌شده در گفتمان هیوگو کدامند؟
- کاربست مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق اصول ۱۰ گانه هیوگو در راستای ارتقاء نظام مدیریتی و تاب‌آور نمودن کلان‌شهر تبریز به چه صورتی می‌باشد؟

به‌طورکلی می‌توان عنوان کرد که مخاطرات و بلایا در ابعاد محیطی و انسانی به‌صورت مستمر در اقصی نقاط جهان قابل مشاهده است. به‌عنوان مثال، پایگاه داده و رویدادهای اضطراری مرکز اپیدمیولوژی بلایای طبیعی^۱ در راستای تحقیقات در مورد بلایای مربوط به آب‌وهوا و عوامل محیطی (همچون زلزله، سیل و ...)، بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ در جهان ۶۴۵۷ مورد ثبت کرده است که این بلایا جان ۶۰۶۰۰۰ نفر را گرفته و ۴ میلیارد نفر را تحت تأثیر قرار داده است (هینزلف^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، حوادث بهداشت عمومی و مخاطرات بیولوژیکال همچون گسترش COVID-19 در سراسر جهان، در بیش از ۱۸۰ کشور، خسارات هنگفتی به شهرها وارد کرده است (ژو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). از سایر رویدادهای شدید ایجاد مخاطره در شهرها می‌توان به حملات تروریستی و بحران‌های مالی اشاره کرد (مونستات و اشمیت^۴، ۲۰۱۹؛ تان^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به وجود مستمر مخاطرات و فشارهای ناشی از آن‌ها بر شهرها، در عصر حاضر مفهوم توسعه تاب‌آوری شهری به یک اجماع جهانی برای دستیابی به شهری پایدار تبدیل شده است. همچنین برنامه‌های ایجاد شهرهای تاب‌آوری توسط سازمان‌های مختلف و در گفتمان‌های بین‌المللی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در این گفتمان‌ها برنامه‌ریزی تاب‌آوری سیستم‌های شهری یک فرآیند ضروری در راستای مواجهه با انواع بحران‌ها از طریق ارتقای ظرفیت‌های انسانی و سازمانی برای پیش‌بینی، جذب، بازیابی یا موفقیت بیشتر سازگاری با رویدادهای نامطلوب واقعی یا بالقوه عنوان شده است (گودسچالک^۶، ۲۰۰۳؛ برکه^۷ و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین برنامه‌ریزی و مدیریت تاب‌آوری در ابعاد مختلف مانند کنترل سیل، کاربری زمین، حمل‌ونقل، حفاظت از محیط‌زیست، طرح‌ها و برنامه‌های اجتماعی-اقتصادی با بهره‌مندی از درک و مشارکت ذی‌نفعان در یک فرایند سیستمی مورد تأکید قرار گرفته است (برکه و همکاران، ۲۰۱۹؛ وودراف

1 CRED

2 Heinzlef

3 Zhu

4 Monstadt & Schmidt

5 Tan

6 Godschalk

7 Berke

و رِگان^۱، ۲۰۱۹؛ فره‌مند^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی^۳ و همکاران، ۲۰۱۹؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که تاب‌آوری به‌منظور مدیریت مخاطرات پدیدار شده است و ادعا می‌کند افراد را برای آمادگی و سازگاری سازمان می‌دهد و به یکپارچگی اجتماعی، درگیر کردن جامعه و اعتماد تبدیل می‌کند (گاسپارینی^۴ و همکاران، ۱۳۹۵). طبق نظر هولینگ^۵ (۱۹۷۳)، این رویکرد میزان مقاومت سیستم‌ها و توانایی‌شان در تحمل تغییر، اختلال و تداوم روابط موجود بین افراد یا متغیرها را ارتقاء می‌دهد (رضایی، ۱۳۹۰). بتی^۶ (۲۰۰۹)، تأکید می‌کند که سیستم پیچیده شهر با بهره‌گیری از رویکرد تاب‌آوری به ظرفیت بالایی از سازگاری و مقاومت در برابر انواع شوک‌ها و استرس‌ها دست می‌یابد. تیلور^۷ (۲۰۱۴)، بیان می‌دارد که با تأکید بر این رویکرد قابلیت‌های انطباق (ثبات، پایداری، سازگاری و تغییرپذیری) سیستم اجتماعی-زیستی شهر به‌منظور مقاومت در برابر انواع بحران‌ها ارتقاء می‌یابد. اسپانس و واترهوت^۸ (۲۰۱۷)، معتقدند که تاب‌آوری شهری توانایی شهرها برای پیشگیری و کاهش خطرات بلایای طبیعی با کمترین هزینه است. ما^۹ و همکاران (۲۰۲۰)، نیز تاب‌آوری را توانایی یک سیستم شهری برای دستیابی به شرایط عادی ناشی از اختلالات نامشخص از طریق آماده‌سازی معقول، میانجیگری و مقابله با اثرات آن تعریف کرده‌اند.

به‌طورکلی می‌توان گفت، با توجه به اینکه شهرها در معرض انواع مخاطرات همچون زلزله، سیل، رانش، خشک‌سالی، کم‌آبی و شیوع انواع بیماری‌ها (مانند ویروس کرونا) قرار دارند؛ در صورت وقوع هر یک از این مخاطرات و در نبود سامانه کاهشی، شهرها با آسیب‌پذیری در ابعاد مختلف کالبدی، زیرساختی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی قرار خواهند گرفت؛ بنابراین، ایجاد سامانه‌های کاهشی برای ساخت شهرهای تاب‌آور باید مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران شهری قرار گیرد. در این راستا، می‌توان گفت که مدیریت شهری فرآیندی پیچیده و همه‌جانبه است و در راستای ایجاد شهرهای تاب‌آور در برابر بلایای طبیعی در کنار بهبود شرایط کیفیت محیطی، میزان، شدت و حجم بلایای طبیعی هم باید مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور اصول مدیریتی تاب‌آوری در گفتمان‌های بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفته و یکی از مهم‌ترین این گفتمان‌ها هیوگو بوده و ۱۰ اصل مدیریتی مهم در چارچوب طرح هیوگو ۲۰۰۵ (HFA)، پیشنهاد گردیده است. ویژگی این اصول آن است که همه ابعاد از مدیریت ریسک تا مدیریت بحران را دربر می‌گیرند و مهم‌تر اینکه، بیشتر اصول مدیریت ریسک را شامل می‌شوند؛ یعنی بررسی و شناسایی ریسک‌های تهدیدکننده و در نهایت به‌کارگیری روش‌های پیشگیری است (رمضان‌زاده، ۱۳۹۵).

1 Woodruff & Regan

2 Farahmand

3 Li

4 Gasparini

5 Holing

6 Batty

7 Taylor

8 Spaans & Waterhout

9 Ma

جدول ۱- اصول ده گانه مدیریتی طرح هیوگو برای ایجاد شهرهای تاب آور

اصول	برنامه‌ها	تشریح برنامه‌ها
اصل اول	ساماندهی و هماهنگی	ایجاد یا تقویت ظرفیت نهادی و هماهنگی شهری، ایجاد یک چارچوب قانونی برای تاب‌آوری و کاهش خطرپذیری (ریسک) بلایا، هماهنگ کردن تمامی خدمات فوریتی در حوزه شهر، ایجاد اتحادیه‌ها و شبکه‌هایی فراتر از شهر.
اصل دوم	تخصیص بودجه و منابع مالی برای ساکنان محدوده خطر	سرمایه‌گذاری در اقدامات کاهش خطرپذیری و کمپین‌های ارتقاء آگاهی عموم، تنظیم بودجه‌ای را برای آمادگی و مقابله، وضع کردن مشوق‌ها و مجازات‌ها برای کاهش خطرپذیری، بهبود عملکرد اقتصادی.
اصل سوم	به‌روزرسانی اطلاعات مربوط به مخاطرات و آسیب‌پذیری‌ها	به‌روزرسانی داده‌ها در مورد خطرات، آسیب‌پذیری و ارزیابی خطرپذیری به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی توسعه شهری و شهرسازی، در دسترس بودن اطلاعات و طرح‌های ارتقاء تاب‌آوری برای عموم.
اصل چهارم	مدیریت و محافظت از زیربناها	تقویت زیرساخت‌های حفاظتی، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، ساخت زیرساخت‌های جدید تاب‌آور.
اصل پنجم	امنیت مدارس و مراکز درمانی	ارزیابی ایمنی تمام مدارس و تأسیسات درمانی و ارتقاء آن‌ها در مواقع لازم، تشخیص ارتباط خدمات اولویت‌دار و تداوم خدمات پس از بلایا.
اصل ششم	قوانین ساخت‌وساز و کاربری زمین	تصویب و رعایت قوانین و مقررات ساختمانی متناسب با خطرپذیری، توسعه شهر و برنامه‌ریزی کاربری اراضی بر اساس ارزیابی خطرپذیری، ارتقاء شهرک‌های غیررسمی و ترویج ساخت‌وساز ایمن ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز.
اصل هفتم	آموزش جوامع محلی	بالا بردن آگاهی عمومی در شهر، وارد کردن کاهش خطرپذیری بلایا در برنامه‌های رسمی آموزش و پرورش، آموزش و ظرفیت‌سازی کاهش خطرپذیری بلایا در سطح شهر، ایجاد طرح‌های ایمنی در برابر بلایا در سطح شهر.
اصل هشتم	محافظت از محیط طبیعی	افزایش آگاهی از اثرات تغییرات زیست‌محیطی و تخریب زیست‌بوم‌ها در خطرپذیری بلایا، ترویج رشد سبز و حفاظت از اکوسیستم در برنامه‌ریزی برای امرار معاش و توسعه پایدار، ایجاد اتحادیه‌ها و ائتلاف با مدیران محیط‌زیست و بخش خصوصی، تقویت ابزارهای موجود مدیریت اکوسیستم‌ها یا ایجاد آن‌ها در جایی که این ابزارها وجود ندارند.
اصل نهم	سیستم‌های هشدار توان مدیریت	ارتقاء و بهبود آمادگی، ایجاد یک سیستم هشدار به موقع چندمنظوره و قابل دسترسی یا بهبود آن، به‌روزرسانی سرویس‌های واکنش اضطراری شهر، توسعه تمرین‌های رومیزی و دوره‌ای، برنامه‌ریزی بازتوانی پس از وقوع بلایا.
اصل دهم	اقدامات بازرسی	اقدامات بازرسی در راستای بازتوانی به‌عنوان بخشی از برنامه‌های کاهش اثرات بلایا و سیاست‌های عمومی، بازرسی در ارتقاء شاخص‌های مختلف، جست‌وجوی منابع و تقویت همکاری‌ها.

مأخذ: پاشازاده و یزدانی، ۱۳۹۷.

در راستای ابعاد مختلف تاب‌آوری طی سالیان گذشته مطالعات و پژوهش‌های متعددی انجام گرفته است. با بررسی پیشینه مطالعاتی می‌توان گفت که ارزیابی عوامل تأثیرگذار بر تحقق اصول مطرح‌شده در انواع گفتمان‌های تاب‌آوری خلأ پژوهش‌های گذشته بوده و تحقیق حاضر با هدف پر کردن این خلأ پژوهشی و با تأکید بر رویکرد هیوگو نگارش گردیده است. در ادامه به مهم‌ترین پژوهش‌های مرتبط با تاب‌آوری با تأکید بر بعد مدیریتی پرداخته شده است.

رفعیان و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعه خود به تبیین مفهوم تاب‌آوری و شاخص‌سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع‌محور (CBDM) پرداخته‌اند. بر مبنای نتایج مستخرج مناسب‌ترین مدل بر اساس رویکرد مفهومی و ساختار شاخص‌سازی ارائه‌شده، مدل ترکیبی DROP کاتر و CBDM است؛ زیرا این مدل ترکیبی همزمان دارای ویژگی‌هایی مانند مکان‌محور بودن (جغرافیایی)، یکپارچه‌نگری در انتخاب ابعاد و شاخص‌ها و مشارکت‌پذیری مردم به عنوان ذی‌نفعان کلیدی برنامه‌ریزی و مدیریت سوانح طبیعی در جوامع محلی است. **کتابچی و رسائی‌پور (۱۳۹۷)**، در پژوهشی تحت عنوان تاب‌آوری شهری: ارائه مدلی مفهومی از برنامه‌ریزی و مدیریت شهری به این نتیجه رسیده‌اند که شناسایی و آزمودن نقطه ضعف‌های شهری، تبدیل این نقطه ضعف‌ها به نقطه قوت و درنهایت یافتن فرم‌ها، عملکردها و جریانات انطباق‌پذیر و انعطاف‌پذیر می‌تواند در توسعه طرح‌های شهری حائز اهمیت باشد. همچنین آنچه در مدیریت شهری مهم ارزیابی می‌شود، توجه به تغییرات کالبدی شهر است. وجود منابع مالی، انسانی و مهمتر از همه منابع اطلاعاتی غنی می‌تواند شهر را به سمت ارائه خدمات بهتر سوق دهد تا در این میان انتظارات مردم و گروه‌های بانفوذ نیز برآورده گشته، اهداف پلیداری به‌دست آمده و تاب‌آوری شهر تضمین گردد.

کریمی‌زرکانی و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی تحت عنوان نقش مدیریت شهری در تاب‌آوری شهرها در برابر سوانح طبیعی، شهر باقرشهر را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که نظام مدیریت شهری به دلایلی همچون نبود همکاری بین‌بخشی، نبود نظارت کافی بر ساخت‌وسازها و عدم شناخت کافی از تاب‌آوری شهری به ناتب‌آوری شهری باقرشهر دامن زده است. همچنین نظام مدیریت شهری در دو مؤلفه تأمین منابع مالی و ارزیابی مستمر خطرپذیری‌ها از وضعیت خیلی نامطلوبی برخوردار است، اما در بخش حفاظت و ارتقاء زیرساخت‌ها و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری تا حدودی بهتر عمل کرده است. **حسین‌زاده دلیر و همکاران (۱۳۹۸)**، در مطالعه خود تحت عنوان مروری بر مفهوم تاب‌آوری شهری، به این مطالب اشاره کرده‌اند که فعالیت‌های شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری موجب افزایش فشار بر طبیعت و تضعیف تاب‌آوری آن شده است که اغلب پیامدهای مخربی برای شهرها و ساکنان آن در پی داشته است. با توجه به مواردی مثل طوفان‌ها و سیل‌های اخیر در نقاط مختلف جهان، گرم‌تر شدن، آلودگی هوا و همچنین افزایش هزینه‌های انرژی، کاهش ذخیره آب و مواد غذایی، نیاز فوری به فعالیت و اقدام تأثیرگذار ضرورت یافته است. به همین دلیل، بسیاری از شهرها اقداماتی در زمینه احیای طبیعت انجام

داده‌اند و از فعالیت‌های پایدار حمایت کرده‌اند. در واقع، در دو سه دهه اخیر، فرصت مناسبی برای توسعه پایدار جهانی ایجاد شده است. در این میان، تاب‌آوری و پایداری اهداف اصلی شهرهای آینده خواهند بود. همچنین عواقب جبران‌ناپذیر حوادث طبیعی و آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی شهرهای معاصر موجب شده تا مفاهیم پایداری و تاب‌آوری تا حد زیادی به هم مرتبط شوند. همچنین میچل^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی به بررسی تاب‌آوری شهری و نقش حاکمیت بر زمین مسئولان در برابر مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند. پیشنهادهای این پژوهش در راستای ارتقای تاب‌آوری شهری عبارتند از: تحقق حاکمیت تصرف زمین و برنامه‌ریزی مؤثر بر استفاده از زمین در راستای کاهش آسیب‌پذیری، دسترسی کافی به زمین و پناهگاه امن و بهبود پایداری محیط‌زیست. جانسن و اوستروم^۲ (۲۰۱۹)، در تحقیق خود با عنوان تاب‌آوری، آسیب‌پذیری و سازگاری به بررسی پژوهش‌ها، برنامه‌ها و طرح‌های بین‌المللی در راستای بررسی موضوع تاب‌آوری پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارتقای ابعاد انسانی و نهادی-مدیریتی بیشترین تأثیر را در راستای تحقق‌پذیری جوامع تاب‌آور به خود اختصاص داده‌اند. مک‌گیل^۳ (۲۰۲۰)، نیز در پژوهش خود تحت عنوان تاب‌آوری و چشم‌انداز مدیریت شهری در شهر کنیا به این نتایج دست یافته است که برنامه‌ریزی در راستای توسعه شهر تاب‌آور کنیا شامل سه مرحله در طول سه سال می‌باشد. در سال اول آسیب‌پذیری فیزیکی و محیطی بررسی و بر روی نقشه‌های GIS وارد گردد. در سال دوم رفاه، سلامت و اقتصاد جامعه مورد تحلیل قرار گیرد. در سال سوم نیز فرایندهای برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت یکپارچه طبق بودجه‌بندی مناسب صورت پذیرد.

با توجه به پیشینه مطالعاتی می‌توان عنوان کرد که مدیریت شهرها در راستای تحقق تاب‌آوری از منظر ظرفیت‌سنجی و شناسایی عوامل تأثیرگذار در پژوهش‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. با این حال، بررسی جامع شاخص‌های مدیریت شهری در راستای تحقق تاب‌آوری و همچنین کاربست این شاخص‌ها به‌منظور عملیاتی نمودن اصول تاب‌آوری مدیریتی گفتمان‌های بین‌المللی (هیوگو)، تفاوت پژوهش حاضر با پیشینه مطالعاتی یا به عبارتی نوآوری پژوهش محسوب می‌گردد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

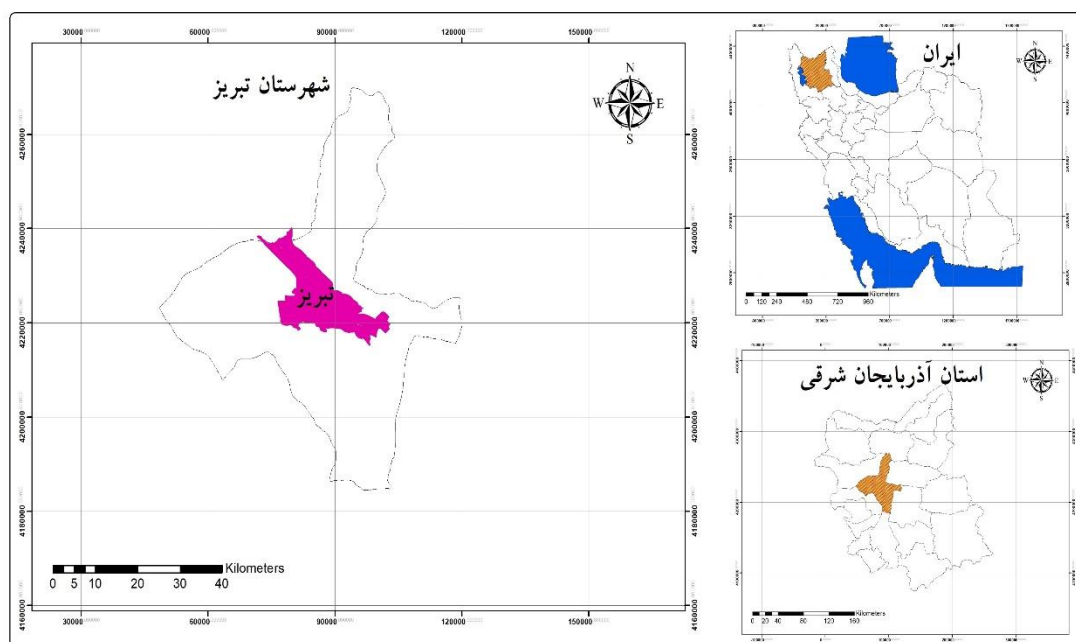
تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی یکی از شهرهای بزرگ ایران است. این شهر بزرگترین شهر منطقه شمال غرب کشور بوده و قطب اداری، ارتباطی، بازرگانی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی این منطقه شناخته می‌شود. این شهر

1 Mitchell

2 Janssen and Ostrom

3 McGill

در ۴۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار مبدأ واقع شده است و ارتفاع متوسط آن از سطح آب‌های آزاد حدود ۱۳۴۰ متر است. همچنین این شهر ششمین شهر پرجمعیت ایران پس از شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، کرج و شیراز محسوب می‌شود. رشد فیزیکی و جمعیتی این شهر باعث ایجاد انواع فشارها در ساختار شهر و نظام مدیریتی آن گردیده و همچنین وجود بحران‌های بالقوه (زلزله، سیل و ...) توجه به تاب‌آوری را ضروری ساخته است. از طرفی شهر تبریز دارای دو گونه بافت مسئله‌دار شامل اسکان غیررسمی و بافت فرسوده است. بافت فرسوده شهر تبریز توسط سازمان مسکن و شهرسازی شناسایی و محدوده‌های آن مصوب گردید. علاوه بر آن شهرداری نیز محدوده‌هایی به‌عنوان بافت فرسوده و اسکان غیررسمی اعلام کرده است که در مجموع مساحت محدوده‌های اعلام شده توسط هر دو ارگان ۲۷۱۶ هکتار است که از این مقدار ۲۳۵۷ هکتار متعلق به بافت فرسوده و مابقی اسکان غیررسمی است (علیپور شعاری دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تبریز

در جدول شماره ۲ به زمین لرزه‌های مرتبط با گسل تبریز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی شهر پرداخته شده است.

جدول ۲- زمین لرزه‌های بزرگ مرتبط با گسل تبریز

سال	بزرگی (MS)	شدت (IQ)
۸۵۸ م.	۶	VII
۱۰۴۲ م.	۷/۶	X
۱۷۲۱ م.	۷/۷	X
۱۷۸۰ م.	۷/۷	X
۱۹۶۰ م.	۵/۱	VI, VII

مأخذ: کاملی‌فر، ۱۳۹۷.

۲-۲- روش پژوهش

روش تحقیق در پژوهش حاضر آمیخته (کمی-کیفی) با هدف توسعه‌ای-کاربردی و ماهیت توصیفی-تحلیلی می‌باشد که به‌منظور گردآوری اطلاعات از روش پیمایشی یعنی پرسشگری از نخبگان دانشگاهی و مدیران و مسئولان حوزه مدیریت بحران شهر تبریز (که بر اساس روش دلفی هدفمند ۱۰۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه برآورد گردیده) و مشاهدات میدانی استفاده شده است. همچنین در راستای بررسی روایی تحقیق از روش اعتبار محتوا با استفاده از مقیاس‌های آزمون شده در پژوهش‌های مربوط به موضوع تاب‌آوری و نظرخواهی از اساتید و کارشناسان متخصص، سنجش پایایی تحقیق از روش آلفای کرونباخ که ضریب کل آلفا ۰/۸۰۱ محاسبه شده و تجزیه و تحلیل اطلاعات از مدل‌سازی معادلات ساختاری در نرم‌افزار Amos بهره گرفته شده است.

همچنین قابل ذکر است پرسشنامه‌ی تحقیق حاضر با استفاده از گویه‌های **جدول شماره (۳)** و طیف لیکرت ۵ مقیاسی طراحی شده است. در راستای انتخاب مؤلفه‌ها و گویه‌های تحقیق می‌توان به این مطلب اشاره کرد که رویکرد هیوگو مرتبط با بعد مدیریتی شهرها به‌منظور تحقق شهر تاب‌آور می‌باشد و استخراج شاخص‌های مدیریتی تأثیرگذار بر شکل‌گیری شهر تاب‌آور و اصول مدیریتی مطرح‌شده مبنای کار بوده است.

جدول ۳- مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق اصول گفتمان‌های مدیریتی تاب‌آوری و کدبندی آن‌ها

مؤلفه‌ها	گویه‌ها	منابع
مدیریت واحد و حمایت‌کننده A	شکل‌گیری یک کانون رهبری فرازمانی برای سامان دادن به پراکندگی مدیریت امور مدیریت بحران X1، وجود مرکزی واحد برای مطالعه و اخذ تصمیمات در راستای برنامه‌های اجرایی و عملیات مقابله با مخاطرات و بحران‌ها X2، استمرار دوران مدیریتی برای حوزه مدیریت بحران و مخاطرات X3، وجود رهبری شایسته و پاسخگو در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X4، حمایت از فرهنگ نوآوری و خلاقیت در راستای مدیریت بحران شهری در ابعاد پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی X5.	(McGill, 2020).

مؤلفه‌ها	گویه‌ها	منابع
ظرفیت‌سازی نهادی B	شناخت هدفمند مسائل و انعطاف‌پذیری در برنامه‌های مدیریت بحران X6، ارتقای میزان تساهل و پذیرش رویکردهای متنوع در نظام مدیریتی حوزه بحران X7، تقویت مکانیزم‌های بومی و محلی در راستای مقابله با بحران X8، استفاده معقولانه از منابع و امکانات در راستای مقابله با بحران X9، شکل‌گیری همبستگی و تعامل مناسب میان مدیران و کارکنان سازمان‌های مدیریت بحران در راستای پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی در شرایط بحرانی X10.	(Rockefeller Foundation, 2019).
هماهنگی و هم‌افزایی نهادی C	وجود هماهنگی میان مراکز اخذ تصمیم‌های کلیدی و اساسی سازمانی و بین‌سازمانی متولی امور مدیریت بحران X11، وجود هماهنگی میان مراکز مستقل اقدام‌کننده در در ابعاد پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی X12، وجود تعامل، مشارکت و تسهیل‌گری بین‌نهادی در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X13.	(رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ رمضان‌زاده، ۱۳۹۵).
مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه D	وجود خطوط گزارش‌دهی و روابط رئیس و مرئوس واضح و روشن در امور مدیریت بحران شهر X14، وجود روش‌های انجام کار از پیش تعریف و تعیین شده و انعطاف‌پذیر با توجه به تغییرات آینده و مسائل پیش‌بینی ناپذیر X15، نظارت دقیق در خصوص رعایت آیین‌نامه‌ها و بخش‌نامه‌ها در حوزه مدیریت بحران X16، تفویض اختیار به مردم و سازمان‌های غیردولتی در امور مربوط به مدیریت بحران شهری و بهره‌مندی از مشارکت تمامی ذی‌نفعان X17، ارائه اطلاعات به صورت عملکردی، به‌موقع، عینی و شفاف در امور مربوط به انواع مخاطرات و بحران‌ها X18.	(پاشازاده و یزدانی، ۱۳۹۷؛ Li et al, 2019).
دیدگاه سیستمی E	وجود دیدگاه کل‌نگرانه در مواجهه با مسائل پیچیده شهرها و مخاطرات و بحران‌های مختلف X19، وجود دیدگاه مشترک میان اقدامات سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X20، استمرار برنامه‌ریزی‌ها در راستای پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی شهر در برابر انواع مخاطرات و بحران‌ها X21، همراهی اهداف بلندمدت سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X22.	(Berke et al, 2015; Berke et al, 2019).
دانش‌محوری F	بهبود روش‌ها و اقدامات براساس علم روز X23، وجود نسبت در پیش‌بینی و قطعی ندیدن همه مسائل آتی و انعطاف‌پذیری در برنامه‌ها و طرح‌های مختلف مدیریت بحران X24، تحقق فناوری اطلاعات در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X25، وجود نظام‌های اطلاعاتی پویا در مورد انواع مخاطرات و بحران‌ها در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X26، بهره‌مندی از افراد با صلاحیت دانشی در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران X27.	(کاملی‌فر، ۱۳۹۷؛ غلامی و همکاران، ۱۳۹۹).

مأخذ: مطالعات اسنادی نگارندگان، ۱۴۰۰؛ مصاحبه با نمونه آماری، ۱۴۰۰.

همچنین عملیاتی نمودن روش دلفی در تحقیق حاضر بدین شرح بوده است: با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر سنجش نظرات گوناگون درباره یک موضوع (شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز) است، بنابراین دو دور نمونه آماری مورد مصاحبه و پرسشگری قرار گرفته‌اند. همچنین دسترسی به این نمونه آماری از طریق روش گلوله‌برفی (انتخاب تعداد محدود نمونه آماری «۱۵ نفر» و معرفی سایرین از طریق افراد اولیه، ثانویه و ...) بوده است. در راستای تدوین پرسشنامه‌ها نیز

ابتدا سؤالات به صورت باز مطرح شده‌اند و پس از رسیدن به نظر مشترک و شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار با توجه به مصاحبه و مطالعه اسنادی، پرسشنامه‌های بسته تنظیم گردیده است. در نهایت نیز پرسشنامه تدوین شده پس از تکمیل در مرحله مقدماتی (۳۰ نفر) و بررسی نتایج آلفای کرونباخ در راستای پایایی متغیرها، از ۱۰۰ نفر حجم نمونه مورد پرسشگری قرار گرفته است.

۳- نتایج و بحث

به منظور شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز از نرم‌افزار مدل‌سازی معادلات ساختاری AMOS گرافیک استفاده شده است. برای این منظور ابتدا ارتباط ساختاری جزئی برای این رابطه و سپس صورت کلی و نهایی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارتباط ساختاری جزئی یا درونی به ارزیابی ارتباط ساختاری ناشی از میزان تأثیر متغیرهای مدیریت واحد و حمایت‌کننده، ظرفیت‌سازی نهادی، هماهنگی و هم‌افزایی نهادی، مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه، دیدگاه سیستمی و دانش‌محوری به عنوان متغیر مستقل بر روی تحقق اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز به عنوان متغیر وابسته بوده که برای ورود به بحث کلی و نهایی ابتدا مورد آزمون جداگانه قرار گرفته است.

در این راستا، ورود عوامل تبیین‌کننده ارتباط ساختاری برای ارزیابی تأثیر متغیرهای مورد بررسی بر روی تحقق اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز نشان می‌دهد میزان پایایی ترکیبی (CR) و ضریب پایایی (CA) به دست آمده بیش از ۰/۷ و میزان میانگین واریانس استخراج شده (AVE) که در قطر خطی جدول شماره ۴ مشخص شده است بیش از ۰/۶ می‌باشد. همچنین همبستگی متغیرهای تحقیق که با رنگ تیره مشخص گردیده است در بازه ۰/۷۹ تا ۰/۸۶ بوده که ورود عوامل را برای تبیین تحقق اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز را به میزان قابل ملاحظه‌ای تشریح می‌کند.

جدول ۴- تحلیل پایایی تبیینی متغیر مستقل و وابسته در مدل‌سازی معادلات ساختاری

متغیرها	CR ¹	AVE ²	CA ³	R	A	B	C	D	E	F
اصول مدیریتی تاب‌آوری (R)	۰/۷۲	۰/۶۳۹	۰/۸۶	۰/۸۵۷	-	-	-	-	-	-
مدیریت واحد و حمایت‌کننده A	۰/۷۴	۰/۶۵۴	۰/۸۳	*۰/۷۰۳	۰/۸۵۱	-	-	-	-	-
ظرفیت‌سازی نهادی B	۰/۷۵	۰/۶۷۲	۰/۸۱	*۰/۵۸۸	*۰/۶۵۹	۰/۸۴۴	-	-	-	-
هماهنگی و هم‌افزایی نهادی C	۰/۷۷	۰/۶۷۵	۰/۷۹	*۰/۶۵۲	*۰/۵۹۴	*۰/۶۱۹	۰/۸۳۶	-	-	-
مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه D	۰/۸۰	۰/۶۸۱	۰/۷۷	*۰/۶۴۷	*۰/۶۲۳	*۰/۶۴۱	*۰/۶۹۰	۰/۸۲۹	-	-
دیدگاه سیستمی E	۰/۸۲	۰/۶۸۷	۰/۷۴	*۰/۶۰۹	*۰/۶۳۹	*۰/۶۳۵	*۰/۵۷۴	*۰/۶۰۷	۰/۸۱۴	-
دانش محوری F	۰/۸۵	۰/۶۹۳	۰/۷۲	*۰/۶۲۴	*۰/۵۸۴	*۰/۵۷۳	*۰/۶۳۸	*۰/۶۶۳	*۰/۵۸۲	۰/۷۹۳

*p < 0.05.

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰.

پس از بررسی ارتباط ساختاری به ارزیابی برازش الگویی مدل بر مبنای ساختار عاملی تأییدی اشاره می‌گردد. مهم‌ترین سنجه‌های شکل‌دهنده آماری در ساختار عاملی تأییدی سنجه‌ی χ^2 نسبت کای اسکور بر درجه آزادی، شاخص برازش تطبیقی^۴ (CFI) و شاخص برازش افزایشی^۵ (IFI) و در نهایت ریشه میانگین مربعات تقریبی^۶ (RMSEA) می‌باشد. این سنجه‌ها دارای مقدار معینی بوده که تحلیل را معنادار ساخته و به تشریح ارتباط ساختاری متغیرهای به‌دست آمده می‌پردازد. به علت متورم شدن میزان کای اسکور در نمونه‌های تحلیلی، اکثر تحلیل‌گران از نسبت کای اسکور بر درجه آزادی استفاده می‌کنند که نمونه‌های دقیق تحلیل شده برای شناسایی ساختار را به‌دست می‌دهد. مقدار این نسبت باید ترکیب نیمی از داده‌ها را دربر گیرد. به دیگر سخن نباید کمتر از دو باشد تا بتوان به معناداری داده‌های به کار رفته اطمینان داشت. نتایج تحلیل ساختار ارتباطی سه متغیر شناسایی شده در این سنجه نشان از قابل قبول بودن آن دارد. شاخص‌های برازش تطبیقی و افزایشی مطابق با استانداردهای آماری تعیین شده هرچه به سمت ۱ میل کنند برازش از سطح نکویی بالایی برخوردار خواهد بود. نتایج این دو شاخص برای متغیرها و تبیین ارتباط ساختاری آن‌ها قابل قبول به‌دست آمده است. شاخص ریشه دوم میانگین

1 Composite Reliabilities

2 Average Variance Extracted

3 Cronbach's Alpha

4 Comparative Fit Index

5 Incremental Fit Index

6 Root-Mean-Square-Error of Approximation

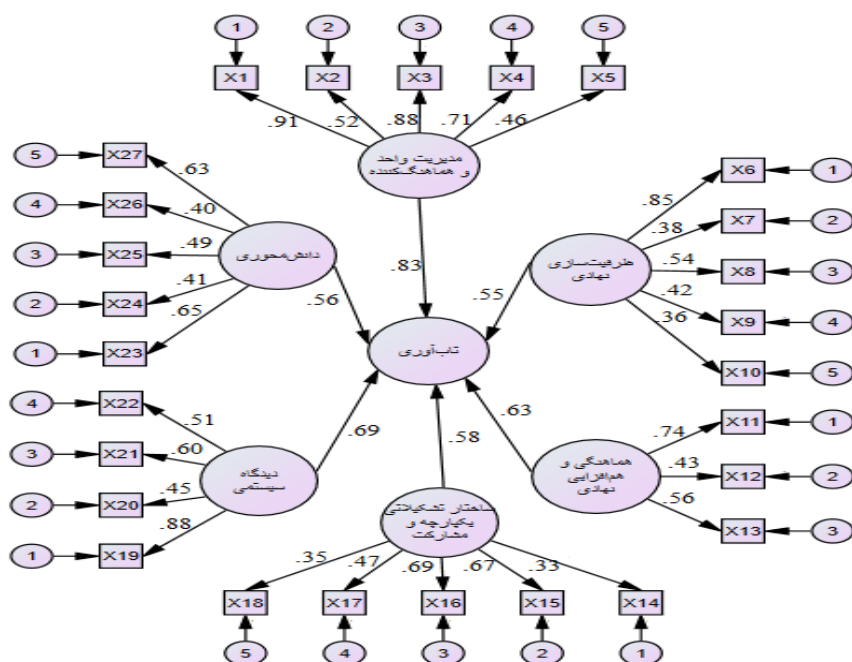
مربعات خطای برآورد یا RMSEA نیز آخرین سنجۀ ساختارشناسی در این مرحله است که در الگوهای قابل قبول مقدار ۰/۰۸ یا کمتر دارد. برازش الگوهایی که مقادیر بالاتر از ۰/۱ دارند، ضعیف برآورد می‌شوند. همان‌طور که در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود، مقدار این شاخص برای الگوی اندازه‌گیری کمتر از ۰/۰۸ است که نشان‌دهندۀ برازش مناسب الگوها، توسط داده‌ها است. در نهایت، با توجه به مطالب یادشده می‌توان نتیجه گرفت الگوهای اندازه‌گیری برازش خوبی دارند و به این معناست که متغیرهای آشکار به‌خوبی می‌توانند متغیرهای پنهان را اندازه‌گیری کنند.

جدول ۵- آمارۀ ساختار عاملی تأییدی ارتباط ساختاری متغیرهای مستقل و وابسته

متغیرها	χ^2	df	P	χ^2/df	CFI	IFI	RMSEA
اصول مدیریتی تاب‌آوری (R)	۲۲۸/۶۹	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۳۱	۰/۹۳۴	۰/۹۲۹	۰/۰۴
مدیریت واحد و حمایت‌کننده A	۲۳۲/۶۵	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۳۵	۰/۹۱۲	۰/۹۴۶	۰/۰۳
ظرفیت‌سازی نهادی B	۲۳۶/۶۱	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۳۹	۰/۹۲۷	۰/۹۲۱	۰/۰۴
هماهنگی و هم‌افزایی نهادی C	۲۳۹/۵۸	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۴۲	۰/۹۳۶	۰/۹۱۶	۰/۰۲
مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه D	۲۴۳/۵۴	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۴۶	۰/۹۰۹	۰/۹۴۴	۰/۰۵
دیدگاه سیستمی E	۲۴۵/۵۲	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۴۸	۰/۹۴۱	۰/۹۱۳	۰/۰۳
دانش‌محوری F	۲۴۸/۴۹	۹۹	۰/۰۰۰	۲/۵۱	۰/۹۲۵	۰/۹۳۷	۰/۰۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰.

بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت مهم‌ترین مؤلفۀ تأثیرگذار بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز، مدیریت واحد و حمایت‌کننده با ضریب ۰/۸۳ می‌باشد. پس از آن نیز به ترتیب بیشترین اثرگذاری مربوط به مؤلفه‌های دیدگاه سیستمی، هماهنگی و هم‌افزایی نهادی، مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه، دانش‌محوری و ظرفیت‌سازی نهادی با ضرایب ۰/۶۹، ۰/۶۳، ۰/۵۸، ۰/۵۶ و ۰/۵۵ بوده است. از طرفی در بین متغیرهای فرعی نیز بیشترین تأثیرگذاری بر کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز مربوط به متغیرهای شکل‌گیری یک قانون رهبری فراسازمانی برای سامان دادن به پراکندگی مدیریت امور مدیریت بحران، استمرار دوران مدیریتی برای حوزه مدیریت بحران و مخاطرات، وجود دیدگاه کل‌نگرانه در مواجهه با مسائل پیچیده شهرها و مخاطرات و بحران‌های مختلف و شناخت هدفمند مسائل و انعطاف‌پذیری در برنامه‌های مدیریت بحران بوده که به ترتیب ضرایب حاصل از مدل ساختاری برای هر کدام ۰/۹۳، ۰/۹۱، ۰/۸۸ و ۰/۸۵ می‌باشد.



شکل ۲- معماری ساختار ارتباطی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کاربست اصول هیوگو در باب نظام مدیریتی
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰.

پس از بررسی و تأیید الگوهای اندازه‌گیری برای آزمون معناداری فرضیه‌ها دو شاخص جزئی مقدار بحرانی و P به کار گرفته شده است. بر اساس سطح معناداری $0/05$ مقدار بحرانی می‌بایست بیشتر از $1/96$ باشد، مقدار پارامتر کمتر از این در الگو، با اهمیت شمرده نمی‌شود. همچنین، مقادیر کوچک‌تر از $0/05$ برای مقدار P حاکی از تفاوت معنادار مقدار محاسبه‌شده برای وزن‌های رگرسیونی با مقدار صفر در سطح 95 درصد اطمینان است. بر اساس نتایج مدل، مقدار بحرانی برای کلیه مؤلفه‌ها بالاتر از $1/96$ در سطح اطمینان 95 درصد محاسبه شده است.

جدول ۶- ضریب رگرسیونی و مقادیر شاخص‌های جزئی مربوط به فرضیه‌ها

متغیرها	ضریب رگرسیونی	مقدار بحرانی	P	نتیجه
مدیریت واحد و حمایت‌کننده	$0/752$	$4/71$	$0/000$	تأیید
ظرفیت‌سازی نهادی	$0/486$	$2/37$	$0/000$	تأیید
هم‌آهنگی و هم‌افزایی نهادی	$0/575$	$3/45$	$0/000$	تأیید
مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه	$0/519$	$3/21$	$0/000$	تأیید
دیدگاه سیستمی	$0/623$	$3/89$	$0/000$	تأیید
دانش محوری	$0/503$	$2/75$	$0/000$	تأیید

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰.

با توجه به نتایج به دست آمده و همچنین بررسی وضعیت موجود به منظور کاربست اصول گفتمان‌های نوظهور تاب‌آوری (هیوگو) در باب نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز، تبیین مؤلفه‌های تأثیرگذار در اصول ۱۰ گانه رویکرد هیوگو به شرح زیر می‌باشد. در این راستا متغیرها و مؤلفه‌های مدیریتی تأثیرگذار بر تحقق هر کدام از اصول هیوگو مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

اصل اول؛ ساماندهی و هماهنگی: در راستای ساماندهی مدیریت بحران کلان‌شهر تبریز نیاز به شکل‌گیری یک کانون فراسازمانی برای یکپارچگی در مدیریت انواع بحران‌ها و مخاطرات و جلوگیری از تفرق‌های موجود در عرصه تصمیم‌گیری و عملکردی و همچنین وجود هماهنگی میان مراکز مستقل اقدام‌کننده در در ابعاد پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی و پاسخگویی و شفافیت در اقدام ضروری می‌باشد.

اصل دوم؛ تخصیص بودجه و منابع مالی برای ساکنان محدوده خطر: کلان‌شهر تبریز در متن خود شاهد عدم تعادل‌های فضایی در بهره‌مندی از امکانات، تجهیزات و تسهیلات مناسب در مواجهه با انواع بحران‌ها و همچنین نابرابری در تاب‌آوری ساکنان می‌باشد. از این رو ضروری است که با دیدگاه کل‌نگرانه برای تمام سطوح شهر و همچنین تقویت مکانیزم‌های بومی و محلی در راستای مقابله با بحران به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر که اثرات آن تمام سطوح شهر را دربر خواهد گرفت، با نیازسنجی مناسب امکانات و خدمات مورد نیاز در راستای تاب‌آور نمودن شهر را فراهم نمود.

اصل سوم؛ به‌روزرسانی اطلاعات مربوط به مخاطرات و آسیب‌پذیری‌ها: تحقق این اصل منوط به بهره‌مندی فناوری اطلاعات و افراد با صلاحیت دانشی در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران و در نهایت وجود نظام‌های اطلاعاتی پویا در مورد انواع مخاطرات و بحران‌ها و همچنین میزان و سطوح آسیب‌پذیر شهر می‌باشد.

اصل چهارم؛ مدیریت و محافظت از زیرساخت‌ها: مدیریت و حفاظت از زیرساخت‌های شهر نیازمند یک مدیریت حامی و پاسخگو با شفافیت در انواع عملکردها در حوزه مدیریت بحران از یک‌سو و همچنین با رویکرد یکپارچگی در نظام اجرایی و تسهیل‌گری برای مشارکت تمامی ذی‌نفعان می‌باشد.

اصل پنجم؛ امنیت هدارس و مراکز درهانی: به‌منظور ارتقای امنیت مراکز درهانی و هدارس بهره‌مندی از الگوها، روش‌ها و اقدامات براساس علم در راستای استحکام سازه‌ای و همچنین پاسخگویی در شرایط بحرانی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

اصل ششم؛ قوانین ساخت‌وساز و کاربری زمین: وجود خط گسل در شمال و جنوب شهر و موقعیت‌یابی اسکان‌های غیررسمی و افراد کم‌درآمد در این حوزه از یک‌سو و همچنین تخریب محیط‌زیست به‌ویژه در مناطق حاشیه‌ای شهر برای احداث مسکن از سوی دیگر ضرورت شکل‌گیری هماهنگی و تعامل بین سازمان‌های مختلف با تأکید بر قوانین الزام را ضروری ساخته است. در این راستا طی سالیان گذشته شهرداری‌های مناطق ۱۰ گانه کلان‌شهر

تبریز با تأکید بر پروژه‌های ممیزی املاک و اراضی به دنبال کنترل در ساخت‌وسازها و جلوگیری از تغییرات کاربری زمین در سطح شهر بوده‌اند.

اصل هفتم؛ آموزش جوامع محلی: ارتقای ظرفیت و آگاهی شهروندان در راستای مقابله با انواع بحران و مخاطرات از طریق شناخت هدفمند بحران‌ها و اثرات آن‌ها و همچنین مدیریت بحران شهری با برنامه‌های آموزشی مناسب برای کلیه اقشار جامعه امکان‌پذیر می‌باشد.

اصل هشتم؛ محافظت از محیط طبیعی: محیط زیست کلان‌شهر تبریز با توجه به افزایش بیش از حد جمعیت در این شهر و افزایش آلودگی‌های محیطی و همچنین تخریب محیط‌زیست در وضعیت بحرانی بوده و نیازمند یکپارچگی در تشکیلات مدیریت شهر در ابعاد مختلف به‌ویژه مدیریت بحران احساس می‌گردد.

اصل نهم؛ سیستم‌های هشدار توان مدیریت: ارائه اطلاعات به صورت عملکردی، به‌موقع، عینی و شفاف در امور مربوط به انواع مخاطرات و بحران‌ها و همچنین بهره‌گیری از فناوری اطلاعات در ارگان‌های مسئول مدیریت بحران و همچنین بروزرسانی اطلاعات طی دوره‌های زمانی مشخص موجب ارتقای سیستم‌های هشدار توان مدیریت بحران کلان‌شهر تبریز خواهد گردید.

اصل دهم؛ اقدامات بازرسی: نظارت و بازرسی نیازمند وجود روش‌های انجام کار از پیش تعریف و تعیین شده و انعطاف‌پذیر با توجه به تغییرات آینده و مسائلی پیش‌بینی‌ناپذیر و همچنین وجود وجود خطوط گزارش‌دهی و روابط رئیس و مرئوس واضح و روشن در امور مدیریت بحران شهر از یک‌سو و بهره‌گیری از افراد متعهد و با صلاحیت دانشی در ارگان‌های مسئول در راستای تحقق اقدامات پیشگیرانه، مواجهه و توانمندسازی در مواقع بحرانی می‌باشد.

۴- جمع‌بندی

کلان‌شهر تبریز همچون اکثر شهرهای دنیا با چالش‌های متعددی همچون تراکم شدید جمعیت، ترافیک شدید، کمبود مسکن، کمبود منابع، کاهش تنوع زیستی، جزایر حرارتی، آلودگی صوتی و آلودگی آب‌وهوا و همچنین انواع مخاطرات و بحران‌های انسانی و طبیعی روبه‌رو است. در این بین وجود مستمر بحران‌ها و مخاطراتی همچون زلزله (گسل تبریز) می‌تواند قابلیت زندگی و شرایط زیست در این شهر را مختل سازد. از این رو، نیاز است تا بهره‌گیری از رویکردهای نوینی همچون تاب‌آوری برای مواجهه با این بحران‌ها و اثرات آن‌ها آماده گردید. در این بین اصول تاب‌آور نمودن شهرها، در سازمان‌ها و گفتمان‌های بین‌المللی متعدد مطرح گردیده است. یکی از مهم‌ترین این گفتمان‌ها هیوگو است که چارچوب قانونی آن در راهبرد بین‌المللی کاهش سوانح سازمان ملل متحد برای تقلیل خطرهای ناشی از سوانح در اصول ۱۰ گانه مدیریتی مطرح شده است. به‌منظور کاربست اصول این رویکرد در نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز به‌منظور تقلیل خطرهای ناشی از انواع مخاطرات و تاب‌آور نمودن شهر، نیاز به شناسایی

عوامل تأثیرگذار بر تحقق اصول آن می‌باشد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق اصول رویکرد هیوگو در نظام مدیریتی کلان‌شهر تبریز و به تبع آن دستیابی به شهر تاب‌آور مربوط به مؤلفه‌های مدیریت واحد و حمایت‌کننده، ظرفیت‌سازی نهادی، هماهنگی و هم‌افزایی نهادی، مشارکت و ساختار تشکیلاتی یکپارچه، دیدگاه سیستمی، دانش محوری هستند. تحقق این مؤلفه‌ها موجب کاربست منطقی اصول ۱۰ گانه هیوگو و همچنین سایر اصول مطرح‌شده در گفتمان‌های بین‌المللی از طریق شکل‌گیری یک کانون رهبری فراسازمانی و یکپارچگی در مدیریت امور مدیریت بحران، شناخت هدفمند مسائل و انعطاف‌پذیری در برنامه‌های مدیریت بحران، شکل‌گیری همبستگی و تعامل مناسب میان مدیران و کارکنان سازمان‌های مدیریت بحران در راستای پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی در شرایط بحرانی، شکل‌گیری تعامل، مشارکت و تسهیل‌گری بین‌نهادی در سازمان‌های متولی امور مدیریت بحران و استمرار برنامه‌ریزی‌ها در راستای پیشگیری، آمادگی، مواجهه و توانمندسازی شهر در برابر انواع مخاطرات و بحران‌ها خواهد گردید.

همچنین نتایج پژوهش حاضر تأییدی از پژوهش‌های کاملی‌فر (۱۳۹۷)، نقش دانش محوری، کریمی‌زرکانی و همکاران (۱۳۹۸)، نقش هماهنگی بین‌بخشی، جانسن و اوستروم (۲۰۱۹) و مک‌گیل (۲۰۲۰)، نقش مدیریت یکپارچه در تحقق تاب‌آوری می‌باشد. از طرفی تفاوت پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین از منظر بررسی مؤلفه‌ها و متغیرها قابل بیان است و علاوه بر بهره‌گیری از متغیرهای مختلف مدیریتی در راستای ارتقاء تاب‌آوری، تأثیر این مؤلفه‌ها بر تحقق اصول ۱۰ گانه هیوگو مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. از منظر روش‌شناسی نیز تحقیق حاضر با تأکید بر رویکرد آمیخته (کمی و کیفی) دارای تفاوت اساسی با پژوهش‌های گذشته است.

به‌طورکلی نیز با بررسی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقق اصول مدیریتی تاب‌آوری با تأکید بر رویکرد هیوگو و همچنین مصاحبه با نمونه آماری، می‌توان پیشنهادهای زیر برای کاربست موفق رویکرد هیوگو و تاب‌آور نمود کلان‌شهر تبریز ارائه کرد:

- توجه به کلیه جنبه‌های فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شهر در طرح‌های تاب‌آوری و مدیریت بحران و تأکید بر دیدگاه سیستمی و چندبعدی؛
- ایجاد سازوکاری برای شکل‌گیری تعامل و هماهنگی بین بخش‌های دولتی و خصوصی در راستای افزایش ایمنی و تاب‌آوری شهر و نقش تسهیل‌گر سازمان‌های دولتی در این زمینه؛
- تحقق یکپارچگی در سیستم مدیریت شهری و حوزه مدیریت بحران و کاهش تفرق‌های عملکردی؛
- ارتقای مکانیزم‌های نهادی و ظرفیت‌های درون‌سازمانی و هماهنگی بین آن‌ها در عرصه مدیریت بحران؛
- آموزش مناسب شهروندان و افزایش آگاهی آن‌ها در راستای مقابله با بحران‌ها و واکنش به آن‌ها؛

- ایجاد پایگاه‌های ارتباطی بین مردم و سازمان‌های مسئول جهت تسریع در کیفیت پاسخگویی به نیازها در زمان وقوع بحران و پاسخگویی مسئولان نسبت به این نیازها؛
- تدوین قوانین الزام‌آور برای رعایت موازین و اصول مبتنی بر پیش‌گیری از رخداد بحران؛
- ایجاد پایگاه‌های اطلاعاتی پویا مبتنی بر آمار و اطلاعات مکانی-جغرافیایی برای شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های حادثه‌خیز جهت اقدامات مبتنی بر پیش‌گیری؛
- تأکید بر تقویت دیپلماسی جمعی برای مشارکت با نهادهای مرتبط در راستای مواجهه با بحران؛
- شکل‌گیری هماهنگی بین طرح‌های ارتقای تاب‌آوری با سایر طرح‌های بالادست همچون طرح جامع.

کتابنامه

- پاشازاده، اصغر؛ یزدانی، محمدحسن؛ ۱۳۹۷. تاب‌آوری شهری. اردبیل: انتشارات گونش نگار.
- <http://www.gunashnegar.ir/product>
- حسین‌زاده دلیر، کریم؛ محمدیان، مهرداد؛ سرداری، رؤیا؛ ۱۳۹۸. مروری بر مفهوم تاب‌آوری شهری. *مطالعات طراحی شهری و پژوهش‌های شهری*، ۲(۶)، ۷۸-۶۹.
- <http://ensani.ir/fa/article/405721>
- رضایی، محمدرضا؛ ۱۳۹۰. ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی و نهادی جوامع شهری در برابر سوانح طبیعی، مطالعه موردی: زلزله محله‌های شهر تهران. *مدیریت بحران*، ۲(۳)، ۳۶-۲۵.
- http://www.joem.ir/article_3780.html
- رفیعیان، مجتبی؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزکار، اکبر؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص‌سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع‌محور (CBDM). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)*، ۱۵(۷۲)، ۴۱-۱۹.
- <http://ensani.ir/fa/article/304057>
- رمضان‌زاده، مهدی؛ ۱۳۹۵. مبانی و مفاهیم تاب‌آوری شهری (مدل‌ها و الگوها). تهران: معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی امور زیرساخت و طرح جامع، مدیریت مطالعات و برنامه‌ریزی امور فنی و عمرانی، استانداردسازی و امور بحران.
- <http://saeedsun.ir/blog/2018/01/14>
- علیپور شعاری دهقانی، مریم، پناهی، علی، ولی‌زاده، رضا؛ ۱۴۰۰. امکان‌سنجی اصول مدیریتی تاب‌آوری در کلان‌شهرهای ایران با تأکید بر رویکرد هیوگو (HFA) (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز). *مطالعات مدیریت شهری*، ۱۳(۴۵)، ۵۸-۴۷.
- https://ums.srbiau.ac.ir/article_18149.html
- غلامی، حمیده؛ پناهی، علی؛ احمدزاده، حسن؛ ۱۳۹۹. آینده‌پژوهی تاب‌آوری سکونتگاه‌های شهری در برابر مخاطرات محیطی با تأکید بر پاندمی کرونا (مطالعه موردی: شهر تبریز). *مخاطرات محیطی*، ۷(۳۶)، ۱۹۹-۱۷۹.
- https://geoeh.um.ac.ir/article_39413.html
- کاملی‌فر، محمدجواد؛ ۱۳۹۷. تحلیل حکمروایی شهری دانش‌بنیان و تأثیر آن در ارتقاء عملکرد نظام مدیریت بحران در کلان‌شهر تبریز. رساله‌ی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: محمدعلی فیروزی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/cf4381f3ba2dcf45814245bfac3a69d4>

کتابچی، عماد؛ رسائی‌پور، مریم؛ ۱۳۹۷. تاب‌آوری شهری: ارائه مدلی مفهومی از برنامه‌ریزی و مدیریت شهری.

معماری‌شناسی، ۱(۱)، ۱۰-۱. <http://ensani.ir/fa/article/380607>

کریمی‌زرکانی، علیرضا؛ شیخ‌الاسلامی، علیرضا؛ پریزادی، طاهر؛ ۱۳۹۸. نقش مدیریت شهری در تاب‌آوری شهرها در برابر سوانح طبیعی (مورد مطالعه: شهر باقرشهر). *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۲(۴۵)، ۴۵۶-۴۴۱

https://geography.garmsar.iau.ir/article_670393.html

گاسپارینی، پائولو، گانتو مانفردی، دومینکو، آسپرونه؛ ۱۳۹۵. تاب‌آوری و پایداری در مقابل بلایای طبیعی (چالشی برای شهرهای آینده)، ترجمه حسین حاتمی‌نژاد و مرتضی نصرتی‌هشی، تهران: انتشارات آراد

کتاب. <https://www.gisoom.com/book/11298385>

Anderies, J.M., 2014. Embedding built environments insocial-ecological systems: resilience-based design principles. *Building Research & Information*, 42, 130–142.

<https://doi.org/10.1080/09613218.2013.857455>.

Batty, M., 2009. *Cities as complex systems: scaling, interaction, networks, dynamics and urban morphologies*. In: Meyers, R.A. (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer, Berlin. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-30440-3_69.

Berke, P., Newman, G., Lee, J., Combs, T., Kolosna, C., & Salvesen, D., 2015. Evaluation of networks of plans and vulnerability to hazards and climate change: a resilience scorecard. *Journal of the American Planning Association*, 81(4), 287–302.

<https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1093954>.

Berke, P.R., Malecha, M.L., Yu, S., Lee, J., & Masterson, J.H., 2019. Plan integration for resilience scorecard: evaluating networks of plans in six US coastal cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(5), 901–920.

<https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1453354>.

Bulkeley, H., & Tuts, R., 2013. Understanding urban vulnerability, adaptation and resilience in the context of climate change. *Local Environment*, 18(6), 646–662.

<https://doi.org/10.1080/13549839.2013.788479>.

Davoudi, S., Brooks, E., & Mehmood, A., 2013. Evolutionary resilience and strategies for climate adaptation. *Planning, Practice & Research*, 28(3), 307–322.

<https://doi.org/10.1080/02697459.2013.787695>.

Eraydin, A., & Taşan-Kok, T., 2013. *Introduction: Resilience thinking in urban planning*. In A. Eraydin, & T. Taşan-Kok (Eds.). *Resilience thinking in urban planning* (pp. 1–16). Dordrecht: Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-5476-8>.

Farahmand, H., Dong, S., Mostafavi, A., Berke, P.R., Woodruff, S.C., Hannibal, B., 2020. Institutional congruence for resilience management in interdependent infrastructure systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101515.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101515>.

Godschalk, D.R., 2003. Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136–143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136)).

Hegger, D. L. T., Driessen, P. P. J., Wiering, M., van Rijswijk, H. F. M. W., Kundzewicz, Z. W., & Matczak, P., 2016. Toward more flood resilience: Is a diversification of flood risk management strategies the way forward. *Ecology and Society*, 21(4), 52.

- <https://doi.org/10.5751/ES-08854-210452>.
- Heinzlef, C., Robert, B., H'emon, Y., & Serre, D., 2020. Operating urban resilience strategies to face climate change and associated risks: Some advances from theory to application in Canada and France. *Cities*, 104, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102762>.
- Holling, C. S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.
- Janssen, M. A., & Ostrom, E., 2019. Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. *Editorial, Global Environmental Change*, 16, 237-239. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.003>.
- Leichenko, R., 2011. Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3, 164-168. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014>.
- Li, Q., Dong, S., & Mostafavi, A., 2019. Modeling of inter-organizational coordination dynamics in resilience planning of infrastructure systems: a multilayer network simulation framework. *PLoS One*, 14(11), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224522>.
- Ma, F., Wang, Z., Sun, Q., Yuen, K. F., Zhang, Y., & Xue, H., 2020. Spatial – Temporal evolution of urban resilience and its influencing factors: Evidence from the Guanzhong Plain Urban Agglomeration. *Sustainability*, 12(7), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12072593>.
- Mayunga, J. S., 2007. Understanding and applying the concept of community disaster resilience: A capital-based approach. *A Draft Working Paper Prepared for the Summer Academy for Social Vulnerability and Resilience Building*, 22- 28 July 2007, Munich. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>.
- McEvoy, D., Fünfgeld, H., & Bosomworth, K. 2013. Resilience and climate change adaptation: The importance of framing. *Planning Practice & Research*, 28(3), 280-293. <https://doi.org/10.1080/02697459.2013.787710>.
- McGill, R., 2020. Urban resilience – An urban management perspective. *Journal of Urban Management*, 9, 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.04.004>.
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M., 2016. Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>.
- Mitchell, D., Enemark, S., & Molen P. V. D., 2010. Climate Resilient Urban Development: Why Responsible Land Governance is Important. *Land Use Policy*, 48, 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.026>.
- Monstadt, J., & Schmidt, M., 2019. Urban resilience in the making? The governance of critical infrastructures in German cities. *Urban Studies*, 56(11), 2353-2371. <https://doi.org/10.1177/0042098018808483>.
- O'Hare, P., & White, I., 2013. Deconstructing resilience: Lessons from planning practice. *Planning Practice & Research*, 28(3), 275-279. <https://doi.org/10.1080/02697459.2013.787721>.
- Otto-Zimmermann, K., 2011. *Resilient cities: Cities and adaptation to climate change – Proceedings of the global forum 2010*. Dordrecht: Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-0785-6>.
- Rockefeller Foundatio., 2019. *100 resilient cities initiative*. New York: Rockefeller Foundation. Accessed date: 25 February 2019. <http://www.100resilientcities.org>.
- Spaans, M., & Waterhout, B., 2017. Building up resilience in cities worldwide—Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.011>.
- Stumpp, E. M., 2013. New in town? On resilience and “resilient cities”. *Cities*, 32, 164-166. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.01.003>.

- Tan, J., Lo, K., Qiu, F., Zhang, X., & Zhao, H., 2020. Regional economic resilience of resource-based cities and influential factors during economic crises in China. *Growth and Change*, 51(1), 362–381. <https://doi.org/10.1111/grow.12352>.
- Taylor, M., 2014. *The political ecology of climate change adaptation: Livelihoods, agrarian change and the conflicts of development*. First ed. Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9780203762486>.
- Wardekker, J. A., de Jong, A., Knoop, J. M., & van der Sluijs, J. P., 2010. Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 987–998. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.11.005>.
- Woodruff, S.C., & Regan, P., 2019. Quality of national adaptation plans and opportunities for improvement. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 33, 53–71. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-018-9794-z>.
- Zhu, S., Li, D., Feng, H., Gu, T., Hewage, K., & Sadiq, R., 2020. Smart city and resilient city: Differences and connections. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(6), 1–19. <https://doi.org/10.1002/widm.1388>.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)
VOLUME 12, NO 45, Spring 2023



CONTENTS

- **Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost)** 1
Tohid Rahimpour, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Seyed Asedolah Hejazi, Khalil Valizadeh Kamran
- **The Assessment of Neotectonic Activity in Raveh-Rahjerd Volcano-Sedimentary Area (Salafchegan)** 2
Mostafa Najafi, Seyed Ahmad Alavi, Mohsen Ehteshami Moinabadi
- **Evaluating Ecological Degradation of Kosalan Protected Area using Remote Sensing and GIS** 3
Zahra Jalilian, Jamil Amanollahi
- **The Impacts of Sediment Transport on the Width of Ajichai River Flood Zoning** 4
Meysam Azhideh, Mohammad Taghi Aalami, Habibeh Abbasi, Leila Malekani
- **Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-Type Stands in Northern Iran** 5
Roghayeh Jahdi
- **The Evaluation of Landslide Sensitivity using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models (Case Study: Khorramabad-Arak Freeway)** 6
Siamak Baharvand
- **Collaborative Investigation of the Floods of Balikhlochai Watershed in Ardabil (Case Study: March 07, 2010 and December 08, 2010)** 7
Behrooz Sobhani, Mahdi Foroutan
- **Investigating the Most Suitable Observation Points in Natural Resources Monitoring using Spatial Analysis** 8
Mohsen Mostafa, Shaban Shataee Jouibary
- **Evaluation of ECMWF Center Data in Monitoring and Forecasting Dust Storms in Southwestern Iran (Case Study: Khuzestan Plain)** 9
Hassan HajiMohammadi, Somaye Hajivand Paydari
- **Reconstruction of Holocene Climate Changes in Southwestern Iran using Modern Pollen Rain Analysis** 10
Mahmoud Davoudi, Mohammad Amin Moradi Moghaddam
- **Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset** 11
Seydeh Fatemeh Akhlaghi Hosseiny, Azar Zarrin, Abbasali Dadashi Roudbari
- **Investigating Temporal-Spatial Distribution and the Possibility of Wind Gust Prediction in Iran** 12
Mohammad Hesam Mohammadi, Amir Hussain Meshkatee, Sarmad Ghader, Majid Azadi
- **Performance Evaluation of PERSIAN PDIR-Now and PERSIANN CCS Products for Precipitation leading to the Most Severe Floods in Iran between 2017 and 2019** 13
Seyed Hossein Sanaei Nejad, Khosro Salari
- **Identifying and Prioritizing the Effective Weather Threats to the Combat Readiness of Military Units in Southeast Iran** 14
Mohammad Mohammadi, Mohammadhosein Naserzadeh, Bohlul Alijani, Hasan Ghazi
- **Identifying the Components affecting the Application of the Principles of Emerging Resilience Discourses (Hugo) in the Management System of Cities (Case Study: Tabriz Metropolis)** 15
Maryam Alipour Shoari Deighani, Ali Panahi, Reza Valizadeh

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

Fax: +98(0) 51 38794144 E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website: <http://geoeh.um.ac.ir>

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, Telephon, 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 12, NO 45, Spring 2023

Pages

- **Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost)** 1
Tohid Rahimpour, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Seyed Asedolah Hejazi, Khalil Valizadeh Kamran
- **The Assesment of Neotectonic Activity in Raveh-Rahjerd Volcano-Sedimentary Area (Salafchegan)** 2
Mostafa Najafi, Seyed Ahmad Alavi, Mohsen Ehteshami Moinabadi
- **Evaluating Ecological Degradation of Kosalan Protected Area using Remote Sensing and GIS** 3
Zahra Jalilian, Jamil Amanollahi
- **The Impacts of Sediment Transport on the Width of Ajichai River Flood Zoning** 4
Meysam Azhideh, Mohammad Taghi Aalami, Habibeh Abbasi, Leila Malekani
- **Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-Type Stands in Northern Iran** 5
Roghayeh Jahdi
- **The Evaluation of Landslide Sensitivity using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models (Case Study: Khorramabad-Arak Freeway)** 6
Siamak Baharvand
- **Collaborative Investigation of the Floods of Balikhlochai Watershed in Ardabil (Case Study: March 07, 2010 and December 08, 2010)** 7
Behrooz Sobhani, Mahdi Foroutan
- **Investigating the Most Suitable Observation Points in Natural Resources Monitoring using Spatial Analysis** 8
Mohsen Mostafa, Shaban Shataee Jouibary
- **Evaluation of ECMWF Center Data in Monitoring and Forecasting Dust Storms in Southwestern Iran (Case Study: Khuzestan Plain)** 9
Hassan HajiMohammadi, Somaye Hajivand Paydari
- **Reconstruction of Holocene Climate Changes in Southwestern Iran using Modern Pollen Rain Analysis** 10
Mahmoud Davoudi, Mohammad Amin Moradi Moghaddam
- **Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset** 11
Seydeh Fatemeh Akhlaghi Hosseiny, Azar Zarrin, Abbasali Dadashi Roudbari
- **Investigating Temporal-Spatial Distribution and the Possibility of Wind Gust Prediction in Iran** 12
Mohammad Hesam Mohammadi, Amir Hussain Meshkatee, Sarmad Ghader , Majid Azadi
- **Performace Evaluation of PERSIAN PDIR-Now and PERSIANN CCS Products for Precipitation leading to the Most Severe Floods in Iran between 2017 and 2019** 13
Seyed Hossein Sanaei Nejad, Khosro Salari
- **Identifying and Prioritizing the Effective Weather Threats to the Combat Readiness of Military Units in Southeast Iran** 14
Mohammad Mohammadi, Mohammadhosein Naserzadeh, Bohlul Alijani, Hasan Ghazi
- **Identifying the Components affecting the Application of the Principles of Emerging Resilience Discourses (Hugo) in the Management System of Cities (Case Study: Tabriz Metropolis)** 15
Maryam Alipour Shoari Dehghani, Ali Panahi, Reza Valizadeh



JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS



Research Journal

Volume. 12, No. 45, Spring 2023

- **Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin using New Ensemble Classification Approach (FURIA-GA-LogitBoost)**
Tohid Rahimpour, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Seyed Asedolah Hejazi, Khalil Valizadeh Kamran
- **The Assesment of Neotectonic Activity in Raveh-Rahjerd Volcano-Sedimentary Area (Salafchegan)**
Mostafa Najafi, Seyed Ahmad Alavi, Mohsen Ehteshami Moinabadi
- **Evaluating Ecological Degradation of Kosalan Protected Area using Remote Sensing and GIS**
Zahra Jalilian, Jamil Amanollahi
- **The Impacts of Sediment Transport on the Width of Ajichai River Flood Zoning**
Meysam Azhideh, Mohammad Taghi Aalami, Habibeh Abbasi, Leila Malekani
- **Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-Type Stands in Northern Iran**
Roghayeh Jahdi
- **The Evaluation of Landslide Sensitivity using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models (Case Study: Khorramabad-Arak Freeway)**
Siamak Baharvand
- **Collaborative Investigation of the Floods of Balikhlochai Watershed in Ardabil (Case Study: March 07, 2010 and December 08, 2010)**
Behrooz Sobhani, Mahdi Foroutan
- **Investigating the Most Suitable Observation Points in Natural Resources Monitoring using Spatial Analysis**
Mohsen Mostafa, Shaban Shataee Jouibary
- **Evaluation of ECMWF Center Data in Monitoring and Forecasting Dust Storms in Southwestern Iran (Case Study: Khuzestan Plain)**
Hassan HajiMohammadi, Somaye Hajivand Paydari
- **Reconstruction of Holocene Climate Changes in Southwestern Iran using Modern Pollen Rain Analysis**
Mahmoud Davoudi, Mohammad Amin Moradi Moghaddam
- **Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset**
Seydeh Fatemeh Akhlaghi Hosseiny, Azar Zarrin, Abbasali Dadashi Roudbari
- **Investigating Temporal-Spatial Distribution and the Possibility of Wind Gust Prediction in Iran**
Mohammad Hesam Mohammadi, Amir Hussain Meshkatee, Sarmad Ghader, Majid Azadi
- **Performace Evaluation of PERSIAN PDIR-Now and PERSIANN CCS Products for Precipitation leading to the Most Severe Floods in Iran between 2017 and 2019**
Seyed Hossein Sanaei Nejad, Khosro Salari
- **Identifying and Prioritizing the Effective Weather Threats to the Combat Readiness of Military Units in Southeast Iran**
Mohammad Mohammadi, Mohammadhosein Naserzadeh, Bohlul Alijani, Hasan Ghazi
- **Identifying the Components affecting the Application of the Principles of Emerging Resilience Discourses (Hugo) in the Management System of Cities (Case Study: Tabriz Metropolis)**
Maryam Alipour Shoari Dehghani, Ali Panahi, Reza Valizadeh



دانشگاه فردوسی مشهد



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