# مجله
# جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال سیزدهم، شماره ۴۹، بهار ۱۴۰۳، شاپا : ۲۳۸۳-۳۰۷۶



- **مدل‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM و برآورد پارامتر فاکتور درجه-روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ...**
  رضا شهرکی‌مجاهد، امین علیزاده، سیدحسین ثنائی‌نژاد، علیرضا فریدحسینی، آذر زرّین
- **بررسی مخاطره سیلاب از طریق مدل‌های SWAT و SIMHYD در حوضه آبریز کَرگانرود تالش**
  محمدحسین رضائی‌مقدم، کوثر لقمان‌نیا، صدرا کریم‌زاده، عبدالله بهبودی
- **بررسی تأثیر پل بر روی پهنه سیل‌گیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و Arc-GIS**
  حسن حاجی حسینلو، وحید اقدام، ابراهیم ولیزادگان
- **شناسایی و سنجش اهمیت شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی**
  سیدمحمد موسوی‌پارسایی، مرتضی توکلی، مهدی پورطاهری
- **پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل (موردمطالعه: حوضه بهدان، شهرستان بیرجند)**
  علی اشرفی، جواد میکانیکی، مرتضی دهقانی، حسن سابقی
- **تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)**
  چنور محمدی، حسین نظم‌فر، صیاد اصغری سراسکانرود
- **ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه بدخشان (شمال شرق افغانستان)**
  خدیجه محمدی، ابراهیم مقیمی، مهدی زارع، مجتبی یمانی، مسعود مجرب
- **بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه**
  مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا
- **پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران**
  بهروز ساری صراف، هاشم رستم‌زاده، نبی محمدی
- **بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران**
  فرامرز خوش‌اخلاق، حسن حاجی‌محمدی، حسین کوشکی
- **آشکارسازی تفاوت‌های دمایی ناشی از تغییرات کاربری شهری و حومه (موردمطالعه: شهرستان ارومیه)**
  نسرین‌السادات بزمی، زهرا حجازی‌زاده، پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی، غلامرضا جانبازقبادی
- **واکاوی چنددهه‌ای تغییرات تابش تجمعی روزانه فرابنفش سطحی در ایران و همبستگی آن با تغییرات ازون کلی و ابرناکی**
  هانیه بازیارپور، علی‌اکبر سبزی‌پرور
- **آشکارسازی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵**
  هنگامه شیراوند، زرین طحان، سید اسعد حسینی
- **بررسی تأثیر شیوع ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها در جنوب غرب آسیا**
  شقایق برادران مطیع، محسن جان‌پرور، علی محمدپور
- **مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم)**
  ناصر مشهدی

فصلنامه

# جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال سیزدهم ، شمارهٔ چهل و نه ، بهار ۱۴۰۳

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


- **مدل‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM و برآورد پارامتر فاکتور درجه-روز با استفاده از تصاویر ...**
  رضا شهرکی‌مجاهد، امین علیزاده، سیدحسین ثنائی‌نژاد، علیرضا فریدحسینی، آذر زرّین
- **بررسی مخاطره سیلاب از طریق مدل‌های SWAT و SIMHYD در حوضه آبریز کَرگانرود تالش**
  محمدحسین رضائی‌مقدم، کوثر لقمان‌نیا، صدرا کریم‌زاده، عبدالله بهبودی
- **بررسی تأثیر پل بر روی پهنه سیل‌گیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و Arc-GIS ...**
  حسن حاجی حسینلو، وحید اقدام، ابراهیم ولیزادگان
- **شناسایی و سنجش اهمیت شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی**
  سیدمحمد موسوی‌پارسایی، مرتضی توکلی، مهدی پورطاهری
- **پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل ...**
  علی اشرفی، جواد میکانیکی، مرتضی دهقانی، حسن سابقی
- **تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)**
  چنور محمدی، حسین نظم‌فر، صیاد اصغری سراسکانرود
- **ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه بدخشان (شمال شرق افغانستان)**
  خدیجه محمدی، ابراهیم مقیمی، مهدی زارع، مجتبی یمانی، مسعود مجرب
- **بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه**
  مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا
- **پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران**
  بهروز ساری صراف، هاشم رستم‌زاده، نبی محمدی
- **بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران**
  فرامرز خوش‌اخلاق، حسن حاجی‌محمدی، حسین کوشکی
- **آشکارسازی تفاوت‌های دمایی ناشی از تغییرات کاربری شهری و حومه (موردمطالعه: شهرستان ارومیه)**
  نسرین‌السادات بزمی، زهرا حجازی‌زاده، پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی، غلامرضا جانبازقبادی
- **واکاوی چنددهه‌ای تغییرات تابش تجمعی روزانه فرابنفش سطحی در ایران و همبستگی آن با تغییرات ...**
  هانیه بازیارپور، علی‌اکبر سبزی‌پرور
- **آشکارسازی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵**
  هنگامه شیراوند، زرین طحان، سید اسعد حسینی
- **بررسی تأثیر شیوع ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها در جنوب غرب آسیا**
  شقایق برادران مطیع، محسن جان‌پرور، علی محمدپور
- **مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم)**
  ناصر مشهدی

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

# فصلنامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی

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

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

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

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

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

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

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

**مدیر داخلی : دکتر مسعود رحیمی** **کارشناس اجرایی :** سید محمد علی موسوی **ویراستاری انگلیسی :** مرکز ویراستاری دانشکده ادبیات و علوم انسانی(عبداله نوروزی)
**ویراستاری ادبی :** دکتر جواد میزبان **حروف نگاری و صفحه آرایی:** نفیسه اسماعیلی **طراحی جلد :** امیراسفندیار عامل‌محرابی

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

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

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

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

بسم الله الرحمن الرحیم

# فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

## (نشریه علمی)

سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳

شاپاچاپی : ۱۶۸۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی : ۲۳۸۳-۳۰۷۶

## راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله برای چاپ در فصلنامه علمی ـ 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، نتیجه گیری، قدردانی و تشکر، فهرست منابع و ضمائم و چکیده مبسوط انگلیسی باشد.

نکته: لطفا دقت شود که همه بخش‌ها و زیر بخش‌ها به استثنای تیترهای "چکیده، قدردانی و منابع" شماره‌گذاری شوند. همچنین زیر بخش‌های مربوط به "مواد و روش‌ها" بر حسب ماهیت کار قابل تغییر است. شماره گذاری تیترها و زیرتیترها به این شکل باشد:

۱- مقدمه

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش انجام پژوهش و..... سایر زیرتیترهای مشابه برای این بخش

۳- نتایج و بحث و.....سایر زیرتیترهای مشابه برای این بخش

۴-نتیجه گیری

۵- چکیده انگلیسی باید ترجمه دقیق چکیده فارسی مقاله باشد. واژگان کلیدی انگلیسی هم باید دقیقا برگردان، واژگان فارسی باشند.

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 ۲۰۰۷ Wordو بالاتر بر روی کاغذA۴ 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 Footer۳: عنوان مقاله با قلم ۱۳ پررنگ B Lotus. اسم، فامیل- مرتبه علمی با قلم ۱۱ پررنگ .B Lotus، نویسنده مسؤول، شماره تلفن و ایمیل نویسنده به صورت پاورقی و با قلم ۱۱ B Lotus باشد. چکیده ۱۲ پررنگ B Lotus، متن چکیده ۱۲ B Lotus.(چکیده و متن آن با فواصل ۲سانتی‌متر از سمت چپ و ۲ سانتی‌متر از سمت راست از متن اصلی

باشد). تیترهای اصلی متن ۱۲پررنگ B Lotus با فاصله۱۲ pt از پاراگراف قبل و ۸ pt از پاراگراف بعد. کل متن با B Lotus ۱۳ .

۹- شماره و عنوان جداول در بالا و با قلم ۱۲ پررنگ 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 پررنگ B Lotus، درج گردد. . طبق فرمت زیر: شکل ۱- یا جدول ۱-

۱۱- شیوه ارجاع انواع منابع در انتهای مقاله باید بر اساس حروف الفبا و بصورت زیر باشد. در ابتدا منابع فارسی (B ۱۲ Lotus) و در ادامه منابع انگلیسی(Times New Roman۱۱) ذکر شوند:

شیوه منبع نویسی مقالات انگلیسی.

Johnson RM, Warburton J. ۲۰۰۲. Flooding and geomorphic impacts in a mountain torrent: Raise Beck, central Lake District, England. Earth Surface Processes and Landforms ۲۷: . .۹۶۹-۹۴۵

کتب انگلیسی: .

Bull WB.۱۹۹۱. Geomorphic Responses to Climate Change. University Press, Oxford. .

Amoroso GG, Fassina V. ۱۹۸۳. 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 تغییراقلیم و تغییرکاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، ۳۷-۵۷.

کتب فارسی: مخدوم، مجید. (۱۳۸۱). شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران.

تبصره۱: 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 می‌شود.

تبصره ۲: در صورت استفاده از پایان‌نامه و رساله‌های 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 نمونه‌های زیر با قلم ۱۲ B Lotus برای مقالات فارسی و قلم Times New Roman۱۱ برای مقالات انگلیسی:

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

توجه: مقالات انگلیسی باید در متن، به فارسی ارجاع داده شوند و اسامی انگلیسی آنها، در همان صفحه زیرنویس گردد. برای مثال: ارجاع داخل متن: (راوی و همکاران، ۲۰۱۸). زیرنویس همین منبع انگلیسی بصورت: Ravi et al.

نکته: از ذکر شماره صفحه در ارجاع دهی داخل متن خودداری شود.

۱۳- مقاله در دو قالب، یک فایل Word و یک فایل Pdf آماده و از طریق سامانه مجله http://geoeh.um.ac.ir: ارسال گردد.

۱۴- مسؤولیت 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- چنانچه در تهیه و تدوین مقاله نویسندگان از حمایت های مالی و معنوی سازمان ها برخوردار بوده اند مکلف هستند در بخش انتهای مقاله با عنوان قدردانی از حامی مقاله به تقدیر و تشکر از این سازمان ها بپردازند.

۱۷- مقاله‌های عودت شده به نویسنده جهت انجام اصلاحات در صورت عدم دریافت پاسخ در تاریخ تعیین شده، به منزله انصراف از چاپ تلقی می‌گردد.

## داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. محمود احمدی (دانشیار جغرافیای طبیعی – اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی)
۲. مرضیه اسمعیل پور(استادیار جغرافیای طبیعی–اقلیم شناسی گروه گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه مراغه )
۳. مرتضی اسمعیل نژاد (دانشیار جغرافیای طبیعی –اقلیم شناسی. گروه جغرافیا، دانشگاه بیرجند)
٤. جمیل امان اللهی (دانشیار حفاظت و کیفیت محیط زیست گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه کردستان)
۵. علی امیری (دانشیار جغرافیای سیاسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان)
٦. لیلا امینی (رئیس گروه پیش بینی و صدر پیش آگاهی جوی مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان اصفهان)
۷. علیرضا بنی واهب(استادیار گروه جغرافیا– دانشگاه آزاد اسلامی تربت حیدریه)
۸. شهرام بهرامی (دانشیار جغرافیای طبیعی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی)
۹. زهرا بیگم حجازی زاده (استاد گروه آموزشی جغرافیای طبیعی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی )
۱۰. علی پناهی (استادیار گروه جغرافیا– دانشگاه آزاد اسلامی تبریز )
۱۱. اصغر تیموری (گروه جغرافیای انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی)
۱۲. حسن حاجی حسینلو (استادیار گروه زمین شناسی (تکتونیک)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوی)
۱۳. فرهاد حمزه (استادیار جغرافیای سیاسی گروه جغرافیا ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی.)
۱٤. محمود خسروی (استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی ، دانشگاه سیستان و بلوچستان )
۱۵. عباسعلی داداشی رودباری (پژوهشگر پسادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، ، دانشگاه فردوسی مشهد)
۱٦. رضا دوستان (دانشیار جغرافیای طبیعی – اقلیم شناسی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۷. محسن رضائی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)
۱۸. محمد حسین رضائی مقدم (استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز)
۱۹. محسن زارع احمد آباد(دکتری جغرافیای طبیعی – ژئومورفولوژی در مدیریت محیط، پردیس ارس دانشگاه تهران )
۲۰. حمید شایان (استاد جغرافیای انسانی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۱. طاهره صادقلو (دانشیار جغرافیاوبرنامه ریزی روستایی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۲. فرانک کرمیان (دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه)
۲۳. ندا محسنی (دانشیار جغرافیای طبیعی –ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۲٤. ابوالفضل مساعدی (استاد مهندسی عمران (هیدرولیک ) گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۵. اسماعیل نجفی (استادیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان )

# فهرست مندرجات


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| • **مدل‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM و برآورد پارامتر فاکتور درجه-روز با استفاده از ...**<br>رضا شهرکی‌مجاهد، امین علیزاده، سیدحسین ثنائی‌نژاد، علیرضا فریدحسینی، آذر زرّین | ۲۱ |
| • **بررسی مخاطره سیلاب از طریق مدل‌های SWAT و SIMHYD در حوضه آبریز کَرگانرود تالش**<br>محمدحسین رضائی‌مقدم، کوثر لقمان‌نیا، صدرا کریم‌زاده، عبدالله بهبودی | ۲۳ |
| • **بررسی تأثیر پل بر روی پهنه سیل‌گیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و Arc-GIS ...**<br>حسن حاجی حسینلو، وحید اقدام، ابراهیم ولیزادگان | ٤۷ |
| • **شناسایی و سنجش اهمیت شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی**<br>سیدمحمد موسوی‌پارسایی، مرتضی توکلی، مهدی پورطاهری | ٦۳ |
| • **پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل ...**<br>علی اشرفی، جواد میکانیکی، مرتضی دهقانی، حسن سابقی | ۸۷ |
| • **تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)**<br>چنور محمدی، حسین نظم‌فر، صیاد اصغری سراسکانرود | ۱۰۹ |
| • **ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه بدخشان (شمال شرق افغانستان)**<br>خدیجه محمدی، ابراهیم مقیمی، مهدی زارع، مجتبی یمانی، مسعود مجرب | ۱۳۳ |
| • **بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹٦ ازگلهٔ کرمانشاه**<br>مصطفی حیدری، دکتر احمد مزیدی، دکتر ایمان روستا | ۱۵۱ |
| • **پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران**<br>بهروز ساری صراف، هاشم رستم‌زاده، نبی محمدی | ۱۷۳ |
| • **بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران**<br>فرامرز خوش‌اخلاق، حسن حاجی‌محمدی، حسین کوشکی | ۱۹۵ |
| • **آشکارسازی تفاوت‌های دمایی ناشی از تغییرات کاربری شهری و حومه (موردمطالعه: شهرستان ارومیه)**<br>نسرین‌السادات بزمی، زهرا حجازی‌زاده، پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی، غلامرضا جانبازقبادی | ۲۱۷ |
| • **واکاوی چنددهه‌ای تغییرات تابش تجمعی روزانه فرابنفش سطحی در ایران و همبستگی آن با ...**<br>هانیه بازیارپور، علی‌اکبر سبزی‌پرور | ۲٤۳ |
| • **آشکارسازی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره ۱۹٦۵ تا ۲۰۱۵**<br>هنگامه شیراوند، زرین طحان، سید اسعد حسینی | ۲٦۵ |
| • **بررسی تأثیر شیوع ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها در جنوب غرب آسیا**<br>شقایق برادران مطیع، محسن جان‌پرور، علی محمدپور | ۲۹۳ |
| • **مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم)**<br>ناصر مشهدی | ۳۱۷ |

بسمه‌تعالی

## توافقنامه همکاری علمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر فریبرز قریب
رییس هیات مدیره انجمن کواترنری ایران

بسمه تعالی

# توافقنامه همکاری علمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**دکتر مجتبی یمانی**
**رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی**

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

دانشگاه فردوسی مشهد
معاونت پژوهش و فناوری

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

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78658.1280 Open access

# Modeling Snowmelt Runoff by SRM Model and the Estimation of Degree-Day Factor using Net Radiation Satellite Images (Case Study: Kardeh Basin)

**Reza Shahraki Mojahed[a], Amin alizadeh[b*], Seyyed Hossein Sanaei Nezhad[c], Alireza Faridhosseini[d], Azar Zarrin[e]**

[a] *PhD Candidate in Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

[b] *Professor in Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

[c] *Professor in Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

[d] *Associate Professor in Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

[e] *Associate Professor in Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

***Received: 7 September 2022*** ***Revised: 8 October 2022*** ***Accepted: 16 October 2022***

## Abstract

Snow studies drastically influences on managing water resources and preventing the dangers caused by floods. Moreover, the modeling of snow melt runoff is faced with the lack of snow density data in the basin due to many changes in the distribution of snow masses, and creating snow measurement stations at high altitudes are difficult and expensive work. Considering the issues, this study attempted to invent a new equation and use remote sensing techniques in a simpler and more physical way to determine the degree-day factor (α) and then the simulation was performed by defining its calculated values using classical and new methods along with the annual and seasonal values of the recession coefficient (k) for the snow-melt runoff model (SRM). The outcomes were evaluated and compared. In order to evaluate the performance of the model and its parameters, simulations were performed for the calibration and validation periods for the water years 2011-2012 and 2012-2013, respectively, and the MODIS snow cover product (MOD10A1) was used to estimate the snow-covered area and to estimate the radiation values. NEO net radiation product (CERES-NETFLUX-E) was used. The results showed that the best method for simulating runoff in the calibration period (2011-2012) was the new degree-day factor calculation method and the two values of the seasonal recession coefficient with the coefficient of determination of 0.72 and the volume difference of 4.17. In the validation period (2012-2013), the runoff simulation method with the new degree-day factor method and an annual recession coefficient with a coefficient of determination of 0.51 and the volume difference of 4.38 provided the best results in terms of assessment of the model accuracy criteria.

**Keywords**: Snowmelt, Degree-day Factor, Remote Sensing, MODIS, Net Radiation

* .Corresponding author: Amin Alizadeh Email: alizadeh@um.ac.ir Tel:+989151154640

**How to cite this Article:** Shahraki Mojahed, R., Alizadeh, A., Sanaei-Nejad, S. H., Faridhosseini, A., & zarrin, A. (2024). Modeling Snowmelt Runoff by SRM Model and the Estimation of Degree-Day Factor using Net Radiation Satellite Images (Case Study: Kardeh Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1)1-21

**DOI: 10.22067/geoeh.2022.78658.1280**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78658.1280
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۲۲-۱**

مقاله پژوهشی

# مدل‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM و برآورد پارامتر فاکتور درجه-روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تابش خالص (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارده)

**رضا شهرکی‌مجاهد- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**
**امین علیزاده[1]- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**
**سیدحسین ثنائی‌نژاد- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**
**علیرضا فریدحسینی- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**
**آذر زرّین- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۲۴**

**چکیده**

با توجه به تأثیر مطالعات برف در مدیریت منابع آب و جلوگیری از مخاطرات ناشی از بروز سیل و ازآنجاکه مدل‌سازی رواناب ذوب برف به دلیل تغییرات بسیار در پراکندگی توده‌های برف با کمبود یا فقدان داده چگالی برف در حوضه آبریز مواجه بوده و ایجاد ایستگاه‌های اندازه‌گیری برف در ارتفاعات کاری سخت و پرهزینه است، در این مطالعه تلاش شده با ابداع معادله‌ای جدید و با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور به روشی ساده‌تر و فیزیکی‌تر پارامتر فاکتور درجه-روز (α) را محاسبه کرده و سپس شبیه‌سازی با تعریف مقادیر محاسبه شده آن به روش‌های کلاسیک و جدید در کنار مقادیر سالانه و فصلی ضریب فروکش (k) برای مدل رواناب ذوب

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱۱۵۴۶۴۰ Email:alizadeh@um.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
شهرکی مجاهد، رضا؛ علیزاده، امین؛ ثنایی نژاد، سید حسین؛ فرید حسینی، علیرضا؛ زرین، آذر؛ ۱۴۰۳. مدل‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM و برآورد پارامتر فاکتور درجه-روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تابش خالص (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارده). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۲۲-۱
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78658.1280

برف (SRM) انجام شده و نتایج حاصل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل و پارامترهای آن، شبیه‌سازی برای دوره‌های واسنجی و درستی‌سنجی به‌ترتیب برای سال‌های آبی ۲۰۱۲_۲۰۱۱ و ۲۰۱۳_۲۰۱۲ انجام شد و از محصول پوشش برف MODIS (MOD10A1) جهت برآورد سطح پوشش برف و برای برآورد مقادیر تابش خالص از محصول تابش خالص NEO (CERES-NETFLUX-E) استفاده گردید. نتایج نشان داد بهترین روش شبیه‌سازی رواناب در دوره واسنجی (۲۰۱۱-۲۰۱۲) استفاده از روش محاسبه فاکتور درجه-روز جدید و کاربرد دو مقدار ضریب فروکش جریان فصلی با ضریب تبیین ۰/۷۲ و درصد اختلاف حجمی ٤/۱۷ است. در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۲-۲۰۱۳) نیز شبیه‌سازی رواناب با روش محاسبه فاکتور درجه-روز جدید و یک ضریب فروکش سالانه با ضریب تبیین ۰/۵۱ و درصد اختلاف حجمی ٤/۳۸ بهترین نتیجه را از نظر ارزیابی معیارهای دقت مدل ارائه کرد.

**کلیدواژه‌ها:** ذوب برف، فاکتور درجه-روز، سنجش‌ازدور، MODIS، تابش خالص

## ۱- مقدمه

ایران سرزمین کم‌آبی است که در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین قرار گرفته است و لذا بارش برف مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به‌ویژه در فصول گرم سال محسوب می‌گردد (**قنبرپور و همکاران، ۱۳۸٤**). برف یک شکل از بارش است که به دلیل تأخیر در تبدیل آن به رواناب تفاوت ویژه‌ای با دیگر اجزاء دارد (عالی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱٦). رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل هم‌زمانی با بارش‌های بهاره منشأ بروز سیلاب‌های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه‌ها می‌شود (**میریعقوب‌زاده و قنبرپور، ۱۳۸۹**).

برآورد دقیق آب معادل برف و همچنین تغییرات سطح پوشش آن، در بخش‌های کشاورزی، انرژی، مدیریت مخزن و هشدار وقوع سیل مؤثر است (**جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۵**). شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در مناطق کوهستانی نه‌تنها برای ارزیابی مخاطرات سیل ناشی از ذوب برف در بهار و تابستان، بلکه برای توسعه و مدیریت منابع آب در حوضه اهمیت زیادی دارد (هاو و همکاران[1]، ۲۰۱۹)؛ اما در کشورهای درحال‌توسعه و مناطق دورافتاده با کوه‌های مرتفع، برآورد برف روی سطح زمین به دلیل توپوگرافی پیچیده عدم دسترسی و محدودیت‌های مالی بسیار سخت و محدود است (ویوویچ و جاکوبز[2]،

1 Hao et al.
2 Vuyovich et al.

۲۰۱۱). با وجود تغییرات زیاد در توزیع زمانی و مکانی برف انباشته شده، اطلاعات مشاهده‌ای زمینی برف اندک و معمولاً به نواحی با ارتفاع کمتر محدود می‌شود که این موضوع کاربرد سنجش‌ازدور در تأمین بخشی از اطلاعات برف را اجتناب‌ناپذیر نموده است، بعلاوه مدل‌های پیش‌بینی رواناب حاصل از ذوب برف نیاز به اطلاعاتی دارند که این اطلاعات با فقر آمار در مناطق برف‌گیر حوضه‌های آبریز عمدتاً قابل‌دسترس و یا تأمین نیستند که با این توصیف تکنیک سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری جدید و مفید برای به‌دست آوردن داده-های برف مطرح می‌باشد (**نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳**). اندازه‌گیری‌های میدانی که به‌ویژه در مناطق کوهستانی انجام می‌شود اغلب بدون استفاده از فناوری‌های جدید غیرممکن است (شهابی و همکاران، ۲۰۱٤). فناوری سنجش‌ازدور با آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی پیوسته و با دقتی بالاتر و هزینه کمتر می‌تواند خلأ آمارهای هیدرولوژیکی را پر کند (**طالبی اسفندرانی و همکاران، ۱۳۹۰**). به‌طور کلی، مدل‌سازی ذوب برف و رواناب حاصل از آن با استفاده از دو روش انجام می‌شود: روش تعادل انرژی و روش درجه–روز دما که روش دوم می‌تواند در غیاب داده‌های کافی مفیدتر باشد (سنزبا و همکاران[1]، ۲۰۱۵). پارامترهای برف نقش بسیار مهمی در چرخه هیدرولوژیکی، الگوی آب‌وهوای محلی و تغییر اقلیم ایفا می‌کنند و درنهایت بر کل رواناب، جریان رودخانه‌ها و آب در دسترس از طریق مقدار و زمان ذوب برف تأثیر می‌گذارند (نانچهانی و همکاران[2]، ۲۰۲۰).

در مرور پژوهش‌های مرتبط انجام شده در این حیطه، مارتینک (۱۹۸۹) در سایت آزمایشگاهی weissfluhjoch واقع در آلپ سوئیس میزان ذوب ساعتی برف را در سراسر یک فصل ذوب برف محاسبه کرد و بده پوشش برف به‌طور مداوم توسط یک لایسیمتر برف اندازه‌گیری شد. مقادیر $\alpha_r$ طی تمام دوره فرسایش بیشتر در محدوده ۰/۲ تا ۰/۲۵ به‌دست آمد و مقادیر محاسبه شده می‌تواند برای مطالعات حرکت آب در پوشش برف استفاده شود. کوستاس و رانگو (۱۹۹٤) یک مؤلفه تابش ساده را با روش درجه–روز در تلاش برای بهبود برآورد ذوب برف در مدل SRM[3] ترکیب کردند. هدف از این مطالعه ایجاد فاکتور ذوب برف فیزیکی‌تر برای SRM توسط ترکیب روش بودجه تابش ساده شده با روش درجه–روز بوده است. برای روش درجه–روز محدود مقدار ثابت ۰/۲ برای $\alpha_r$ در طول فصل ذوب برف استفاده شد؛ در حالی که در روش درجه–روز اصلی مقادیر $\alpha$ به‌تدریج از ۰/٤۸ در ماه مه افزایش یافت و به ۰/۵ در ژوئن و ۰/۵۲ در ماه ژوئیه رسید. بروبکر و همکاران[4] (۱۹۹٦) پژوهشی در حوضه آبریز اسلیپرز ریور انجام دادند. هدف از این مطالعه ترکیب ورودی تابش در مدل رواناب ذوب برف بود. مقدار فاکتور درجه–روز محدود شده ($\alpha_r$) برای

1 Senzeba et al.
2 Nunchhani et al.
3 Snowmelt Runoff Model
4 Brubaker et al.

تمامی ماه‌های فصل ذوب در تمام سال‌های مورد مطالعه مقدار ۰/۲ برآورد شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نسخه ترکیبی تابش عملکرد بهتری نسبت به نسخه درجه-روز متداول SRM داشته است. وفاخواه و همکاران (۲۰۱٤) مدل تابشی و درجه-روز SRM را مقایسه کردند. آن‌ها در مدل تابشی SRM از فاکتور درجه-روز محدود شده ($\alpha_r$) استفاده کردند و در این مطالعه، تابش خالص با استفاده از تصاویر MODIS برآورد شد. در نتایج به‌دست آمده مشخص شد ضریب فروکش و ضریب رواناب ذوب برف حساس‌ترین پارامترها هستند و مدل تابشی SRM نتیجه بهتری با توجه به معیارهای دقت به‌دست آورد. استیلی و همکاران[1] (۲۰۱۷) محصولات برفی MODIS برای مدل‌سازی رواناب ذوب برف را در حوضه آبریز رودخانه ریوگرانده مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به کاربران توصیه می‌کنند هنگام شبیه‌سازی ذوب برف با مدل SRM یکی از محصولات اصلاح شده با سایبان MODSCAG[2] یا محصولات مخصوص به موقعیتشان را از مجموعه Collection 6 NDSI MOD10A1 انتخاب و استفاده کنند. شی و همکاران[3] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای الگوریتم‌های بهینه‌سازی را برای کالیبراسیون پارامترهای متغیر در زمان مدل رواناب برف (SRM) در شبیه-سازی جریان آب ناشی از ذوب برف برای حوضه رودخانه ماناسی بررسی کردند و نشان دادند برای شبیه-سازی یک فصل ذوب برف، طول زیردوره تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد مدل دارد. نانچ‌های و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای برف در حوضه دیبانگ، آروناچال پرادش، هند را با استفاده از مدل رواناب ذوب برف توزیع شده فضایی (SDSRM[4]) همراه با سنجش‌ازدور و تکنیک‌های GIS را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند که می‌توان آن را برای استفاده در حوضه‌های اندازه‌گیری نشده یا کمی اندازه‌گیری شده در منطقه هیمالیا توصیه کرد. زیمنس و همکارانش[5] (۲۰۲۱) تخلیه رواناب در حوضه بالادست رودخانه آتاباسکای در غرب کانادا را با استفاده از مدل رواناب ذوب برف SRM و مشاهدات سنجش‌ازدور برف MODIS را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد گنجاندن تغییرات مکانی و زمانی در فاکتور درجه-روز و جداسازی آن برای مناطق یخ‌زده و بدون توده برف برای بهبود شبیه‌سازی شرایط مختلف برف در طول چند سال مهم بوده است. همچنین آنها اظهار داشتند این مدل در شبیه‌سازی جریانات تاریخی به‌خوبی عمل کرده است.

**میریعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۰)** در حوضه آبخیز سد کرج نشان دادند که مدل SRM با ضریب تبیین ۰/٤۷ و ۰/۹٤ به‌خوبی قادر به مدل کردن فرآیند رواناب حاصل از ذوب برف می‌باشد. در پژوهشی دیگر، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل SRM و تصاویر هشت روزه سنجنده MODIS رواناب روزانه

1 Steele et al.
2 the MODIS Snow Covered-Area and Grain size retrieval
3 Xie et al.
4 Spatially Distributed Snowmelt Runoff Model
5 Siemens et al.

حاصل از ذوب برف را برای حوضه آبریز نهاوند، مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار دادند. بالاترین ضرایب همبستگی و تفاضل حجمی برای مدل در دوره واسنجی به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۳/۶۲- و در دوره درستی‌سنجی برابر ۰/۷۹ و ۲۶/۶۷ به‌دست آمد. تحلیل حساسیت پارامترهای ضریب درجه-روز، ضریب رواناب برف و باران مدل انجام گردید که نشان دهنده حساسیت کمتر مدل به افزایش و کاهش ضریب رواناب باران در میان سایر پارامترها بود. اربابی سبزواری و نجاری (۱۳۹۶) به پژوهشی مشابه در ارتفاعات حوضه آبخیز طالقان پرداختند. مدل، آبدهی روزانه را با مجذور ضریب همبستگی ۴۵٪ شبیه‌سازی کرد. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که مدل شبیه‌ساز SRM ابزاری بسیار مناسب برای برآورد میزان رواناب حاصل از ذوب برف می‌باشد و از دقت بالایی برخوردار است و این مدل جهت مدیریت منابع آب کارآمد می‌باشد. در پژوهشی مشابه، **رشیدی و همکاران (۱۳۹۶)** با استفاده از مدل SRM رواناب روزانه حاصل از ذوب برف را با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در حوضه آبریز دربند سملقان محاسبه کردند. نتایج کاربرد مدل شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی را نشان داده است. نتایج برای تحلیل حساسیت مدل به پارامترهای ضریب رواناب برف، فاکتور درجه-روز و افت محیطی دما نشان داد که سه پارامتر یاد شده در بالا بر ضریب تبیین و درصد تفاضل حجمی مؤثرند که البته مدل نسبت به تغییرات افت محیطی دما نسبت به دو پارامتر دیگر از حساسیت کمتری برخوردار است. در پژوهشی به‌منظور پایش زمانی و مکانی سطح پوشش برف، میزان ضریب تبیین ($R^2$) به‌دست آمده برای مدل‌های SRM و HBV[1] در مرحله واسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۶۱ و مقدار ۰/۷۲ و ۰/۶۹ برای مرحله اعتبارسنجی به‌دست آمد (**ارتیمانی و همکاران ۱۳۹۸**). مدل SRM به دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت به مدل HBV عملکرد قابل قبول‌تری در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف از خود نشان داد. **عالی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰)** رواناب ناشی از ذوب برف را در حوضه‌ی قره‌سو با مدل SRM شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی بیانگر دقت بالای این مدل می‌باشد، به‌طوری‌که ضریب تبیین ($R^2$) برای سال‌های آبی ۹۶-۹۵ الی ۹۷-۹۶ به‌ترتیب معادل ۰/۹۳ و ۰/۹ و درصد خطای حجمی ($D_v$) آن نیز به‌ترتیب ۰/۳ و ۳/۳۳ به‌دست آمد.

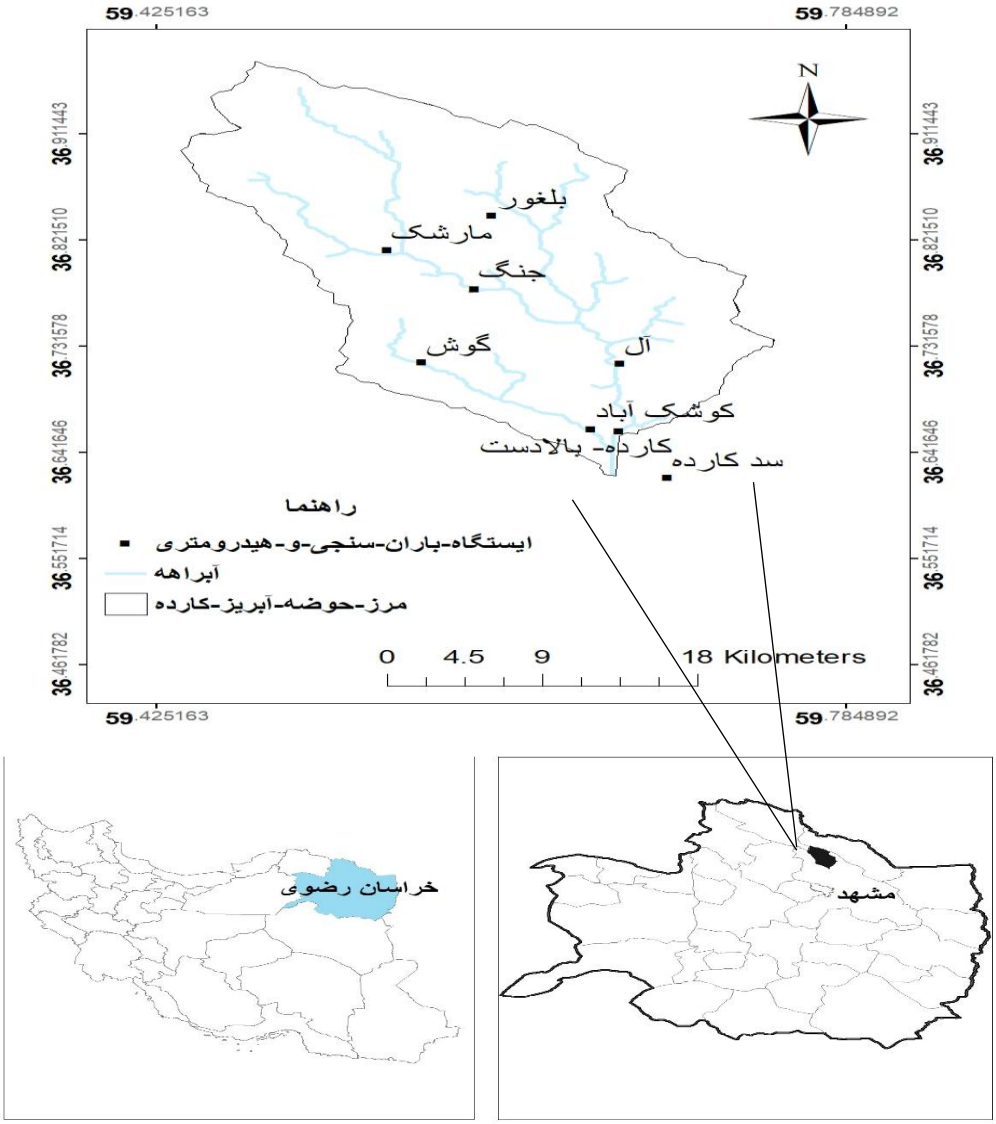
فقر آمار و اطلاعات در حوضه‌های آبریز یکی از چالش‌های جدی پیش روی مدل‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف می‌باشد که کار تعیین و محاسبه پارامترهای ورودی به مدل را سخت و دشوار می‌سازد. یکی از پارامترهای ورودی مهم در مدل رواناب ذوب برف (SRM) فاکتور درجه-روز ($\alpha$) است. مقادیر فاکتور درجه-روز ($\alpha$) در حوضه‌های آبریز به‌صورت متداول و کلاسیک توسط داده‌های اندازه‌گیری شده چگالی برف محاسبه و تعیین می‌شود و سپس به مدل SRM وارد می‌گردد. این داده‌ها به دلیل توزیع مکانی و زمانی سطوح پوشیده از برف و کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری در ارتفاعات مختلف دارای کیفیت پایین، کمبود و

1 Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning

فقدان در زمان و مکان‌های مختلف در حوضه‌های آبریز است. ازآنجاکه برف در مناطق صعب‌العبور تجمع می‌یابد، ایجاد ایستگاه‌های اندازه‌گیری و برف‌سنجی در ارتفاعات کاری سخت، زمان‌بر و پرهزینه است و با توجه به اینکه در مدل SRM عمق ذوب برف روزانه رابطه مستقیم با پارامتر فاکتور درجه–روز و دما دارد و از سوی دیگر مؤلفه تابش خالص در محاسبات فاکتور درجه–روز (α) به روش متداول و کلاسیک آن در نظر گرفته نمی‌شود و در نتیجه تأثیر آن در عمق ذوب برف منظور نمی‌گردد، هدف از این مطالعه آن است تا با استفاده از معادله‌ای جدید و برگرفته از معادلات گذشته تعیین عمق ذوب برف ارائه شده توسط کوستاس (۱۹۹٤) و بروبکر (۱۹۹٦) همراه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تابش خالص و تکنیک‌ها سنجش‌ازدور به روشی ساده، کم‌هزینه، دقیق‌تر و فیزیکی‌تر فاکتور درجه–روز (α) را محاسبه کرده و سپس مقادیر به‌دست آمده را جهت شبیه‌سازی رواناب ذوب برف برای مدل SRM تعریف کرده و عملکرد روش جدید را در مقابل روش متداول و کلاسیک محاسبه فاکتور درجه–روز (α)، در کنار لحاظ کردن مقادیر متفاوت پارامتر ضریب فروکش (k) در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل را ارزیابی و بررسی کنیم. در این مطالعه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مختلف رواناب ذوب برف توسط مدل SRM با تعریف مقادیر فاکتور درجه–روز (α) محاسبه شده با روش جدید و کلاسیک و تعریف مقادیر سالانه و فصلی برای پارامتر ضریب فروکش (k) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است و بهترین روش محاسبه فاکتور درجه–روز (α) و بهترین شیوه شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در حوضه آبریز مورد مطالعه توسط مدل SRM تعیین گردیده است.

**۲– منطقه مورد مطالعه**

حوضه آبریز سد کارده با مساحتی حدود ٥٤٤/٢٦٣ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و شمال استان خراسان رضوی و در شمال شهرستان مشهد قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی آن بین '۲۵ °۵۹ تا '٤٥ °۵۹ طول جغرافیایی و '۳۸ °۳٦ تا "۵۹ '۵۷ °۳٦ عرض جغرافیایی قرار گرفته و این حوضه از زیر حوضه-های اصلی حوضه آبریز کشف‌رود به‌شمار می‌رود. کم ارتفاع‌ترین نقطه حوضه در محل سد کارده با ارتفاع ۱۲۰۰ متر و بلندترین نقطه آن در ارتفاعات شمال خرکت با ارتفاع ۲۹۷۷ متر واقع شده است.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه آبریز کارده**

## ۳- مواد و روش‌ها

مدل رواناب ذوب برف (SRM) که توسط مارتینک در سال ۱۹۷۵ توسعه داده شد، یک روش مفهومی نیمه‌توزیعی درجه-روز دما، برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب روزانه حاصل از ذوب برف و بارندگی در حوضه‌های کوهستانی است (مارتینک و همکاران[1]، ۲۰۰۸). پارامترهای SRM شامل ضریب فروکش، فاکتور درجه-روز و ضرایب رواناب برای برف و باران می‌باشند که می‌توانند شبیه‌سازی رواناب را اصلاح و تعدیل

1 Martinec et al.

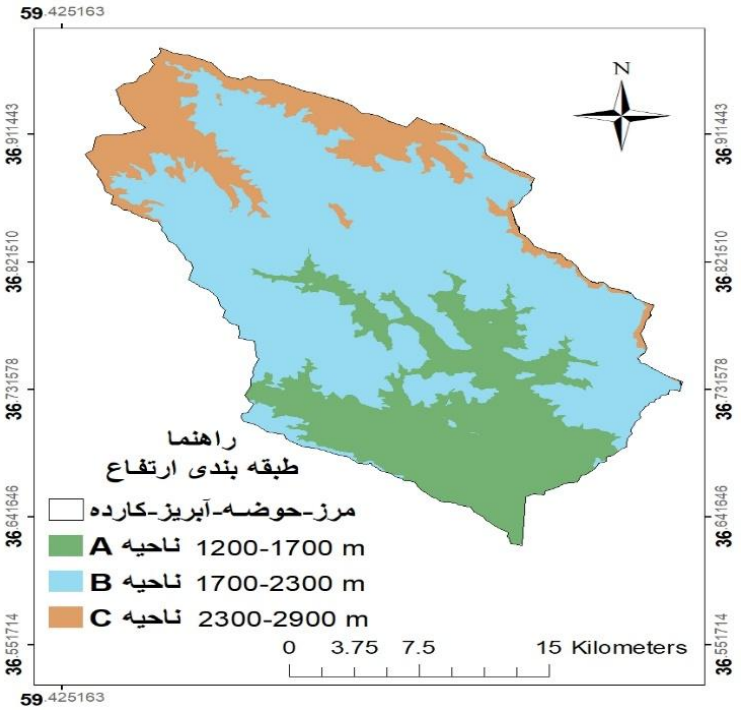
کرده و بر عملکرد مدل تأثیر بگذارند (پاندی و همکاران[1]، ۲۰۱٤). SRM در گام زمانی روزانه و شبیه‌سازی جریان مبتنی بر تغییرات دمای روزانه، بارش و پارامترهای مختلف به نمایندگی از شرایط فیزیکی حوضه عمل می‌کنند (الیاس و همکاران[2]، ۲۰۱۵). فراهم کردن داده‌های عمده برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی جریان در حوضه‌های کوهستانی و با توجه به نقش مهم رواناب ذوب برف و همچنین کمبود داده در این مکان‌ها یک چالش است (فیروزی و صادقیان، ۲۰۱٦). همچنین هرگونه تقویت در اساس فیزیکی روش درجه-روز، استفاده از آن را در پیش‌بینی رواناب ذوب برف و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بهبود خواهد بخشید (کوستاس و رانگو[3]، ۱۹۹٤).

مدل رواناب ذوب برف (SRM): رواناب حاصل از ذوب برف و باران را به‌طور روزانه محاسبه کرده و با لحاظ کردن فروکش جریان، دبی خروجی از حوضه را برآورد می‌کند. مساحت و محدوده حوضه و ناحیه-های ارتفاعی بوسیله نقشه DEM[4] منطقه و توسط نرم افزار ARCGIS به‌دست آمد. منطقه به سه ناحیه ارتفاعی با فواصل ٦۰۰ متر تقسیم شد (جدول ۱).

**جدول ۱- مشخصات ناحیه‌های ارتفاعی تعیین شده در حوضه آبریز کارده**

| ناحیه ارتفاعی | طبقات ارتفاعی (m) | مساحت | |
|---|---|---|---|
| | | Km² | % |
| A | ۱۷۰۰-۱۲۰۰ | ۱٤٤/۹۲ | ۲٦/٦۲ |
| B | ۲۳۰۰-۱۷۰۰ | ۳۲۰/۸۲ | ۵۸/۹۵ |
| C | ۲۹۰۰-۲۳۰۰ | ۷۸/۵۲ | ۱٤/٤۳ |

1 Panday et al.
2 Elias et al.
3 Kustas et al.
4 Digital Elevation Model




**شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی حوضه آبریز کارده**

متوسط بارش روزانه از ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی موجود در منطقه برای سال‌های ۲۰۱۲_۲۰۱۱ و ۲۰۱۳_۲۰۱۲ استفاده شد (جدول ۲) و توسط گرادیان بارش برای متوسط ارتفاع هیپسومتریک هر ناحیه به‌دست آمد. دما متغیر مهمی در محاسبه عمق ذوب برف روزانه است. با توجه به پیشنهاد توسعه دهندگان مدل مبنی بر اینکه یک ایستگاه دمایی خوب (حتی اگر در خارج از حوضه قرار داشته باشد) به چندین ایستگاه کمتر قابل اطمینان ترجیح داده می‌شود. به این منظور از داده‌های دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های سینوپتیک گلمکان و مشهد استفاده شد (جدول ۳) و توسط گرادیان دمایی برای متوسط ارتفاع هیپسومتریک هر یک از ناحیه‌های ارتفاعی استخراج شد.

**جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی مورد استفاده در حوضه آبریز کارده برای سال‌های ۲۰۱۲_۲۰۱۱ و ۲۰۱۳_۲۰۱۲**

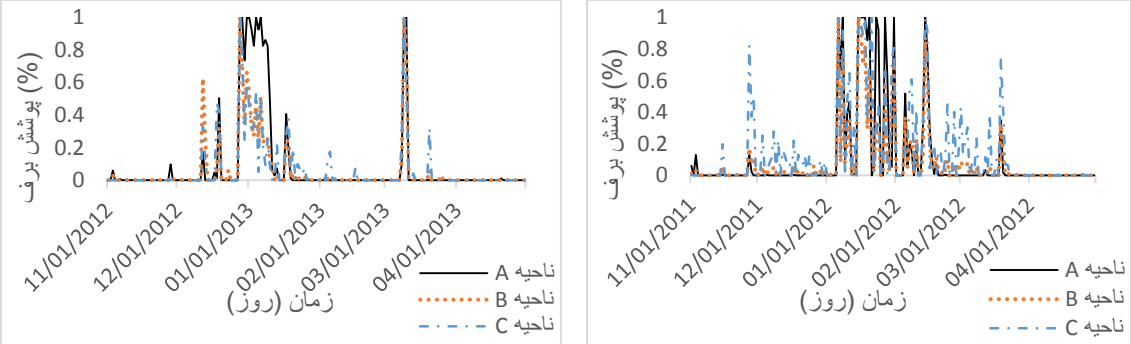
| ارتفاع از سطح دریا (m) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | نوع ایستگاه | نام ایستگاه |
|---|---|---|---|---|
| ۱۳۲۲ | °۵۹ ۳۹" | °۳۶ ۳۹" | هیدرومتری | کارده بالادست |
| ۱۲۷۹ | °۵۹ ٤۱" | °۳٦ ۳۷" | باران‌سنجی | سد کارده |
| ۱٤٦٤ | °۵۹ ۳۹" | °۳٦ ٤۳" | باران‌سنجی | آل |
| ۲۳۱۳ | °۵۹ ۳۵" | °۳٦ ٤٦" | هیدرومتری و باران‌سنجی | جنگ |
| ۱۵٦۹ | °۵۹ ۳۳" | °۳٦ ٤۳" | باران‌سنجی | گوش‌بالا |
| ۱۸۳۰ | °۵۹ ۳۲" | °۳٦ ٤۸" | باران‌سنجی | مارشک |
| ۱۹٤۱ | °۵۹ ۳۵" | °۳٦ ۵۰" | باران‌سنجی | بلغور |

**جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در حوضه آبریز کارده برای سال‌های ۲۰۱۲_۲۰۱۱ و ۲۰۱۳_۲۰۱۲**

| ارتفاع از سطح دریا (m) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | نوع ایستگاه | نام ایستگاه |
|---|---|---|---|---|
| ۹۹۹ | °۵۹ ۳۸" | °۳٦ ۱٤" | سینوپتیک | مشهد |
| ۱۱۷٦ | °۵۹ ۱۷" | °۳٦ ۲۹" | سینوپتیک | گلمکان |

سطح پوشش برف یکی از متغیرهای اصلی ورودی به مدل SRM است که به‌صورت روزانه مورد نیاز مدل می‌باشد. برای استخراج سطح پوشیده از برف برای سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ جهت واسنجی مدل و سال ۲۰۱۳_۲۰۱۲ برای درستی‌سنجی مدل از محصول پوشش برف روزانه سنجنده MODIS از ماهواره Terra به‌نام MOD10A1 استفاده گردید. در این محصولات برای استخراج سطح پوشش برف از الگوریتم snow map استفاده شده که در این الگوریتم از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش برف (NDSI[1]) استفاده شده است. تصاویر به‌منظور تبدیل سیستم مختصات، عملیات برش تصاویر برای هریک از سه ناحیه ارتفاعی تعیین شده در حوضه آبریز کارده و محاسبه اطلاعات آماری به محیط نرم افزار ENVI فراخوانده شد و درنهایت نسبت پوشش برف روزانه برای هر ناحیه ارتفاعی محاسبه شد (شکل ۳ الف و ب).

1 Normalised Difference Snow Index




**شکل ۳- (الف) تغییرات سطح پوشش برف در سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ و (ب) تغییرات سطح پوشش برف در سال ۲۰۱۳_ ۲۰۱۲ در حوضه آبریز کارده**

ضریب رواناب برای کل حوضه آبریز محاسبه و در طی مرحله واسنجی مقادیر بهینه آن به‌دست آمد. دمای بحرانی ($T_{CRIT}$) نیز طبق توصیه توسعه‌دهندگان مدل، دمای ۲/۵ درجه سلسیوس برای ماه‌های سرد سال و دمای ۰/۷۵ درجه سلسیوس برای ماه‌های گرم سال در نظر گرفته شد. گرادیان دما (γ) مقدار پیش فرض مدل و مقدار ۰/٦٥ درجه سلسیوس به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع و با توجه به روش انتخابی زمان تمرکز در مطالعات فیزیوگرافی که روش کرپیچ می‌باشد، زمان تأخیر (L) برابر ٦/٥ محاسبه گردید.

فاکتور درجه-روز (α): فاکتور درجه-روز $\alpha[cm\ ^{o}c^{-1}\ d^{-1}]$، تعداد درجه-روز $T[^{o}c.d]$ را به عمق ذوب برف روزانه M[cm] تبدیل می‌کند. فاکتور درجه-روز (α) در خارج از مدل محاسبه شده و سپس مقادیر آن برای مدل SRM تعریف می‌گردد. فاکتور درجه-روز با در دسترس بودن مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی برف، به شیوه کلاسیک و متداول از رابطه تجربی زیر به‌دست می‌آید.

$$\alpha=1.1\frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad (۱)$$

که در این رابطه $\rho_s$ چگالی برف و $\rho_w$ چگالی آب می‌باشد. فاکتور ذوب به‌صورت مقدار عمق ذوب شده به تعداد درجه-روز بوده و به‌شکل رابطه (۲) بیان می‌گردد. در تلاشی بروبکر و همکاران (۱۹۹٦) تابش را در مدل ترکیب کردند. در این روش معادله ذوب برف به‌صورت رابطه (۳) بیان می‌شود. در این پژوهش با قرار دادن معادلات شماره (۲) و (۳) در یک دستگاه معادله جدیدی جهت برآورد فاکتور درجه-روز (α) به‌دست آمده است. معادله فاکتور درجه-روز (α) جدید به‌صورت رابطه شماره (٤) می‌باشد:

$$\begin{cases} M = a.T_d & (۲) \\ M = m_Q.R_d + a_r.T_d & (۳) \end{cases}$$

(٤)

$$a = \frac{m_Q . R_d}{T_d} + a_r$$

که در این معادله $m_Q$ ثابت فیزیکی تبدیل انرژی به حجم یا عمق آب است (۰/۰۲٦ cm $m^2$/W day)، $a_r$ ضریب درجه-روز محدود شده است (cm/°C day). $T_d$ شاخص درجه حرارت است. $R_d$ تابش خالص روزانه است. به دلیل اینکه تغییرات فاکتور درجه-روز (α) به‌صورت ۱۵ تا ۳۰ روزه توصیه می‌شود برای محاسبه تابش خالص از محصول تابش خالص ۸ روزه NEO[1] (CERES[2]-NETFLUX-E) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده شد، جهت محاسبه تابش خالص تصاویر در نرم افزار ENVI فراخوانده شد و مقادیر آن استخراج گردید. با توجه به نتایج مطالعات مارتینک در سال ۱۹۸۹، کوستاس و رانگو (۱۹۹٤) و بروبکر و همکاران (۱۹۹٦) جهت برآورد مقدار ضریب درجه-روز محدود شده ($\alpha_r$) در این مطالعه نیز مقدار ۰/۲۵ برای این ضریب در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.

**جدول ٤- مقادیر پارامتر فاکتور درجه-روز (α) محاسبه شده با معادلات کلاسیک و جدید در حوضه کارده**

| نام متغیر | نماد | محدوده نرمال | فرجه | مقدار واقعی |
|---|---|---|---|---|
| محاسبه فاکتور (α) با معادله کلاسیک | $\alpha\left(cm/{}^{\circ}Cd\right)$ | ۰/۰۱ -۱ | ۰/۰۵ | ۰/۱٤ - ۰/۲٦ |
| محاسبه فاکتور (α) با معادله جدید | | | | ۰/۲۵ - ۰/٦٤ |

ضریب فروکش یک پارامتر بسیار مهم در مدل SRM است، تحلیل داده‌های سری زمانی دبی اندازه‌گیری شده روش خوبی برای تعیین K می‌باشد، باید توجه داشت که K ثابت نیست و با کاهش دبی مقدار آن افزایش می‌یابد. مدل SRM خود K را به‌عنوان ورودی نمی‌پذیرد و بایستی ضرایب x و y به مدل داده شود، به این منظور مقادیر دبی جریان در هر روز $Q_{n+1}$ در مقابل دبی روز قبل $Q_n$ در قالب محور لگاریتمی رسم شد و با استفاده از نمودار به‌دست آمده مقادیر ضرایب x و y محاسبه شد.

**جدول ۵- مقادیر ضرایب X و Y به‌دست آمده برای معادله فروکش جریان (K)**

| | X | Y |
|---|---|---|
| ماه‌های سرد | ۰/۸۹٦ | ۰/۰۷ |
| ماه‌های گرم | ۰/۷۸۵۲ | ۰/۰۹۷ |
| سالیانه | ۰/۹۰۱ | ۰/۰٦ |

1 Nasa Earth Observations
2 The Clouds and the Earth's Radiant Energy System

مدل SRM هیدروگراف رواناب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده را به‌صورت گرافیکی نمایش می‌دهد، در عین حال برای ارزیابی عملی‌تر از چگونگی انجام شبیه‌سازی از دو معیار دقت، ضریب تبیین[1] ($R^2$) و درصد تفاضل حجمی[2] ($D_v$) استفاده می‌کند. مقادیر تعیین شده پارامترهای مورد نیاز مدل تا حد امکان براساس داده‌های موجود برآورد گردید و در صورت نبود اطلاعات و آمار کافی از مقادیر پیشنهادی توسعه‌دهندگان مدل و مطالعات مشابه استفاده و در مرحله واسنجی مقادیر بهینه آن‌ها تعیین شد. در این پژوهش مدل رواناب ذوب برف (SRM) برای مقادیر به‌دست آمده فاکتور درجه-روز ($\alpha$) از دو روش کلاسیک (معادله شماره ۱) و روش جدید (معادله شماره ٤) در کنار مقادیر متفاوت ضریب فروکش جریان (k) به‌صورت یک مقدار ثابت برای تمام طول دوره شبیه‌سازی و استفاده از دو مقدار فصلی برای ماه‌های گرم و سرد اجرا شد و نتایج آن‌ها برای تعیین بهترین روش شبیه‌سازی و عملکرد بهینه مدل توسط معیارهای ارزیابی دقت مدل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

**٤- نتایج و بحث**

واسنجی مدل: مطابق آنچه شرح داده شد اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل رواناب ذوب برف WinSRM[3] تعریف گردید و سپس مدل برای ماه‌هایی از سال که پوشش برف در سطح حوضه وجود دارد، برای سال آبی ۲۰۱۲_۲۰۱۱ جهت واسنجی اجرا شد. دلیل انتخاب سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ برای واسنجی مدل، متوسط بارش برف ٤١/٧ سانتی‌متر در این سال است که نسبت به دهه قبل و بعد از آن بیشتر بوده و باعث عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف می‌شود. شکل ٤، هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده رواناب ذوب برف را در سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ که توسط مدل SRM ترسیم شده را نشان می‌دهد، که برای ارزیابی و مقایسه بصری بهتر هیدروگراف‌های روش‌های مختلف در کنار یکدیگر آورده شده‌اند. براساس معیارهای ارزیابی دقت مدل (جدول ٦)، اجرای مدل رواناب ذوب برف با فاکتور درجه-روز جدید و استفاده از دو ضریب فروکش فصلی بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی رواناب در طول دوره شبیه‌سازی داشت. در این اجرا، ضریب تبیین ($R^2$) برابر با ۰/۷۲ و درصد اختلاف حجمی ($D_v$) برابر با ٤/١٧ بود. میزان حجم رواناب اندازه‌گیری شده ۷/۵۵۰ میلیون مترمکعب و متوسط رواناب اندازه‌گیری شده ۰/٤٨ مترمکعب در ثانیه بود. شبیه‌سازی مدل در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل از تطابق خوبی برخوردار بوده و جریان شبیه‌سازی شده به‌خوبی جریان مشاهده شده را دنبال می‌کند. مقدار حجم رواناب محاسبه شده ۷/۲۳۵ میلیون مترمکعب و متوسط رواناب محاسبه شده ۰/٤٦ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. مقادیر دبی و حجم

1 The coefficient of determination
2 Volume difference
3 Snowmelt Runoff Model for Windows

رواناب مشاهده شده و محاسبه شده بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. پس از آن اجرای مدل با فاکتور درجه-روز کلاسیک و باز هم استفاده از دو ضریب فروکش فصلی در شبیه‌سازی موفق‌تر بوده و دارای ضریب تبیین ($R^2$) برابر با ۰/٦۲ و درصد اختلاف حجمی ($D_v$) برابر با ۱٦/٤۹ بود. این روش دارای کم‌برآورد در مقدار جریان شبیه‌سازی شده در ماه‌های نوامبر، دسامبر و فوریه و مارس بوده است. مدل SRM ضعیف‌ترین عملکرد را در اجرای مدل با استفاده از فاکتور درجه-روز کلاسیک و یک ضریب فروکش سالانه برای کل دوره شبیه‌سازی را از خود نشان داد در این اجرا ضریب تبیین ($R^2$) و درصد اختلاف حجمی ($D_v$) به‌ترتیب برابر با ۰/٤۳ و ۱۹/۲۲ بودند. در این روش مدل در ابتدای ماه نوامبر و ماه‌های پایانی دوره شبیه‌سازی دارای کم‌برآوردی می‌باشد و استفاده از این روش در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توصیه نمی‌شود.

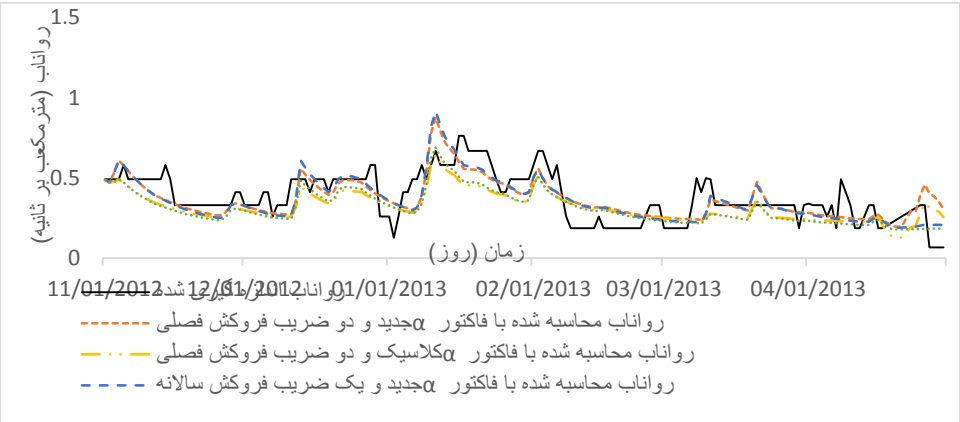
**شکل ٤- رواناب اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل SRM برای سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ در حوضه کارده**

**جدول ٦- مقادیر معیارهای ارزیابی دقت مدل SRM در اجراهای مختلف در سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱**

| روش‌های اجرای مدل | ضریب تبیین $R^2$ | درصد اختلاف حجمی $D_v$ |
|---|---|---|
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α جدید و دو ضریب فروکش فصلی | ۰/۷۲ | ٤/۱۷ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α کلاسیک و دو ضریب فروکش فصلی | ۰/٦۲ | ۱٦/٤۹ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α جدید و یک ضریب فروکش سالانه | ۰/٥۱ | ۷/۷ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α کلاسیک و یک ضریب فروکش سالانه | ۰/٤۳ | ۱۹/۲۲ |

درستی‌سنجی مدل: شکل ٥ هیدروگراف‌های رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل SRM، در حوضه آبریز کارده در سال ۲۰۱۳_۲۰۱۲ که جهت صحت‌سنجی مدل اجرا شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در (شکل ۳ ب) مشاهده می‌شود در این سال شاهد کاهش محسوس سطح پوشش برف و در

نتیجه کاهش حجم آورد و نوسانات دبی مشاهده شده نسبت به دوره واسنجی هستیم که خود باعث کاهش دقت شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل می‌گردد. براساس مقادیر معیارهای ارزیابی دقت مدل در سال ۲۰۱۳_۲۰۱۲ (جدول ۷)، ضریب تبیین ($R^2$) و درصد اختلاف حجمی ($D_v$) برای اجرای مدل با روش محاسبه رواناب با فاکتور درجه–روز جدید و استفاده از یک ضریب فروکش سالانه به‌ترتیب برابر ۰/۵۱ و ٤/۳۸ بوده و دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی رواناب توسط مدل SRM از میان روش‌های موردبررسی در این تحقیق است و نتایج حاصل از دوره واسنجی را تأیید می‌کند و تطابق خوبی را برای دبی‌های اندازه-گیری شده و شبیه‌سازی شده در حوضه کارده نشان می‌دهد. مدل در ماه‌های ابتدایی شبیه‌سازی، نوامبر تا نیمه دسامبر و ماه‌های پایانی شبیه‌سازی مارس و آوریل دارای کم‌برآورد بوده است و مقدار حجم رواناب اندازه‌گیری شده ۵/۹۰٦ میلیون مترمکعب و متوسط رواناب اندازه‌گیری شده ۰/۳۷۸ مترمکعب بر ثانیه می-باشد و مقادیر حجم رواناب محاسبه شده و متوسط رواناب محاسبه شده به‌ترتیب ۵/٦٤۷ میلیون مترمکعب و ۰/۳٦۱ مترمکعب بر ثانیه است. پس از آن نیز اجرای مدل با فاکتور درجه–روز جدید و دو ضریب فروکش فصلی در شبیه‌سازی موفق‌تر بوده است. این اجرا دارای بیش‌برآورد در ماه‌های ژانویه، فوریه و آوریل می-باشد و ضریب تبیین ($R^2$) و درصد اختلاف حجمی آن ($D_v$) به‌ترتیب برابر با ۰/٤۷ و ۲/٦۷ است. اجرای مدل با استفاده از روش محاسبه فاکتور درجه–روز کلاسیک و به‌کارگیری دو ضریب فروکش فصلی در طول روند شبیه‌سازی ضعیف‌ترین عملکرد مدل را از میان روش‌های به‌کار برده شده در این تحقیق به نمایش می-گذارد. در این اجرای مدل ضریب تبیین ($R^2$) برابر با ۰/۳۳ و درصد اختلاف حجمی ($D_v$) برابر ۱۵/۳۳ می-باشد. در این شبیه‌سازی مدل دارای کم‌برآورد در ماه‌های نوامبر و دسامبر می‌باشد و نتایج حاصل از دوره واسنجی را تأیید می‌نماید.




**شکل ۵- رواناب اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل SRM برای سال ۲۰۱۲_۲۰۱۱ در حوضه کارده**

**جدول ۷- مقادیر معیارهای ارزیابی دقت مدل SRM در اجراهای مختلف در سال ۲۰۱۳_۲۰۱۲**

| روش‌های اجرای مدل | ضریب تبیین $R^2$ | درصد اختلاف حجمی $D_v$ |
|---|---|---|
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α جدید و دو ضریب فروکش فصلی | ۰/٤۷ | ۲/٦۷ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α کلاسیک و دو ضریب فروکش فصلی | ۰/۳۳ | ۱۵/۳۳ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α جدید و یک ضریب فروکش سالانه | ۰/۵۱ | ٤/۳۸ |
| رواناب محاسبه شده با فاکتور α کلاسیک و یک ضریب فروکش سالانه | ۰/۳۷ | ۱٦/٦۲ |

کشور ایران در منطقه گرم و خشک قرار دارد و میزان حجم توده‌های برفی در حوضه‌های آبریز این گونه مناطق مانند حوضه آبریز کارده محدود می‌باشد و این یکی از دلایل کاهش دقت شبیه‌سازی توسط مدل است. میزان متوسط بارش برف در حوضه آبریز کارده در سال ۲۰۱۳_۲۰۱۲ برابر با ۳۰/۰۵ سانتی‌متر بوده و از دلایل کاهش دقت مدل در دوره درستی‌سنجی نسبت به دوره واسنجی می‌توان به کاهش ۲۷/۰٦ درصدی بارش برف و کاهش آورد سالانه اشاره کرد، همچنین خطای انسانی در اندازه‌گیری رواناب را از دلایل عمده آن دانست. چنانکه **قربانی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹)** نیز در مطالعه خود که بر روی رواناب حاصل از ذوب برف با کمک مدل SRM در حوضه آبریز کارون انجام دادند و دی و همکاران[1] (۱۹۸۹) در شبیه‌سازی ذوب برف در پاکستان به عدم تطابق دبی‌های حداکثر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده اشاره کردند و بیان کردند که این ضعف ناشی از اشتباهات در داده‌های مشاهداتی و بی‌کیفیتی آن‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از شبیه-سازی رواناب حاصل از ذوب برف در این مطالعه با نتایج حاصل از تحقیقات میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، اربابی سبزواری و نجاری (۱۳۹٦) و **آرتیمانی و همکاران (۱۳۹۸)** مطابقت دارد. همچنین مطالعه **قاسمی و همکاران (۱۳۹۲)** که نوسانات رواناب حاصل از ذوب برف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه-های آینده را موردبررسی قرار دادند و در واسنجی مدل ضریب تبیین و تفاضل حجمی را به‌ترتیب ۰/۷۱ و ۰/٤۵ درصد به‌دست آوردند نتایج به‌دست آمده را تأیید می‌کند. آن‌ها نتایج حاصل از شبیه‌سازی واسنجی مدل را قابل قبول ارزیابی کردند. نتایج مطالعه لی و ویلیامز[2] (۲۰۰۸) بر روی رواناب حاصل از ذوب در حوضه بدون آمار تاریم در چین که مقدار ضریب تبیین را در دوره واسنجی ۰/٦٤ و برای دوره درستی‌سنجی ۰/۷۸ و ۰/۵۱ به‌دست آورده‌اند نیز با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل از محاسبه فاکتور درجه-روز با استفاده از روش جدید (معادله شماره ٤) و روش محاسبه کلاسیک (معادله شماره ۱) و مقایسه نتایج آنها نیز با مطالعات مارتینک (۱۹۸۹)، کوستاس و رانگو (۱۹۹٤) و بروبکر و همکاران (۱۹۹٦) وفاخواه و همکاران (۲۰۱٤)، زیمنس و همکاران (۲۰۲۱)، **دلاور و همکاران (۱۳۹۰)**، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵)،

1 Dey et al.
2 Li and Williams

**رشیدی و همکاران (۱۳۹٦)**، مطابقت دارد. نتایج حاصل از اجرای مدل با روش‌های مختلف برآورد فاکتور درجه–روز در دوره‌های واسنجی و درستی‌سنجی حاکی از برتری روش جدید برآورد فاکتور درجه–روز (معادله شماره ٤) در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف نسبت به روش کلاسیک محاسبه آن (معادله شماره ۱) است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد با استفاده از روش جدید محاسبه فاکتور درجه–روز و محصول تابش خالص هشت روزه NEO (CERES-NETFLUX-E) می‌توان با روشی ساده‌تر و کم‌هزینه به مقادیر قابل قبولی از فاکتور درجه–روز (α) دست پیدا کرد. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد ضریب فروکش جریان (K) پارامتری حساس در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM است و تأثیر به‌سزایی در تطابق جریان اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده دارد و در نتیجه تعیین دقیق آن می‌تواند نتایج بهتری با توجه به سنجه‌های کارایی مدل به‌دست آورد، نتایج حاصل از تحقیقات وفاخواه و همکاران (۲۰۱٤) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. نتایج حاصل نشان می‌دهد با توجه به اینکه مقدار ضریب فروکش جریان متغیر بوده، در دوره‌هایی که نوسانات جریان و آورد رودخانه زیاد است مدل SRM می‌تواند با استفاده از دو مقدار ضریب فروکش فصلی در شبیه‌سازی نقاط اوج موفق‌تر عمل کند و در دوره‌های که جریان یکنواخت بوده و نوسانات آن کم است، استفاده از یک ضریب فروکش سالانه عملکرد بهتری دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه و اجرای مدل با روش‌های مختلف در دوره‌های واسنجی و درستی‌سنجی، بهترین روش مدل‌سازی جریان در دوره واسنجی، روش محاسبه فاکتور درجه–روز جدید (معادله شماره ٤) و کاربرد دو مقدار ضریب فروکش جریان فصلی با ضریب تبیین ۰/۷۲ و درصد اختلاف حجمی ٤/۱۷ بود. در دوره درستی‌سنجی نیز روش شبیه‌سازی رواناب با فاکتور درجه–روز جدید (معادله شماره ٤) و یک ضریب فروکش سالانه بهترین نتایج را از نظر معیارهای ارزیابی دقت مدل ارائه داد. ضریب تبیین در آن ۰/۵۱ و درصد اختلاف حجمی ٤/۳۸ بود. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت محاسبه مقادیر فاکتور درجه–روز (α) با استفاده از معادله جدید ابداع شده در این مقاله (معادله شماره ٤) و تعریف مقادیر آن برای مدل SRM به مدل کمک می‌کند تا عملکرد بهتری نسبت به شیوه کلاسیک محاسبه فاکتور (α) با استفاده از داده‌های چگالی برف اندازه‌گیری شده در حوضه آبریز (معادله شماره ۱) ارائه دهد. ترکیب مؤلفه تابش در معادله محاسبه فاکتور (α) نیز نتایج مطالعات گذشته مانند کوستاس و رانگو (۱۹۹٤) و بروبکر و همکاران (۱۹۹٦) در ترکیب مؤلفه تابش در محاسبه عمق ذوب برف در مدل SRM را تأیید می‌کند. محصول تابش خالص استفاده شده در این مطالعه برای محاسبه فاکتور (α) به روش جدید NEO (CERES-NETFLUX-E) نیز از دقت بسیار خوبی برخوردار بوده است و می‌تواند به نحو قابل قبولی برای شبیه‌سازی رواناب

حاصل از ذوب برف در حوضه‌هایی که با کمبود داده مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نتایج معیارهای ارزیابی دقت ارائه شده نشان می‌دهد ضریب فروکش جریان نقشی اساسی در تطابق جریان‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده ایفا می‌کند و همانطور که در مطالعات گذشته مانند وفاخواه و همکاران (۲۰۱٤) آمده پارامتری حساس و مؤثر در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف توسط مدل SRM است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد این ضریب می‌تواند به‌صورت سالانه یا فصلی برای مدل SRM تعریف گردد و تعیین دقیق آن در بهبود عملکرد مدل کمک شایانی می‌کند. ضریب فروکش جریان مقداری ثابت نیست و با کاهش دبی مقدار آن افزایش می‌یابد و بالعکس. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز کارده نشان می‌دهد برف قسمت قابل توجهی از آورد رودخانه در فصل زمستان و بهار را تشکیل می‌دهد. ذوب برف از اواخر ماه فوریه در حوضه افزایش می‌یابد و می‌تواند در صورت همراه شدن با رواناب حاصل از بارش باران منجر به وقوع سیل به‌خصوص در اواخر ماه مارس و ماه آوریل گردد که نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد در جلوگیری از خسارات ناشی از سیلاب‌ها و استفاده بهینه از این منابع آبی می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش مطالعه بر روی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های آبریز امری ضروری است و می‌تواند در مدیریت بحران و برنامه‌ریزی برای مقابله با مخاطرات و خسارت‌های حاصل از سیلاب-های ناشی از ذوب برف در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار کمک به‌سزایی به مدیران و برنامه‌ریزان کرده و از بروز خسارات جبران‌ناپذیر جلوگیری به عمل آورد. این‌گونه مطالعات بر روی زمان‌بندی و میزان رواناب حاصل از ذوب برف به مدیران در برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد برای تأمین و توزیع آب مورد نیاز بخش کشاورزی در فصل‌های گرم سال، جهت جلوگیری از مخاطرات ناشی از کمبود آب به‌خصوص در سال‌هایی که کم‌بارش بوده یا به علت گرمای زودهنگام هوا ذوب زودهنگام توده‌های برف اتفاق می‌افتد، کمک شایانی می‌نماید. با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه خشک قرار گرفته مطالعات مستمر این‌گونه منابع برای مدیریت مؤثر و کارآمد و جلوگیری از هدررفت آب ضروری می‌باشد.

این مقاله از رساله دکتری با عنوان ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر توده‌های برف و رواناب سطحی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارده) در دانشگاه فردوسی مشهد استخراج شده است.

**کتابنامه**

- ارتیمانی، محمدمهدی؛ زینی‌وند، حسین؛ طهماسبی‌پور، ناصر؛ ۱۳۹۸. ارزیابی کارآیی مدل SRM و HBV در شبیه-سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز بوجین. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵(۲)، ۲۲۸-۲٤۱.
https://www.sid.ir/paper/100221/fa

- ابراهیمی، راضیه؛ حمزه، سعید؛ معروفی، صفر؛ ۱۳۹۵. مدل‌سازی سطح پوشش و رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده تلفیقی از مدل هیدرولوژیکی SRM و تصاویر ماهواره‌ای. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ٦ (۲۳)، ٦٦-۷۷.
**https://www.civilica.com/doc/1405890**
- اربابی سبزواری، آزاده؛ نجاری مهربان، فرنیاز؛ ۱۳۹٦. نقش مدیریت منابع آب در توسعه کالبدی با استفاده ازمدل SRM مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان. *برنامه‌ریزی و توسعه کالبدی*، ۲(٤ (پیاپی ۸))، ۷۸-۸۵.
https://www.sid.ir/paper/264488/fa
- جهانبخش اصل، سعید؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ عالی‌نژاد، محمدحسین؛ ولی‌زاده کامران، خلیل؛ پرهیزکار، مرتضی؛ ۱۳۹۵. شبیه‌سازی رواناب ذوب برف در حوضه شهرچای با استفاده از مدل SRM. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی* (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۷(۳ (پیاپی ٦۳))، ۱-۱٤.
https://www.sid.ir/paper/153211/fa
- دلاور، مجید؛ مرید، سعید؛ نیکبخت، نجمه؛ ۱۳۹۰. شبیه‌سازی توزیعی ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی فاقد داده (مطالعه موردی: حوضه امامزده داوود). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۷(٤ (مسلسل ۲۲))، ٤۱-۵۰.
https://www.sid.ir/paper/100247/fa
- رشیدی، محمد؛ حاجی بیگلو، محبوبه؛ سربازی، محبوبه؛ قادری، محمد؛ ۱۳۹٦. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های آبریز استان خراسان شمالی با استفاده از مدل WinSRM (مطالعه موردی حوضه آبریز دربند سملقان). *علوم مهندسی و آبیاری* (مجله علمی کشاورزی)، ٤۰(۲)، ۱۵۹-۱۷۱.
https://www.sid.ir/paper/217313/fa
- طالبی اسفندرانی، سمیه؛ علوی‌پناه، کاظم؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ روستا، حسن؛ ۱۳۹۰. جداسازی ابر از برف در تصاویر MODIS با استفاده از الگوریتم Snow map و الگوریتم ماسک ابر. *مجله سنجش‌ازدور و GIS ایران*، ۳(۱)، ۹۰-۷۱.
https://www.magiran.com/paper/1049148
- عالی‌نژاد، محمدحسین؛ جهانبخش، سعید؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ ۱٤۰۰. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف حوضه قره‌سو با مدل SRM. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵(۷٦)، ۸۷-۹۷.
https://www.civilica.com/doc/1253058
- قربانی‌زاده خرازی، حسین؛ صدقی، حسین؛ ثقفیان، بهرام؛ پرهمت، جهانگیر؛ ۱۳۸۹. پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در نیم قرن آینده تحت شرایط تغییر اقلیم. *مهندسی آب*، ۱(۱)، ٤۳-۵۲.
https://www.sid.ir/paper/201933/fa
- قاسمی، الهه؛ فتاحی، ابراهیم؛ بابائی، ام‌السلمه؛ ۱۳۹۲. بررسی نوسانات رواناب حاصل از ذوب برف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آینده. *نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ٤(۱۳)، ۱۲۲-۱۱۲.
https://www.clima.irimo.ir/article_14153.html
- قنبرپور، محمدرضا؛ محسنی ساروی، محسن؛ ثقفیان، بهرام؛ احمدی، حسن؛ عباسپور، کریم؛ ۱۳۸٤. تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۸(۳)، ۵۱۲-۵۱۵.
https://www.magiran.com/paper/307766

- قنبرپور، میرحسن؛ قنبرپور، محمدرضا؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ ۱۳۹۰. مدل‌سازی جریان ناشی ذوب برف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی رواناب حاصل از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد کرج). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۷(۳)، ۴۰-۵۲.

https://www.iwrr.ir/article_16219.html

- میریعقوب‌زاده، میرحسین؛ قنبرپور، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی حوضه آبریز سد کرج). *مجله علوم زمین*، ۱۹(۷۶)، ۱۴۸-۱۴۱.

https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55672

- نجف‌زاده، رضا؛ ابریشم‌چی، احمد؛ تجریشی، مسعود؛ طاهری شهرآئینی، حمید؛ ۱۳۸۳. شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف (SRM). *مجله آب و فاضلاب*، ۱۵(۴)، ۲-۱۱.

https://www.wwjournal.ir/article_2487.html

- Alinejad, M. H., Dinpashoh, Y., & Jahanbakhsh ASL, S.,2016. Impact of climate change on runoff from snowmelt by taking into account the uncertainty of GCM models (case study: Shahrchay Basin in Urmia). European Online Journal of Natural and Social Sciences, 5(1), 200-211. https://european-science.com/eojnss/article/view/3059.
- Brubaker, K., Rango, A., & Kustas, W.,1996. Incorporating radiation inputs into the snowmelt runoff model. Hydrol Process, 10(10), 1329–1343. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199610)10:10<1329::AID-HYP464>3.0.CO;2-W.
- Dey, B., Sharma, V. K., & Rango, A.,1989. A test of snowmelt-runoff model for a major river basin in western Himalayas. Hydrology Research, 20(3), 167-178. https://doi.org/10.2166/nh.1989.0013.
- Elias, E. H., Rango, A., Steele, C. M., Mejia, J. F., & Smith, R.,2015. Assessing climate change impacts on water availability of snowmelt-dominated basins of the Upper Rio Grande basin. Journal of Hydrology, 3, 525-546. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.04.004.
- Firouzi, Sh., & Sadeghian, MS.,2016. Application of snow melt runoff model in a mountainous basin of Iran. Journal of Geoscience and Environment Protection, 4(2), 74-81. https://doi.org/10.4236/gep.2016.42009.
- Hao, G., Li, J., Li, K., Huang, K., Song, J., Li, H.,2019. Improvement and application research of the SRM in alpine regions. Environmental Science and Pollution Research, 26, 36798-36811. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06814-3.
- Kustas, W. P., & Rango, A.,1994. A simple energy budget for the snowmelt runoff model. Water Resources Research, 30(5), 1515-1527. https://doi.org/10.1029/94WR00152.
- Li, X., & Williams, M. W.,2008. Snowmelt runoff modelling in an arid mountain watershed, Tarim Basin, China. Hydrological processes, 22(19), 3931-3940. https://doi.org/10.1002/hyp.7098.
- Martinec, J., Rango, A., & Roberts, R.,2008. Snowmelt runoff model (SRM) user's manual. USDA Jornada Experimental Range, New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, USA. https://pubs.nmsu.edu/water/SRMSpecRep100.pdf.
- Martinec, J.,1989. Hour-to-hour snowmelt rates and lysimeter outflow during an entire ablation period. Snow cover and glacier variations, proceedings of the Baltimore Symposium, Maryland, May 1989, edited by A. Rango, IAHS Publ I83, 19-28. https://pubs.nmsu.edu/water/SRMSpecRep100.pdf.
- Nunchhani, V., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A.,2020. Spatiotemporal variability in snow parameters from MODIS data using spatially distributed snowmelt runoff model (SDSRM):

a case study in Dibang basin, Arunachal Pradesh. Journal of the Indian society of remote sensing, 49, 325-340. http://dx.doi.org/10.1007/s12524-020-01215-3.
- Panday, P. K., Williams, C.A., Frey, K. E., Brown, M. E.,2014. Application and evaluation of a snowmelt runoff model in the Tamor River basin in the eastern Himalaya using Markov Chain Monte Carlo (MCMC) data assimilation approach. Hydrological Process, 28(21), 5337-5353. https://doi.org/10.1002/hyp.10005.
- Siemens, K., Dibike, Y., Shrestha, R. R., & Prowse, T.,2021. Runoff projection from an alpine watershed in western Canada: application of a snowmelt runoff model. Water, 13(9), 1199. http://dx.doi.org/10.3390/w13091199.
- Senzeba, T., Bhadra, A., & Bandyopadhyay, A.,2015. Snowmelt runoff modelling in data scarce Nuranang catchment of eastern Himalayan region. Remote Sensing Applications. Society and Environment, 1, 20-35. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.06.001.
- Steele, C. M., Dialesandro, J., James, D., Elias, E., Rango, A., & Bleiweiss, M.,2017. Evaluating MODIS snow products for modelling snowmelt runoff: case study of the Rio Grande headwaters. International journal of applied earth observation and geoinformation, 63, 234-243. http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.007.
- Shahabi, H., akhezri, S., Ahmad, B. B., & Musa, T. A.,2014. Application of moderate resolution imaging spectroradiometer snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the central Zab basin, Iran. Journal of Applied Remote densing, 8, 1-19. http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.8.084699.
- Vafakhah, M., Nouri, A., & Alavipanah, S. K.,2014. Snowmelt-runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed. Environ Earth Sciences, 73, 993-1003. http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3449-5.
- Vuyovich, C., & Jacobs, J.M.,2011. Snowpack and runoff generation using AMSR-E passive microwave observations in the Upper Helmand Watershed, Afghanistan. Remote Sens. Environ, 115, 3313-3321. https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.014.
- Xie, SH., Du, J., Zhou, X., Zhang, X., Feng, X., Zheng, W., Li, ZH., & Xu, CH.,2018. A progressive segmented optimization algorithm for calibrating time-variant parameters of the snowmelt runoff model (SRM). Journal of Hydrology, 566, 470-483. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.030.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.23-46 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.76374.1216 Open access

# Investigating Flood Risk using SWAT and SIMHYD Models in Karganrud Drainage Basin, Talesh, Iran

**Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam[a*], Kosar Loghmannia[b], Sadra Karimzadeh[c], Abdollah Behboodi[d]**

[a] *Professor in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
[b] *MSC in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
[c] *Assistant Professor in Remote Sensing, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
[d] *PhD in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

***Received: 23 April 2022*** ***Revised: 26 May 2022*** ***Accepted: 14 June 2022***

## Abstract

It is now easier to simulate catchments and take management measures to reduce flood damage with the development and expansion of hydrological tools. the SWAT model was used as a semi-distributive model and the SIMHYD model was used as an integrated model to estimate the runoff of the Karganrud Talesh catchment. For this purpose, observational data in the period 2006 to 2018 related to Talesh, Astara, Bandar Anzali synoptic stations and Hashtpar hydrometric station were obtained. In modeling by SWAT model, the coefficients N2 and R2 as the objective functions in the monthly flow calibration stage were 0.61 and 0.62, respectively, and in the validation stage were 0.67 and 0.70, respectively, indicating acceptable results in runoff peak simulation and the floods formed in this basin. Acceptable results were also obtained in the calibration and validation of the SIMHYD model. The coefficients N2 and R2 in the calibration stage were 0.710 and 0.8511, respectively, and in the validation stage were 0.625 and 0.9496, respectively. However, due to its semi-distributive nature, the SWAT model has a high accuracy in runoff simulation compared to the SIMHYD model, and the outputs obtained from both models showed this superiority in flood assessment and estimation, since this model simulates runoff well in the daily time period, while the SIMHYD model has satisfactory results in this basin by increasing the quality of data in the monthly time period.

**Keywords:** Runoff Simulation, SWAT, SIMHYD, Flood, Karganrud River

* .Corresponding author: M. H. Rezaei Moghaddam Email: Rezmogh@tabrizu.ac.ir Tel: +989144142190

**How to cite this Article:** Rezaei Moghaddam, M.H., Loghmannia, K., Karimzadeh, S., & Behboodi, A. (2022). Investigating flood risk through SWAT and SIMHYD models in Karganrud Drainage Basin, Talesh, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1),23-46
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.76374.1216**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76374.1216
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱٤۰۳، صص ٤٦-۲۳**

مقاله پژوهشی

# بررسی مخاطره سیلاب از طریق مدل‌های SWAT و SIMHYD در حوضه آبریز کَرگانرود تالش

**محمدحسین رضائی‌مقدم[1]– استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**
**کوثر لقمان‌نیا – کارشناس ارشد ژئومورفولوژی گرایش آمایش محیط، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**
**صدرا کریم‌زاده – استادیار گروه سنجش‌ازدور، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**
**عبدالله بهبودی – دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۲/۳ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۳/۵ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/٤/۲٤**

## چکیده

امروزه با پیشرفت و گسترش ابزارهای هیدرولوژیکی و صرفه‌جویی در زمان، هزینه و در شرایط بحرانی به‌منظور اقدامات مدیریتی برای کاهش خسارت‌های ناشی از سیل، استفاده از چنین ابزارهایی باعث سهولت در امر شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز شده است. در پژوهش حاضر از مدل SWAT به‌عنوان یک مدل نیمه‌توزیعی و از مدل SIMHYD به‌عنوان یک مدل یکپارچه جهت برآورد رواناب حوضه آبریز کَرگانرود تالش استفاده شده است. بدین منظور از داده‌های مشاهداتی در محدوده زمانی ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۸ مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک تالش، آستارا، بندرانزلی و ایستگاه هیدرومتری هشتپر بهره گرفته شده است. در مدل‌سازی توسط مدل SWAT ضرایب N2 و $R^2$ به‌عنوان تابع هدف در مرحله واسنجی دبی ماهانه به ترتیب ۰/٦۱ و ۰/٦۲ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/٦۷ و ۰/۷۰ به دست آمد که نشان‌دهندهٔ نتایج قابل قبولی در شبیه‌سازی پیک رواناب و سیل ایجاد شده در این حوضه داشته است. در واسنجی و

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤۱٤۲۱۹۰ Email: Rezmogh@tabrizu.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

رضائی مقدم، محمدحسین؛ لقمان نیا، کوثر؛ کریم‌زاده، صدرا؛ بهبودی، عبدالله؛ ۱٤۰۳. بررسی مخاطره سیلاب از طریق مدل‌های SWAT و SIMHYD در حوضه آبریز کَرگانرود تالش. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ٤٦-۲۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76374.1216

اعتبارسنجی مدل SIMHYD نیز نتایج قابل قبولی به دست آمد. به‌گونه‌ای که ضرایب N2 و $R^2$ در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۷۱۰ و ۰/۸۵۱۱ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/٦۲۵ و ۰/۹٤۹٦ حاصل شد. مدل SWAT به دلیل ماهیت نیمه‌توزیعی خود از دقت بالاتری در شبیه‌سازی سیلاب حوضه موردمطالعه نسبت به مدل SIMHYD برخوردار است؛ زیرا این مدل در بازه زمانی روزانه نیز به‌خوبی پیک رواناب را شبیه‌سازی می‌کند، درصورتی‌که مدل SIMHYD با افزایش کیفیت داده‌ها در بازه زمانی ماهانه نتایج رضایت بخشی در این حوضه دارد.

**کلیدواژه‌ها:** شبیه‌سازی رواناب، مدل SWAT، مدل SIMHYD، سیل، حوضه کرگانرود تالش.

**۱- مقدمه**

برای مدیریت بهتر، اطلاع از بیلان آبی حوضه‌های آبریز ضروری است و به دلیل وقت‌گیر و پرهزینه بودن اندازه‌گیری اجزای بیلان آب، مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه‌آبریز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آن‌ها باشد (**زارع کاریزی و طالبی، ۱۳۹۵**)؛ بنابراین آگاهی دقیق از رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌تواند به شبیه‌سازی بهتر این محیط به‌منظور کنترل مؤلفه‌های اصلی بیلان آب کمک شایانی نماید (مؤذن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). در اکثر موارد نحوه توزیع طبیعی جریان‌های سطحی در نواحی مختلف کشور با نیازهای زمانی حوضه‌های آبریز منطبق نبوده و ضرورت مهار و کنترل چنین جریان‌های سطحی را به وجود آورده است. برآورد حجم رواناب ناشی از نزولات جوی و تغییرات کمی و کیفی آن از مهم‌ترین اقدامات در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب موجود است. امروزه استفاده از روش‌های نوین و غیرمستقیمی همچون مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز و محاسبه حجم رواناب تولید شده در حوضه‌ها به‌عنوان عاملی مهم در وقوع سیل، سبب سهولت در انجام محاسبات و صرفه‌جویی در زمان و هزینه شده است. ازاین‌رو کاربرد چنین ابزارهایی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و اجرای طرح‌های آبی روندی افزایشی دارد (**زمان‌پور و همکاران، ۱۳۹۷**). در میان نواحی مختلف ایران، شمال کشور به‌ویژه غرب استان گیلان با توجه به شرایط اقلیمی حاکم از نظر درصد بروز سیل، رتبه بالایی را به خود اختصاص می‌دهد که حوضهٔ کرگانرود تالش، واقع در این استان نیز از این امر مستثنی نبوده است؛ زیرا وجود بارندگی‌های منظم جوی، مجاورت با دریای خزر و رشته‌کوه‌های تالش باعث تشکیل دامنه‌های جنگلی و پرشیب شده که آن منطقه را مستعد پدیدهٔ سیلاب کرده است و گسترش روند آن در طول سال‌های متمادی می‌تواند برای ساکنین آن منطقه مشکل‌ساز شود. از طرفی دیگر دخل و تصرف غیرمسئولانه و سوء مدیریت در استفاده از منابع طبیعی به‌مانند برداشت بی‌رویهٔ درختان جنگلی، تغییرات کاربری اراضی و احداث سازه‌های انسانی در

بستر و حریم رودخانه، در بروز رواناب مازاد بر نفوذ و درنتیجه مخاطرهٔ سیل بسیار مؤثر بوده است. شهرستان تالش از نظر موقعیت جغرافیایی خود در بین دو واحد بزرگ ساختمانی البرز-تالش و دریای خزر، محیط مناسبی را برای تشکیل اشکال و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی فراهم ساخته است. بخصوص با دارا بودن شرایط اقلیمی و محیطی متفاوت در طول سال‌های گذشته دچار خسارات فراوان از آسیب‌های طبیعی گردیده که بدون شک پدیدهٔ سیل به‌عنوان یکی از جدی‌ترین خطرات و بلایای طبیعی این منطقه محسوب می‌شود. در طول سالیان متمادی مردم این نواحی به دلیل ویژگی‌هایی همچون: مرغوبیت خاک منطقه و ذخیره آب کافی، اغلب بدون در نظر گرفتن دورهٔ بازگشت و حجم رواناب تولید شده در هرسال و با وجود تهدیدهای حاکم، در حاشیهٔ رودخانه‌ها سکونت گزیده و گسترش یافته‌اند؛ اما با توجه به اهمیت رودخانه‌های استان گیلان و جنبهٔ اقتصادی فراوان آن‌ها، تاکنون مطالعات ویژه‌ای بر روی آن‌ها انجام نشده و متأسفانه در هیچ‌یک از پژوهش‌های انجام شده ساماندهی و مدیریت سیلاب به‌صورت جدی صورت نگرفته است. مدل SWAT یکی از ابزارهای تحلیلی برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز پیچیده است که با توجه به تغییرات خاک، کاربری اراضی، کیفیت آب و شرایط اقلیمی در طولانی‌مدت و حوضه‌هایی که فاقد آماربرداری منظم هستند، کاربرد دارد (گاسمن و همکاران[1]، ۲۰۰۷). مدل SIMHYD نیز به‌عنوان مدل مفهومی ساده بارش-رواناب به شکلی یکپارچه عمل کرده و در مطالعات مربوط به شبیه‌سازی رواناب (پیل و همکاران[2]،۲۰۰۲)، تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب (شن و همکاران[3]، ۲۰۰۷) و ارزیابی منطقه‌ای (چیو و سیریواردنا[4]، ۲۰۰۵) به‌صورت موفقیت‌آمیزی عمل کرده است. امروزه این ابزارها بسیار موردتوجه جغرافیدانان و مهندسین منابع آب داخلی و خارجی در بحث مدیریت منابع آب واقع شده است.

**حبیبی و گودرزی (۱۳۹۷)** در تحقیق خود کاربرد مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه حبله‌رود را بررسی کرده‌اند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که از مدل SWAT می‌توان برای شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضهٔ موردنظر برای برنامه‌ریزی‌های منابع آبی و اقدامات مدیریتی لازم در این حوضه به‌خوبی استفاده نمود. **دستجردی و همکاران (۱۳۹۸)** در پژوهش خود کارایی دو مدل هیدرولوژیکی AWBM و SIMHYD و شبکه عصبی (Mlp و Rbf) را برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در منطقه حوضهٔ باراریه نیشابور مقایسه کرده و نتایج حاصل نشان می‌دهد که تطابق زیادی بین مقادیر اوج بارندگی با اوج رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها و رواناب حداکثر خروجی از حوضه، وجود دارد. **گودرزی و فاتحی‌فر (۱۳۹۸)** با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS در پهنه‌بندی خطر

1 Gassman et al
2 Peel et al
3 Chen et al
4 Chiew and Siriwardena

سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5، مطالعه‌ای در حوضهٔ آذرشهر چای انجام داده‌اند و نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها حاکی از آن است که ممکن است در یک زیرحوضهٔ کوچک در اواسط حوضه به جهت داشتن شرایط مستعد سیل مانند شیب فراوان، داشتن شکلی گرد، خاک نفوذناپذیر یا پوشش‌گیاهی ضعیف، در اثر باران‌های شدید اقلیمی دبی سیلابی بزرگی به وقوع بپیوندد. **قضاوی و همکاران(۱۳۹۹)** در طی پژوهشی به بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد دبی‌های روزانه حوضه‌های فاقد آمار با رویکرد منطقه‌بندی در مناطق خشک پرداخته و نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان می‌دهد که خروجی‌های به دست آمده موفقیت‌آمیز و قابل‌قبول بوده و استخراج این نتایج می‌تواند به درک و شناخت بهتری از رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های فاقد آماربرداری برای اهدافی چون برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ازجمله کنترل سیل و تأمین آب شرب و کشاورزی منجر شود. **بالویی و همکاران(۱٤۰۰)** کارایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی رواناب و رطوبت موجود در خاک در حوضه دویرج استان ایلام بررسی نموده‌اند. این مدل در شبیه‌سازی بیلان آبی موجود در این حوضه عملکرد بسیار مؤثر داشته و قابل استفاده برای پردازش سایر ویژگی‌های حوضه دویرج نیز می‌باشد. اسکوبار و همکاران[1] (۲۰۱۵) حوضه آبریز مولاوین، به‌عنوان ذخیره‌گاه جنگلی ماکیلینگ را با استفاده از پنج مدل مفهومی توده‌ای بارش–رواناب شبیه‌سازی کرده و آن‌ها پس از مدل‌سازی با توجه به نتایج خود پنج الگوریتم موجود در نرم‌افزار RRL را از بهترین تا ضعیف‌ترین طبقه‌بندی نمودند که آرایش مدل‌ها عبارتند از: Tank، SIMHYD، SACRAMENTO، SMAR و AWBM. هونگیان و همکاران[2] (۲۰۱۷) به ارزیابی در رابطه با توانایی و سازگاری مدل SIMHYD در حوضه رودخانه سونگوا پرداختند. آن‌ها دریافتند که استفاده از این مدل در مناطق نیمه‌مرطوب بهتر از مناطق نیمه‌خشک است. این مدل همچنین دو مکانیسم تولید رواناب ، ذخیره‌سازی و نفوذ بیش‌ازحد را در نظر می‌گیرد ، با ساختار ساده و محاسبه راحت نیاز به پارامترهای کمتری دارد. اما این مدل در اوج سیل دارای یک خطای شبیه‌سازی بزرگ است. با توجه به تأثیر توزیع نابرابر باران و جاری شدن سیل، حوضه به چندین بلوک تقسیم می‌شود. درنتیجه هر بلوک برای محاسبه تلاقی به‌طور جداگانه به چندین واحد تقسیم شده و سرانجام به‌صورت خطی در ایستگاه خروجی قرار می‌گیرند که ازاین‌جهت می‌تواند صحت مدل را بیشتر بهبود ببخشد و از این نظر برای ارتقا بیشتر مدل در حوضه رودخانه سونگوا از اهمیت بسیاری برخوردار است. یو و همکاران[3] (۲۰۱۸) مقاله خود را با عنوان بهبود مدل SWAT برای شبیه‌سازی مبتنی بر رویداد سیل در بازه زمانی روزانه ارائه نمودند. نتایج درجه‌بندی و اعتبارسنجی داده‌های روزانه نشان‌دهندهٔ بهبود عملکرد شبیه‌سازی به‌ویژه شبیه‌سازی پیک سیلاب است. آن‌ها همچنین معتقدند بهبود این مدل، پایه و اساس رسیدگی به مسائل مربوط

1 Escobar et al
2 Hongyan et al
3 Yu et al

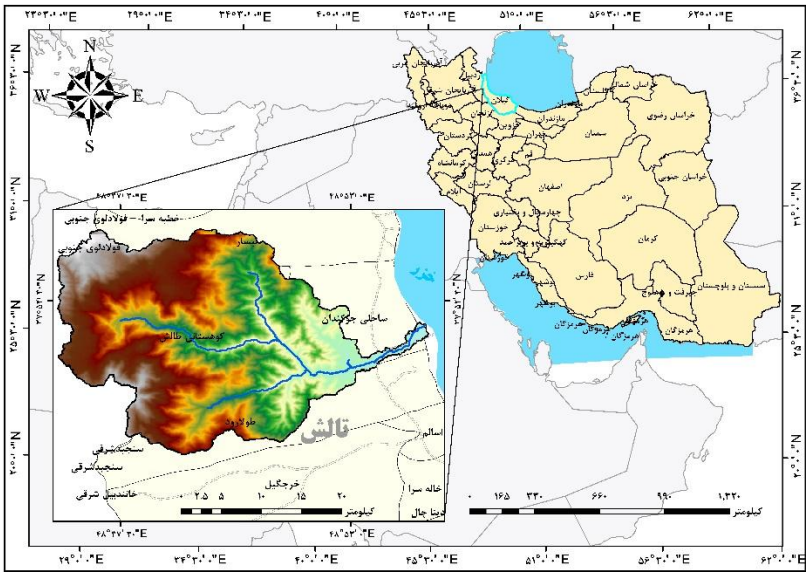
به کیفیت آب ناشی از وقوع سیل خواهد بود. فرهان و عابد[1] (۲۰۲۱) رواناب سطحی در بحرالنجف را با استفاده از مدل SWAT برآورد نموده‌اند. سه سناریو فرضی بر اساس میزان بارندگی مفروض اجرا شد که نتایج نشان دادند سه سطح آب منجر به پرشدن دریاچه محصور، کل منطقه موردمطالعه و فراتر رفتن از مرزها و نیز باعث سیل بخشی از شهر باستانی نجف شده است. سیلوا دیاس و همکاران[2] (۲۰۲۱) عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای را با استفاده از مدل‌های SWAT و HEC-HMS ارزیابی کرده و به این نتیجه رسیدند که با توجه به شاخص‌های به دست آمده، هر دو سیستم نرم‌افزاری به‌طور رضایت‌بخشی قادر به شبیه‌سازی جریان بودند. باسو و همکاران[3] (۲۰۲۱)، ابوزریگ و بنی هانی[4] (۲۰۲۱) و دالیسون و همکاران[5] (۲۰۲۲) نیز با استفاده از مدل SWAT در پژوهش خود توانستند به نتایج خوبی دست یابند. تحت شرایط این مطالعه، SWAT نسبت به HEC-HMS برتری دارد و از نظر آماری برای پیش‌بینی‌های آینده مناسب‌تر است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرگانرود

حوضهٔ آبریز کرگانرود با مساحتی بالغ بر ٦١٥/٤ کیلومترمربع و با محیطی حدود ۱۲۷ کیلومتر یکی از رودخانه‌های شهرستان تالش و همین‌طور از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های استان گیلان می‌باشد که در شمال‌غرب این استان از ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تالش با مختصات جغرافیایی ً ٢٤ َ ٤١ □٣٧ تا ً ٢٤ َ ٥٨ □٣٧ عرض‌شمالی وً ٤٨ َ ٣١ □٤٨ تا ً ٤٨ َ ٥٨ □٤٨ طول‌شرقی سرچشمه گرفته است. از نظر تقسیمات سیاسی این حوضه از شمال به حوضه هره‌دشت لیسار، از جنوب به حوضه ناورود اسالم، از غرب به استان اردبیل حوضه آبریز آرپاچای و هروآباد و از شرق به دریای خزر محدود می‌شود (شکل ۱).

1 Farhan and Abed
2 Silva Dias et al
3 Basu et al
4 Abu-Zreig and Bani Hani
5 Dallison et al




**شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرگانرود تالش**

### ۲-۲- معرفی مدل SWAT

SWAT مخفف عبارت Soil and Water Assessment Tools می‌باشد که یک مدل پیوسته و نیمه توزیعی بوده و توسط جف آرنولد (آرنولد و همکاران[1]، ۱۹۹۸) برای سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا توسعه یافته است. این مدل برای ارزیابی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت مدیریت بر روی آب، رسوب، مواد شیمیایی و کشاورزی در حوضه‌ها انجام می‌شود. مدل SWAT دارای مبنای فیزیکی بوده و شامل دو بخش اصلی است. در بخش اول میزان آب، رسوب، فرسایش خاک، رشد گیاه، مواد مغذی و آفت‌کش‌هایی که وارد آبراههٔ اصلی می‌شوند را کنترل می‌کند و در بخش دوم روندیابی و جهت جریان آب، حرکت رسوبات و شرایط آب و هوایی در یک حوضهٔ آبریز شبیه‌سازی می‌شود. تلفیق GIS با مدل نیمه فیزیکی SWAT باعث شده است تا قدرت تحلیل لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور ایجاد لایه‌های جدید افزایش یابد و در مدیریت سیستم‌های پیچیده آبی نقشی کاربردی ایفا کند. چرخه هیدرولوژیکی این مدل بر معادله بیلان آبی هر HRU استوار است (**آبابایی و سهرابی، ۱۳۸۸**). به‌طورکلی معادله بیلان آبی، اصلی‌ترین معادله در هر نوع فرآیند موجود در مدل SWAT می‌باشد.

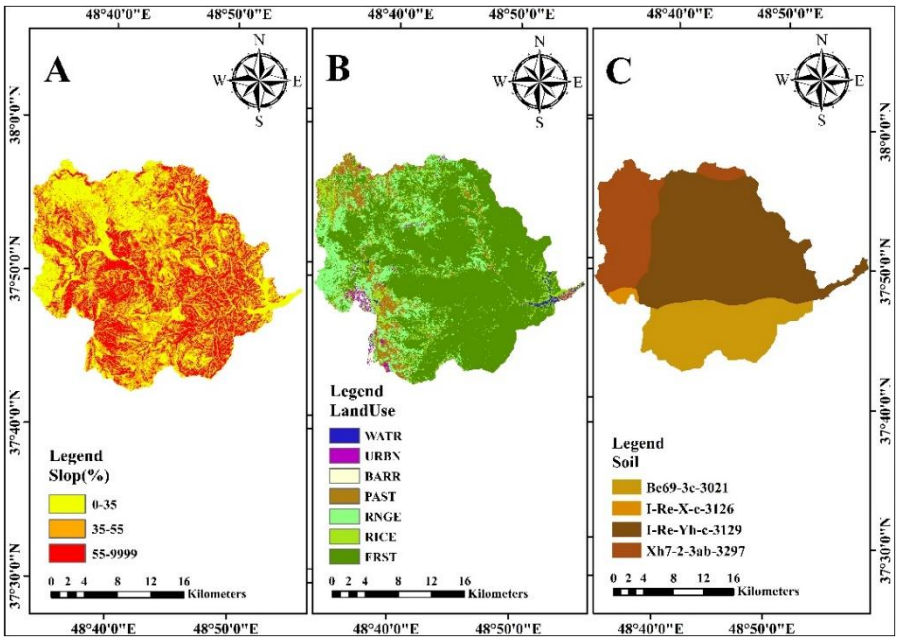
$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

1 Arnold et al

در این معادله $SW_t$ ذخیره رطوبت نهایی در خاک (mm)، t زمان، $SW_0$ مقدار اولیه آب در خاک (mm)، $R_{day}$ میزان بارش روزانه، $Q_{surf}$ میزان رواناب سطحی روزانه (mm)، $E_a$ میزان تبخیر و تعرق روزانه (mm)، $W_{seep}$ میزان آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیراشباع نفوذ می‌کند (mm) و $Q_{gw}$ میزان جریان نفوذی در سفره زیرزمینی به‌صورت روزانه (mm)، می‌باشد (نیچ و همکاران[1]، ۲۰۰۵).

**۲-۳- داده‌های ورودی مدل**

ورودی‌های مدل SWAT برای انجام شبیه‌سازی شامل نقشه رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، نقشه شیب طبقه‌بندی شده با استفاده از روش SCS، نقشه خاک برش خورده از نقشه جهانی خاک ایران و نقشه کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر سنجنده چندطیفی OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۸ می‌باشد که با استفاده از روش تصحیح اتمسفری سریع (QUAC) و روش حداکثر احتمال در محیط ENVI ترسیم شده و با نتایج ضریب کاپا (Kappa= 0/97) و دقت کلی ( Overal accuracy= 0/98) بالا به دست آمده است (شکل ۲). همچنین از آمار و اطلاعات روزانه و ماهانهٔ ماکزیمم و مینیمم دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی مربوط به سه ایستگاه تالش، آستارا و بندرانزلی به‌عنوان ورودی‌های این مدل نیز استفاده شده است (جدول ۱).




**شکل ۲- A) نقشه شیب، B)کاربری اراضی و C) خاک حوضه کرگانرود به‌عنوان ورودی مدل SWAT**

1 Neitch et al

**جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های منتخب برای مدل‌سازی**

| نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا | نوع ایستگاه | دوره آماری |
|---|---|---|---|---|---|
| تالش | ٤٨□٤٩′٥٣"E | ٣٧□٢١′٥٠"N | ٧ | سینوپتیک | ٢٠٠٦- |
| بندر آستارا | ٤٨□٥١′١٥"E | ٣٨□٥٤′٢١"N | ٢١/١- | سینوپتیک | ٢٠٠٦- |
| بندر انزلی | ٤٩□٢٧′٢٧"E | ٣٧□ ٤٧′٢٨"N | ٢٣/٦- | سینوپتیک | ٢٠٠٦- |
| هشتپر | ٤٩□٢٩′٥٤"E | ٣٧□ ٤٩′٤٨"N | ٣٥ | هیدرومتری | ٢٠٠٦- |

در این تحقیق برای بررسی میزان سیل‌خیزی حوضه آبریز کرگانرود از پارامترهای شماره منحنی (CN) در بازه صفر تا ١٠٠، $Q_{surf}$ میزان رواناب سطحی روزانه (mm)، $R_{day}$ میزان بارش روزانه و S پارامتر نگهداشت رطوبت (mm) مطابق بر معادله زیر استفاده شده است:

$$S = 25/5\ (\frac{1000}{CN} - 10)$$

**٢-٤- مدل SIMHYD**

نرم‌افزار RRL[1] با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش، تبخیر و تعرق و دبی مشاهداتی برای شبیه‌سازی یک مدل بارش-رواناب تهیه و تدوین شده است. این نرم‌افزار حاوی پنج مدل بارش-رواناب توده‌ای عادی، روش‌های بهینه‌سازهای واسنجی و ابزاری برای سهولت در واسنجی مدل است که این مدل‌ها عبارتند از: AWBM، SIMHYD، TANK، SMAR و SACRAMENTA. مدل مفهومی یکپارچهٔ SIMHYD[2]، نسخهٔ ساده‌شدهٔ نرم‌افزار HYDROLOG مربوط به سال ١٩٧٢ و نرم‌افزار MODHYDROLOG مربوط به سال ١٩٩١ است که یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی بارش-رواناب محسوب می‌شود. این مدل برای ارزیابی رواناب از سه منبع استفاده می‌کند که عبارتند از: رواناب مازاد بر نفوذ، جریان زیرسطحی و رواناب مازاد بر اشباع و جریان پایه. میزان تغذیه آب زیرزمینی که تابعی خطی از رطوبت خاک می‌باشد نیز توسط مدل SIMHYD برآورد می‌گردد (پودگر[3]، ٢٠٠٣). درواقع عملکرد مدل SIMHYD به این صورت است که ابتدا ذخایر خالی‌شدهٔ برگاب، توسط تبخیروتعرق به‌وسیلهٔ بارش روزانه پر می‌شود. سپس بارش مازاد تحت تأثیر یک تابع نفوذ قرارگرفته و ظرفیت نفوذ را مشخص می‌نماید. بارش مازادی که از ظرفیت نفوذ فراتر رفته و تجاوز می‌کند، رواناب را به وجود می‌آورد. رطوبت نفوذ کرده تحت تأثیر یک تابع رطوبتی خاک قرارگرفته که این رطوبت به جریان‌های داخلی، آب‌های زیرزمینی و ذخایر رطوبت خاک می‌پیوندد؛ بنابراین این مدل بر اساس داده‌های مشاهداتی بارش، تبخیروتعرق و دبی رودخانه، می‌تواند رواناب را در محدوده زمانی

1 Rainfall Runoff Library
2 Simple Hydrology
3 Geoff Podger

موردنظر شبیه‌سازی کند که در این تحقیق از داده‌های مشاهداتی به‌صورت روزانه در بازهٔ زمانی ۱۳ ساله بهره گرفته شده است.

### ۲-۵- داده‌های ورودی مدل SIMHYD

ازآنجایی‌که مدل SIMHYD نسبت به مدل SWAT از ورودی‌های کمتری برخوردار است براین اساس سه نوع ورودی ازجمله داده‌های تبخیروتعرق و میزان بارش از سازمان آب و هواشناسی استان گیلان و داده‌های مشاهداتی مربوط به دبی جریان از سازمان آب‌منطقه‌ای این استان مربوط به ایستگاه سینوپتیک تالش و ایستگاه هیدرومتری هشتپر که در قسمت خروجی رودخانه قرارگرفته است، در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ تهیه گردید و به فرمت مخصوص نرم‌افزار مرتب شده، سپس برای مدل تعریف شده است. به دلیل تازه تأسیس بودن ایستگاه مورد استفاده در شبیه‌سازی و همچنین عدم وجود سنوات آماری کافی بلندمدت، لذا این محدوده آماری برای انجام مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. در این مدل ضریب نش- ساتکلیف (EN2) به‌عنوان تابع هدف که اختلاف میان داده‌های مشاهداتی با مقادیر شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد، ضریب تبیین ($R^2$) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز برای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در نظر گرفته شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- اجرای مدل و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب توسط SWAT-CUP

پس از تعریف کردن تمامی نقشه‌ها و داده‌های ورودی به مدل، همچنین در صورت نیاز برای دریافت نتایجی با دقت بالا مدیریت‌های مربوط به خاک، کاربری اراضی، آبیاری یا در صورت وجود سد و غیره اطلاعات مربوط به آن در مدل اعمال شده سپس در مرحله نهایی تاریخ شروع و اتمام دوره شبیه‌سازی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸، تعداد سال‌های گرم شدن مدل[1] به مدت سه سال تعیین گردید و مرحله مدل‌سازی به‌صورت روزانه اجرا شد. یکسری اطلاعات خروجی شبیه‌سازی شده به شکل فایل Textinout تولیده شده که این خروجی‌ها به نرم‌افزار SWAT-CUP به‌منظور انجام فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی با تعیین الگوریتمی که مدل بر اساس آن کالیبره خواهد شد، افزوده شدند. با توجه به مدل‌سازی انجام گرفته و نتایج حاصل از گزارش مدل SWAT، میانگین تبخیروتعرق را به میزان ٤٦٩ میلی‌متر، میانگین بارش ۹٦۲ میلی‌متر در حوضه آبریز کرگانرود محاسبه نموده است. با در نظر گرفتن اقلیم حاکم بر حوضه کرگانرود تالش، نوع پوشش‌گیاهی منطقه که بخش وسیعی از حوضه آبریز را پوشش جنگلی دربرگرفته است، از طرفی دیگر

1 Warm Up

کشت برنج در بخش کشاورزی کرگانرود به‌عنوان گیاهی با نیاز آبی بسیار بالا و بیشترین تغذیه توسط بارندگی و درنهایت با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک‌های واقع در حوضه، این‌طور استنباط می‌شود که مقادیر به دست آمده با مقادیر موجود در واقعیت هماهنگی داشته و منطقی به نظر می‌رسد.

**۳-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT**

جهت بهبود نتایج شبیه‌سازی و اطمینان دقیق از شباهت و هماهنگی بالای مقادیر بارش-رواناب تولید شده با مقادیر موجود در واقعیت ضرورت انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده، فراهم می‌شود. برای این کار در ابتدا پس از تعریف پروژهٔ Textinout به‌عنوان خروجی حاصل از مدل‌سازی در SWAT، در محیط SWAT-CUP افزوده شده و الگوریتم SUFI2 به‌عنوان روش منتخب برای انجام کالیبراسیون انتخاب شده است؛ زیرا این روش به‌راحتی می‌تواند حجم وسیعی از داده‌های مشاهداتی را پردازش کرده و امکان کالیبراسیون همزمان پارامترها بر پایه داده‌های ارزیابی شده در متغیرهای متفاوت را دارا می‌باشد. سپس بعد از وارد کردن داده‌های دبی رودخانه با فرمت نرم‌افزار، در ابتدا پارامترهای احتمالی با توجه به بررسی تجربیات پژوهش‌های گذشته توسط دیگران مانند بویتیاس و همکاران[1] (۲۰۱۷)، شکوهی‌فر و همکاران (۲۰۲۱)، **نیکخو امیری و همکاران(۱۳۹۸)**، **طالبی و همکاران(۱۳۹۹)** جهت برآورد جریان، جمع‌آوری شده سپس به سوات‌کاپ معرفی و آنالیز حساسیت برای ۲۵۵٦ داده به‌صورت روزانه انجام گرفت. دامنه‌ای از مقادیر حداکثر و حداقل برای هر پارامتر در نظر گرفته شد و سپس با بررسی خروجی کالیبراسیون و تولید ضریب نش مناسب، از میان تمام پارامترهای آنالیز شده، ۲۳ پارامتر مؤثر با حساسیت بالا در تولید رواناب با ۵۰۰ بار تکرار در شبیه‌سازی و نمونه‌برداری تعیین گردید و تثبیت شد. این پارامترهای مؤثر در تولید رواناب در (جدول ۲) نمایش داده شده است.

1 Boithias et al

**جدول ۲- پارامترهای مؤثر در تولید رواناب**

| درجه حساسیت | نام پارامتر | شرح پارامتر | حداک | حداقل |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | CN2 | شماره منحنی | -۰/۲ | -۰/۸ |
| ۲ | CH_N2 | ضریب مانینگ در رودخانه اصلی | ۰/۱۵ | ۰ |
| ۳ | CH-K2 | ضریب هدایت هیدرولیکی مؤثر کف رودخانه اصلی | ۱۳۰ | ۸۰ |
| ٤ | SFTMP | متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف(C°) | ۰ | -۵ |
| ۵ | TIMP | فاکتور تأخیر دمای توده برف | ۰/۷۵ | ۰/۲۵ |
| ٦ | SOL_K | ضریب هدایت هیدرولیکی خاک(mm/hr) | -۰/۲ | -۰/۸ |
| ۷ | GWQMN | لایه یا برگشتی اتفاق بیفتد (mmH2O) کم عمق برای این که | ٤۲۰۰ | ۲۸۰۰ |
| ۸ | SOL_AWC | ظرفیت آب قابل دسترس خاک(mmH2O/mm) | -۰/۲ | -۰/۷ |
| ۹ | SOL_BD | جرم مخصوص خاک($gr/cm^3$) | -۰/۲ | -۰/۸ |
| ۱۰ | RCHRG_DP | ضریب نفوذ آبخوان | ۰/۷۵ | ۰/۲۵ |
| ۱۱ | ALPHA_BNK | ضریب a جریان پایه برای ذخیره (روز) | ۱ | ۰/۵ |
| ۱۲ | ALPHA_BF | جریان پایه a ضریب | ۱ | ۰/۵ |
| ۱۳ | SMFMN | نرخ ذوب برف در ۲۱ دسامبر (mmH2O/C°- day) | ۱۰ | ۵ |
| ۱٤ | GW_REVAP | ضریب برگشت آب زیرزمینی از لایه کم عمق به لایه | ۰/۲ | ۰/۱ |
| ۱۵ | CANMX | حداکثر آب ذخیره شده در تاج گیاه برای مرتع | ۵۰ | ۰ |
| ۱٦ | SLSUBBSN | متوسط طول شیب (m) | -۰/۳ | -۰/۸ |
| ۱۷ | ESCO | ضریب جبران تبخیرخاک | ۱ | ۰/۷ |
| ۱۸ | CANMX | حداکثر آب ذخیره شده در تاج گیاه برای برنج | ۵۰ | ۰ |
| ۱۹ | CANMX | حداکثر آب ذخیره شده در تاج گیاه برای جنگل | ۵۰ | ۰ |
| ۲۰ | DEEPST | عمق آب در آبخوان عمیق | ۱۵۰۰۰ | ۷۰۰۰ |
| ۲۱ | SMFMX | نرخ ذوب برف در ۲۱ ژوئن(mmH2O/C°- day) | ۵ | ۰ |
| ۲۲ | SMTMP | دمای ذوب توده برف(C°) | ۵ | ۰ |
| ۲۳ | EPCO | ضریب جبران جذب گیاه | ۱ | ۰/۷ |

به‌طورکلی یک دورهٔ ۱۳ ساله برای شبیه‌سازی رواناب به شکل روزانه تعیین گردید. بدین‌گونه که داده‌های مربوط به سال ۲۰۰٦ تا ۲۰۰۸ برای دوره سازگار شدن مدل، از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ یک دوره آماری ۷ساله برای اجرای فرآیند واسنجی مدل و یک دوره سه‌ساله از سال ۲۰۱٦ تا ۲۰۱۸ برای فرآیند اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. همچنین در این فرآیند ضریب نش ساتکلیف(NS) به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است که میزان اختلاف رواناب مشاهداتی با رواناب شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

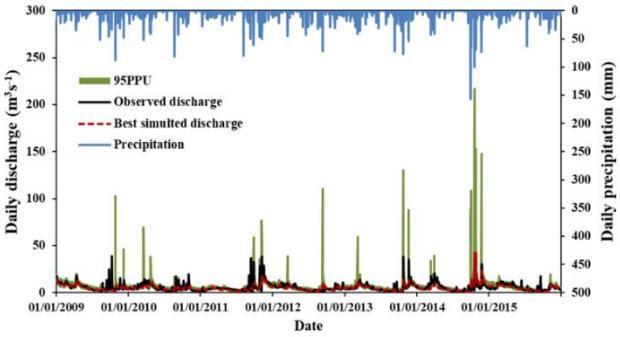
### ۳-۳- نتایج حاصل از انجام فرآیند شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه مدل SWAT

در فرآیند واسنجی، تغییر مقادیر پارامترها باید به‌گونه‌ای انجام شود که در نمودار شبیه‌سازی شده علاوه بر تولید ضریب نش ساتکلیف مناسب، نتایج تا حد زیادی در محدوده باند عدم قطعیت ٪۹۵ واقع شود. به همین دلیل هر چه ضریب p_factor به یک و ضریب r_factor به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج به دست آمده از دقت بالایی در شبیه‌سازی برخوردار است. اجرای واسنجی تا زمانی ادامه می‌یابد که بر اساس الگوریتم

انتخاب شده ضرایب موردنیاز با مقادیر قابل قبولی محاسبه شوند. در (جدول و شکل ۳) نتایج حاصل از فرآیند کالیبراسیون نمایش داده شده است.

**جدول ۳- نتایج دقت ضرایب ارزیابی مدل در مرحله واسنجی دبی روزانه**

| نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل | ضریب نش- ساتکلیف(NS) | ضریب تبیین($R^2$) | ضریبr-factor | ضریب p_factor |
|---|---|---|---|---|
| مرحله واسنجی | ۰/۵۰ | ۰/۵۲ | ۱/۲۰ | ۰/۸۵ |

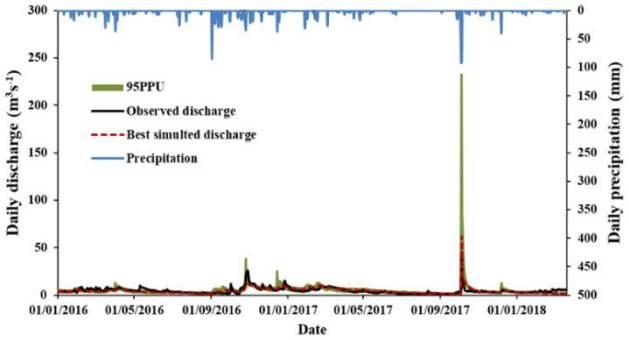



**شکل ۳- نمودار باند عدم قطعیت برای مرحله واسنجی دبی روزانه حوضه کرگانرود**

پس‌ازاینکه بر روی مدل شبیه‌سازی شده فرآیند کالیبراسیون انجام گرفته و پارامترها تعدیل گردید، مدل در بازه زمانی مستقلی از مرحله واسنجی، با داده‌های مشاهداتی مربوط به سال‌های جدید به فرمت نرم‌افزار تعریف شده و فرآیند اعتبارسنجی انجام می‌شود. در این مرحله داده‌های دبی روزانه حوضه کرگانرود از سال ۲۰۱٦ تا ۲۰۱۸ مربوط به ایستگاه هیدرومتری هشتپر با همان ۲۳ پارامتر مرحله واسنجی و در همان بازهٔ مقادیر حداکثر و حداقل با تکرار ۵۰۰ بار در هر شبیه‌سازی استفاده شده است. نتایج این مرحله در (جدول و شکل ٤) نشان داده شده است.

**جدول ٤- نتایج ضرایب به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی دبی روزانه**

| نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل | ضریب نش- ساتکلیف(NS) | ضریب تبیین($R^2$) | ضریبr-factor | ضریب p_factor |
|---|---|---|---|---|
| مرحله اعتبارسنجی | ۰/۵۳ | ۰/٦۰ | ۱/۱٦ | ۰/۷۱ |



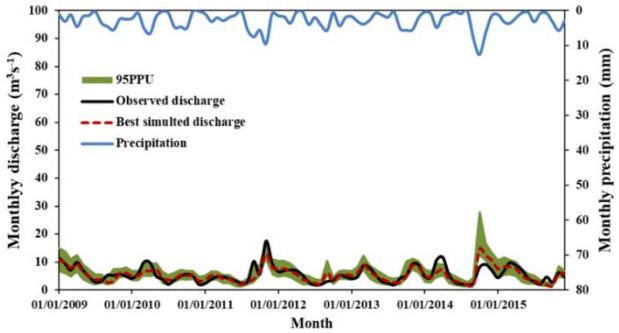

**شکل ٤- نمودار باند عدم قطعیت برای مرحله اعتبارسنجی دبی روزانه حوضه کرگانرود**

همان‌گونه که از نمودارهای خروجی حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی استنباط می‌شود، مدل مقادیر شبیه‌سازی را در برخی روزها بیشتر از مقادیر مشاهداتی برآورد کرده است و مقادیر شبیه‌سازی شده از حالت یکنواختی پیروی می‌کنند. از علت‌های اصلی این موضوع از نگاه شن و همکاران[1] (۲۰۱٤)، وجود محدودیت در مدل SWAT در توزیع بارش از لحاظ مکانی است. به‌طور مثال اگر در بخشی از حوضهٔ آبریز بارندگی با شدت بیشتری رخ دهد، مدل این حجم از بارش را در تمام زیرحوضه‌ها تأثیر می‌دهد و درنهایت باعث شبیه‌سازی دبی بیش از مقادیر مشاهداتی می‌شود. از دیگر عوامل تأثیرگذار براین موضوع عدم وجود ایستگاه‌های کافی در منطقه است که عواملی چون توپوگرافی‌های متنوع ازجمله کوهستانی و جنگلی بودن منطقه، عدم نیاز سازمان‌های هواشناسی و آب منطقه‌ای به ایستگاه‌های بیشتر، از دلایل کمبود ایستگاه‌های موردنیاز برای مدل است. از منظری دیگر کیفیت پایین داده‌های ثبت شده توسط سازمان‌ها یا وجود داده‌های مفقود شدهٔ بسیاری در میان ورودی‌ها از مهم‌ترین دلایل مؤثر در خروجی مدل است که مانع از شبیه‌سازی دقیقاً مطابق با واقعیت می‌شود. برای اطمینان از نتایج به دست آمده و همچنین مطالعهٔ پژوهش‌های مشابه انجام شده در فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی به‌صورت روزانه، بار دیگر داده‌های مشاهداتی به شکل ماهانه تعریف شده و مطابق با شبیه‌سازی روزانه از همان پارامترها با مقادیر تعیین شده استفاده شده است؛ زیرا وجود تعداد بسیار زیاد و متنوع داده‌های مشاهداتی در مدل‌سازی روزانه، کیفیت پایین و یا وجود مقادیر مفقود شده در داده‌های روزانه ثبت شده توسط ایستگاه‌ها از دلایلی بشمار می‌آیند که می‌توانند نتایج مدل‌سازی را تحت تأثیر خود قرار دهند؛ بنابراین فرآیند واسنجی بار دیگر در محدوده زمانی ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۵ با در نظر گرفتن سه سال اول برای سازگار شدن مدل (Warmup) و سه سال آخر نیز از سال ۲۰۰۱٦ تا ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی به‌صورت ماهانه انجام شده است (جدول و شکل ۵ و ٦).

1 Chen et al

**جدول ۵- نتایج دقت ضرایب ارزیابی ماهانه مدل در مرحله واسنجی دبی ماهانه**

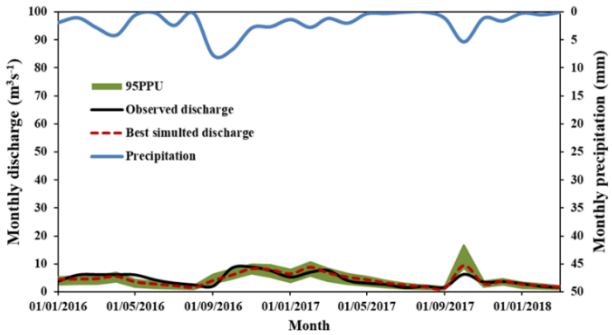
| نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل | ضریب نش- ساتکلیف(NS) | ضریب تبیین($R^2$) | ضریبr-factor | ضریب p_factor |
|---|---|---|---|---|
| مرحله واسنجی | ۰/۶۱ | ۰/۶۲ | ۱/۵۱ | ۰/۸۹ |




**شکل ۵- نمودار باند عدم قطعیت ماهانه برای مرحله واسنجی دبی ماهانه حوضه کرگانرود**

**جدول ٦- نتایج ضرایب ماهانه به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی دبی ماهانه**

| نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل | ضریب نش- ساتکلیف(NS) | ضریب تبیین($R^2$) | ضریبr-factor | ضریب p_factor |
|---|---|---|---|---|
| مرحله اعتبارسنجی | ۰/٦۷ | ۰/۷۰ | ۱/٤۲ | ۰/۸۱ |




**شکل ۸- نمودار باند عدم قطعیت ماهانه برای مرحله اعتبارسنجی دبی ماهانه حوضه کرگانرود**

با نگاه اجمالی به مقادیر به دست آمده در شبیه‌سازی رواناب به‌صورت روزانه و ماهانه مطابق با نظریه موریاسی و همکاران[1] (۲۰۰۷)، عباسپور و همکاران (۲۰۰۷)، آی ال[2] (۲۰۱۷) و **کرمی و بیاتی خطیبی(۱۳۹۸)**، اگر مقدار تابع هدف در نظر گرفته شده به‌عبارت‌دیگر ضریب نش ساتکلیف(N2) میان

1 Moriasi et al
2 Ayele et al

۰/۶–۰/۵ ارزیابی شود نتایج به دست آمده رضایت‌بخش خواهد بود و اگر مقدار تابع هدف میان ۰/۷–۰/۶ باشد در ردیف نتایج خوب قرار می‌گیرد؛ بنابراین با توجه به این موضوع مقادیر حاصل از فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی در این مطالعه موردپذیرش بوده و از نتایج خوبی برخوردار است (جدول ۷).

**جدول ۷- مقادیر و طبقات ضرایب $R^2$ و NS،**

| طبقات | مقادیر | شاخص | طبقات | مقادیر | شاخص |
|---|---|---|---|---|---|
| ناکارآمد | <۰/٤ | NS | ناکارآمد | ۰/۵ | $R^2$ |
| قابل‌قبول | ۰/۵ – | | رضایت‌بخش | ۰/۶ – ۰/۵ | |
| رضایت‌بخش | ۰/٦۵ | | خوب | ۰/۷ – ۰/۶ | |
| خوب | ۰/۷۵ | | خیلی خوب | ۱ – ۰/۷ | |
| خیلی خوب | ۱ – | | | | |

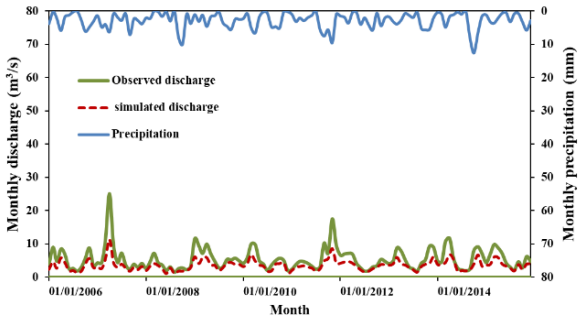
منبع: موریاسی و همکاران(۲۰۰۷)، عباسپور و همکاران(۲۰۰۷)، آی آل(۲۰۱۷) و کرمی و بیاتی خطیبی(۱۳۹۸)

### ۳-٤- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SIMHYD

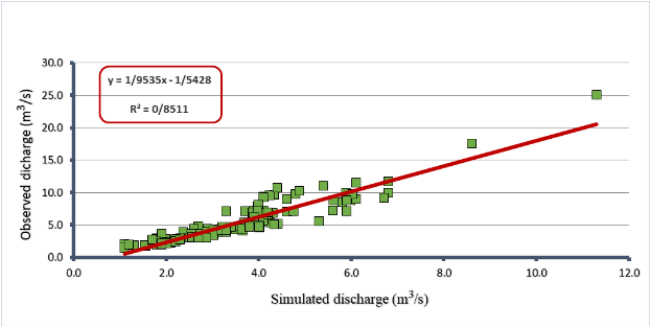
تحلیل حساسیت مدل نسبت به یک پارامتر خاص ازجمله عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در روند مدل‌سازی است. چراکه از این طریق می‌توان میزان تأثیر یک پارامتر را نسبت به دیگر پارامترها مشخص نمود و بهترین خروجی را به دست آورد؛ بنابراین پارامترهایی با حساسیت بالا بعد از انجام آنالیز حساسیت در شبیه‌سازی رواناب رودخانه کرگانرود تعیین شد و همچنین مقادیر حداکثر و حداقل پارامترها به دست آمد. در (جدول ۸) پارامترهای محاسبه شده برای مدل‌سازی مطابق با الگوریتم SIMHYD با روش بهینه‌سازی جستجوی الگو (pattern Search) نشان داده شده است که بیانگر ۹ پارامتر برای تخمین رواناب است. ضریب جریان پایه توسط ضرب آن در میزان رواناب سهم جریان اصلی تولید می‌شود. اختلاف میان بارش و تبخیر به‌وسیله ظرفیت ذخیره بارش در برگاب محاسبه شده و سهم نفوذپذیری مقداری از میزان کل بارش قابل‌نفوذ در خاک است. لازم به ذکر است مقادیر بهینه‌ای که نزدیک به عدد صفر باشد نشان‌دهندهٔ حساسیت پایین‌تر پارامترها در محدودهٔ موردمطالعه است. بعد از تعیین مقادیر پارامترها، ابتدا داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۵ برای مرحله واسنجی مدل در نظر گرفته شد و سپس فرآیند کالیبراسیون صورت گرفت. برای مقایسه گرافیکی نمودارهای مربوطه برای مرحله واسنجی و اعتبار سنجی ترسیم گردید (شکل ۹ تا ۱۰). همچنین مقادیر حاصل از نتایج شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل SIMHYD در جدول زیر نمایش داده شده است (جدول ۹ و ۱۰).

**جدول ۸- مقادیر پارامترهای استفاده شده در مدل SIMHYD**

| نام پارامتر | توضیحات پارامتر | حداکثر | حداقل | مقادیر بهینه |
|---|---|---|---|---|
| Base flow coefficient | ضریب جریان پایه | ۱ | ۰ | ۰/۰۵۸ |
| Impervious Threshold | آستانه نفوذپذیری | ۵ | ۰ | ۰/۰۵۸ |
| Infiltration coefficient | ضریب نفوذ | ٤۰۰ | ۰ | ۱۹۱/۳۷ |
| Infiltration shape | شکل نفوذ | ۱۰ | ۰ | ٤/۸٦۲ |
| Interflow coefficient | ضریب جریان ورودی | ۱ | ۰ | ۰/۰۸٦ |
| Pervious Fraction | سهم نفوذپذیر | ۱ | ۰ | ۰/۸۵ |
| Rainfall interception store capacity | ظرفیت ذخیره برگاب بارش | ۵ | ۰ | ٤/۰۳۹ |
| Recharge coefficient | ضریب تغذیه | ۱ | ۰ | ۰/۹٤ |
| Soil moisture store capacity | ظرفیت ذخیره رطوبت خاک | ۵۰۰ | ۱ | ۵۰۰ |




**شکل ۹- مقادیر ماهانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل SIMHYD**




**شکل ۱۰- نمودار رگرسیون خطی میان دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده- واسنجی مدل SIMHYD**

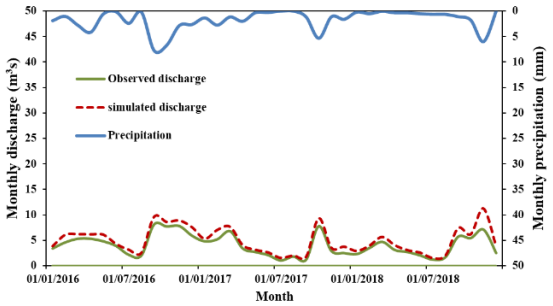
**جدول ۹- مقادیر به دست آمده در فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی مدل SIMHYD**

| دوره زمانی | ضریب نش-ساتکلیف($E_{N2}$) | ضریب تبیین($R^2$) |
|---|---|---|
| واسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰٦) | ۰/۷۱۰ | ۰/۸۵۱۱ |
| اعتبارسنجی (۲۰۱۸-۲۰۱٦) | ۰/٦۲۵ | ۰/۹٤۹٦ |

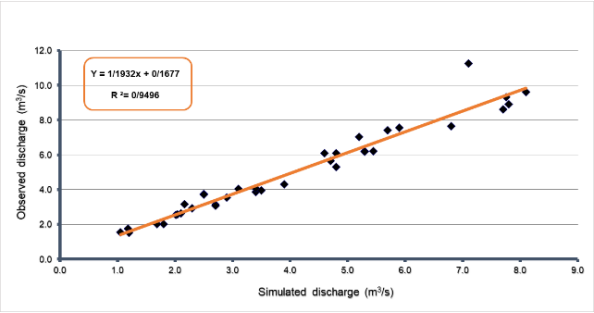
**جدول ۱۰- مقادیر به دست آمده از ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی SIMHYD**

| پارامترهای ریشه میانگین مربعات خطا | | n | MAD | MSE | RMSE | MAPE | R(XY) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر پارامترها | واسنجی | ۱۲۰ | ۱/۸۷۲ | ۷/۴۰۱ | ۲/۷۲ | ۲۸/۹۱ | ۰/۹۲ |
| | اعتبارسنجی | ۳۶ | ۰/۹۴۷ | ۱/۳۸۲ | ۱/۱۷۶ | ۱۹/۳۹۷ | ۰/۹۷ |

سپس برای انجام صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده، از داده‌های مشاهداتی مستقل از مرحله واسنجی یعنی مربوط به سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ با همان پارامترهای مؤثر و مقادیر تعیین شده در فرآیند اعتبارسنجی در نظر گرفته شد و نتایج به دست آمده به‌صورت نمودار ترسیم شده است (شکل ۱۱ و ۱۲).




**شکل ۱۱- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده – اعتبارسنجی مدل SIMHYD**




**شکل ۱۲- نمودار رگرسیون خطی میان دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده- اعتبارسنجی مدل SIMHYD**

### ۳-۵- نتایج حاصل از مدل‌سازی SIMHYD

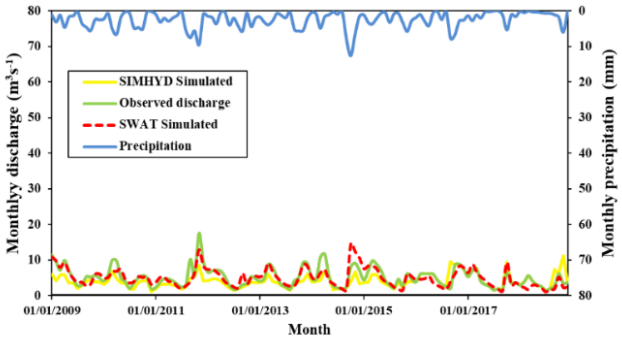
با توجه به مقادیر به دست آمده از شاخص‌های آماری داده‌های مشاهداتی در واقعیت با داده‌های شبیه‌سازی شده و با نگاه اجمالی به نمودارها، علاوه بر تطابق قابل‌قبول داده‌ها، نقطهٔ پیک و فرود رواناب به‌خوبی شبیه‌سازی شده و عدد به دست آمده توسط تابع هدف برای شبیه‌سازی صورت گرفته قابل‌پذیرش است. به‌عبارتی‌دیگر با افزایش میزان دبی مشاهداتی مقادیر شبیه‌سازی شده نیز افزایش یافته و بلعکس با

کاهش دبی جریان، رواناب شبیه‌سازی شده نیز کاهش یافته است. شاخص‌های اعتبارسنجی این مدل نیز برای سنجش کارایی مدل SIMHYD در این حوضه، جهت برآورد دبی جریان در تبیین سیلاب نیز از نتایج قابل قبولی برخوردار است. تطبیق تصویری مقادیر مشاهداتی با مقادیر شبیه‌سازی شده حاکی از مناسب بودن مقدار ضریب نش-ساتکلیف($E_{N2}$) به دست آمده است.

با توجه به خروجی‌های مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و با عنایت به نمودارها، به‌طورکلی میان دبی مشاهداتی با دبی برآورد شده توسط مدل، همبستگی و تطابق مناسبی وجود دارد و می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با مقایسه نتایج هیدروگراف‌های نمونه، باوجود تلاش مدل SIMHYD برای شبیه‌سازی دقیق روند هیدروگراف‌ها در برخی نقاط، همچنان توانایی آن در شبیه‌سازی دبی ماهانه حوضه آبریز کرگانرود قابل‌قبول است؛ زیرا در شبیه‌سازی ماهانه به دلیل تعدیل در حداکثر و حداقل داده‌ها و نیز از بین رفتن داده‌های نامعتبر، مدل‌سازی به‌درستی و با دقت و کیفیت بالاتری صورت گرفته و نتایج قابل‌قبول‌تری را محاسبه می‌کند. این مسئله در حالی است که مدل SIMHYD در ابتدا با داده‌های ورودی روزانه شبیه‌سازی شد و نتایج بسیار ضعیفی را ارزیابی نمود. ازجمله دلایل این موضوع نیز می‌توان به کمبود ایستگاه‌های موردنیاز در حوضهٔ موردمطالعه و نیز عدم کیفیت داده‌های روزانهٔ ثبت شده به سبب تازه تأسیس بودن ایستگاه موجود در محدوده و به دنبال آن کاهش دقت مدل SIMHYD در برآورد رواناب روزانه به جهت نیاز به ورودی‌های کم‌تر نسبت به مدل SWAT را اشاره نمود.

### ۳-۶- ارزیابی نتایج مدل SWAT و مدل SIMHYD در برآورد سیلاب حوضه آبریز کرگانرود

با توجه به مقادیر به دست آمده توسط مدل‌ها در ماه‌های آخر سال ۲۰۱۱ و همچنین ۲۰۱۴ در مراحل واسنجی با افزایش میزان بارندگی، نقاطی به‌عنوان پیک دبی شناسایی شده است که با بررسی حوادث سیل حوضه آبریز در این بازه زمانی، مشخص گردید در شهریور و مهرماه سال‌های ۹۰و ۹۳ مطابق با پیک‌های دبی نمایش داده شده در نمودارهای خروجی، سیل در پایین‌دست حوضه که رودخانه از وسط شهرستان تالش می‌گذرد رخ داده و باعث تخریب منازل روستایی واقع در حریم رودخانه، آب‌گرفتگی معابر و تلفات جانی و مالی بسیاری شده است. در مرحله اعتبارسنجی هر دو مدل نیز به‌ویژه در مدل SWAT که شبیه‌سازی دقیق‌تری را انجام داده است، در سال ۲۰۱۸ نیز با افزایش بارندگی‌های ثبت شده و دبی مشاهداتی، نقاط پیک دبی شبیه‌سازی شده است که این امر با سیل ۵ مهرماه سال ۹۷ مطابقت می‌کند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مقادیر به دست آمده توسط مدل SWAT و مدل SIMHYD در برآورد حجم رواناب ایجاد شده به‌خوبی عمل کرده و نقاط سیل را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده‌اند (شکل ۱۳).




**شکل ١٢- مقایسه نتایج شبیه‌سازی ماهانه مدل‌های SWAT و SIMHYD با دبی مشاهداتی**

## ٤- جمع‌بندی

با توجه به تنوع مدل‌های بارش-رواناب، انتخاب یک مدل مناسب برای حوضه‌های آبریز جهت افزایش بهره‌وری برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت منابع آبی، امری مهم و ضروری است. به همین جهت در تحقیق حاضر نیز برای شبیه‌سازی سیلاب از دو مدل SWAT و SIMHYD بهره گرفته شده که با توجه به نتایج به دست آمده، تطبیق مدل‌ها با حوضهٔ موردمطالعه از خروجی‌های قابل‌قبول و رضایت‌بخشی به شکل ماهانه برخوردار است. به‌طورکلی هماهنگی و تطبیق نتایج مدل‌ها با شرایط واقعی حوضه آبریز کرگانرود، با وجود نواقص داده‌های مشاهداتی، مقادیر را تا حدودی به‌درستی اندازه‌گیری کرده و می‌توان برای اقدامات مدیریتی جهت تشخیص برآورد و مهار سیلاب با توجه به رواناب تولید شده به نتایج این مدل‌ها اتکا نمود. **گلشن و همکاران(١٣٩٤)**، **محضری و همکاران(١٣٩٥)**، **ابراهیمی و همکاران(١٣٩٧)**، سفیان و ماگاجی[1] (٢٠١٩) و فیری و همکاران[2] (٢٠٢١) نیز در حوضه‌هایی مشابه در شمال کشور با استفاده از مدل SWAT رواناب را شبیه‌سازی نموده و نتایجی مشابه پژوهش انجام گرفته به دست آورده‌اند. همچنین چیو و همکاران[3] (٢٠١٨)؛ موبیالیوو و همکاران[4] (٢٠٢١) و لیو و همکاران[5] (٢٠٢٢) نیز با استفاده از مدلSIMHYD در بررسی سیل به نتایج خوبی دست یافتند. در این میان لازم به ذکر است که برای این پژوهش مدل SWAT به‌عنوان ابزاری قدرتمند، عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با مدل توده‌ای SIMHYD در ارزیابی تولید رواناب ایجاد شده در این حوضه داشته است. ازجمله دلایل این برتری را می‌توان ماهیت نیمه‌توزیعی بودن آن و نیاز مدل SWAT به ورودی‌های بیش‌تری نسبت به مدل SIMHYD ذکر کرد که منجر به شبیه‌سازی رواناب روزانهٔ این حوضه

1 Sufiyan and Magaji
2 Phiri et al
3 Chiew et al
4 Mubialiwo et al
5 Liu et al

برخلاف مدلSIMHYD شده است و به‌عنوان عامل مهمی در ایجاد سیلاب‌های حوضه آبریز کرگانرود بشمار می‌رود. لذا به سبب این ماهیت یا عدم استفاده از مقادیر ثابت در ورودی‌ها، دقت مدل در شبیه‌سازی حوضه‌آبریز مطابق با واقعیت افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر بر اساس نتایج به دست آمده توانایی یک مدل در ارزیابی یک حوضه آبریز تنها در میزان پیچیدگی آن خلاصه نمی‌شود بلکه کیفیت و اعتبار داده‌های ورودی مدل در درجه اول حائز اهمیت است و خروجی‌های به دست آمده در هر دو مدل بیانگر این موضوع می‌باشند. چراکه حوضه‌های آبریز کشورهای دیگر به‌ویژه امریکا و استرالیا در حوضه‌های مشابه توسط همین مدل‌ها برآورد شده است و نتایج بسیار خوبی را مطابق با واقعیت شبیه‌سازی نموده‌اند.

## کتابنامه


- آبابایی، بهنام؛ سهرابی، تیمور؛ ۱۳۸۸. ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبخیز زاینده‌رود. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. جلد ۱۶، شماره ۳، صص ۵۸-۴۱.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1388.16.3.3

- ابراهیمی، پیام؛ سلیمی کوچی، جمیله؛ محسنی ساروی، محسن؛ ۱۳۹۷. واسنجی و اعتبارسنجی مدلSWAT در شبیه‌سازی رواناب، مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا. *نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، جلد ۱۰، شماره ۳، صص ۲۷۹-۲۶۶.

https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.117332

- بالویی، فاطمه؛ سلطانی کوپایی، سعید؛ توکلی، محسن؛ ۱۴۰۰. بررسی کارایی مدلSWAT درشبیه‌سازی رواناب و رطوبت موجود در خاک در حوضه دویرج استان ایلام. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، سال دوازدهم، شماره ۲۳، صص ۱۹۰-۱۸۰.

http://dorl.net/dor/20.1001.1.22516174.1400.12.23.17.2

- حبیبی، علیرضا؛ گودرزی، مسعود؛ ۱۳۹۷. کاربرد مدل نیمه‌توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه حبله‌رود. *انجمن آبخیزداری ایران*، سال ۱۲، شماره ۴۳.

http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1397.12.43.7.0

- دستجردی، فریبا؛ آذرخشی، مریم؛ بشیری، مهدی؛ ۱۳۹۸. مقایسه کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی (AWBM و SIMHYD) و شبکه عصبی (RBF و MLP) در شبیه‌سازی بارش-رواناب. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، شماره ۴۵. https://sid.ir/paper/957503/fa

- زارع گاریزی، آرش و طالبی، علی؛ ۱۳۹۵. شبیه‌سازی بیلان آب حوضه آبریز با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی: حوضه قره سو استان گلستان؛ *نشریه علوم مهندسی منابع آب*، شماره ۵۰، صص ۵۰-۳۷.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1395.9.30.4.9

- زمان‌پور، سجاد؛ شفاعی بجستان، محمود؛ خام‌چین‌مقدم، فرهاد؛ زائری، محمدرضا؛ ۱۳۹۷. بررسی تأثیر حذف پیچانرود بر الگوی جریان و رسوب رودخانه کارون با استفاده از نرم افزار CCHE2D. *مجله مهندسی منابع آب*، شماره ۳۸، صص ۱۰۶-۹۵. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1397.11.38.9.4

- طالبی، علی؛ سرایی، بهناز؛ مزیدی، احمد؛ پرویزی، سارا؛ ۱۳۹۹. اولویت‌بندی حوضه آبخیز سردآبرود از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، شماره ۲۳، صص ۹۸-۸۵.
https://doi.org/10.22111/jneh.2019.29033.1500
- قضاوی، رضا؛ صیاد، دانیال؛ امیدوار، ابراهیم. ۱۳۹۹، بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد دبی‌های روزانهٔ حوضه‌های فاقد آمار با رویکرد منطقه‌بندی در مناطق خشک. *مجله هیدروژئومورفولوژی*، شماره ۲۵، صص ۱۸۲-۱۶۲.
https://doi.org/10.22034/hyd.2021.43934.1568
- کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۹۸. مدل ستازی فرسایش خاک و اولویت بندی تولید رسوب درحوضهٔ سد ستارخان اهر با استفاده از مدل‌های MUSLE و SWAT. *نشریه هیدروژئومورفولوژی*، ۸۸۷- شمارهٔ ۱۸، ص ۸.
https://civilica.com/doc/1592224
- گودرزی، محمدرضا؛ فاتحی‌فر، آتیه؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهرچای). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۵۳.
https://www.doi.org/10.29252/jgs.19.53.99
- گلشن، محمد؛ کاویان، عطاءالله؛ روحانی، حامد؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ ۱۳۹٤. شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ هراز مازندران با بهره‌گیری از الگوی SWAT. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ٤۷، شماره ۲، صص ۲۱۱-۱۹۷.
https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.54459
- محضری، سمانه؛ کیانی، فرشاد؛ عظیمی، مژگان سادات؛ خرمالی، فرهاد؛ ۱۳۹۵. کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب، رسوب و نیترات حوضه آبخیز گرگانرود ایران. *نشریه اکوپرشیا*، دوره ٤، شماره ۲، صص ۱۳۷۷-۱۳۵۹.
https://doi.org/10.18869/modares.Ecopersia.4.2.1359
- موزن زاده، روزبه؛ قهرمان، بیژن؛ ارشد، صالح و داوری، قهرمان؛ ۱۳۹۵. بهبود مدل سازی حوضه آبریز از طریق تجمیع مؤلفه‌های اصلی هیدرولوژیک در مدل SWAT، *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*، سال دوازدهم، شماره ۳، صص ۷۹-٦۵. https://sid.ir/paper/99929/fa
- نیکخو امیری، صدیقه؛ خوش‌روش، مجتبی؛ نوروزی ولاشدی، رضا؛ ۱۳۹۸، شبیه‌سازی سری زمانی جریان در محل خروجی سد شهید رجایی با استفاده از مدل SWAT، *مهندسی آبیاری و آب ایران*، شماره ۱، دوره ۱۰.
https://doi.org/10.22125/iwe.2019.95875

- Arnold, J.G., Sirivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, G.R., 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assesment part I: Model development. Journal Of the American Water Resource Association, 34(1): 73-89. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.
- Abbas pour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J. Zobrist, J. and Srinivasan, R., 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpin/ alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333: 413-430. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.
- Ayele, G.T., Teshale, E.Z., Yu, B., Rutherfurd, I.D., and Jeong, J., 2017. Streamflow and Sediment Yield Prediction for Watershed Prioritization in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. Journal of Water, 3(510), 8-03.soc. 95 (8): 59-13. https://doi.org/10.3390/w9100782.

- Abu-Zreig, M., and Bani Hani, L., 2021. Assessment of the SWAT model in simulating watersheds in arid regions: Case study of the Yarmouk River Basin (Jordan). journal Of Open Geosciences, 13(1). https://doi.org/10.1515/geo-2020-0238.
- Boithias, L., Sauvage, S., Lenica, A., Roux, H., Abbaspour, K.c., Larnier, K., Dartus, D., and Sánchez-Pérez, J.M., 2017. Simulating Flash Floods at Hourly Time-Step Using the SWAT Model, Water, 9(929). https://doi.org/10.3390/w9120929.
- Basu, A.S., Gill, L.W., Pilla, F., and Basu, B., 2021. Assessment of Variations in Runoff Due to Landcover Changes Using the SWAT Model in an Urban River in Dublin, Ireland. Sustainability 2022, 14, 534. https://doi.org/10.3390/su14010534.
- Chen, R.S., Pi, L.C., and Hsieh, C.C., 2007. Application of parameters Optimization Method For Calibration Tank model. Journal Of the American Water Resources Association, 41(2), 389-402. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03743.
- Chen, X., Bing, Ch., and Hongjing, W., 2014. Parameter Uncertainty Analysis of Surface Flow and Sediment Yield in the Huolin Basin, China. Journal of Hydrology Engineering, 19(6), 1224-1236. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000909.
- Chiew, F.H.S., and Siriwardena, L., 2005. Estimation of SIMHYD Parameter Values for Application in Ungauged Catchments, edited, Melbourne, AUSTRALIA. p.pp. 2883-2889. http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/chiew_2.pdf.
- Chiew, F.H.S., Zheng, H., and Potter, N.J., 2018. Rainfall-Runoff Modelling Considerations to Predict Streamflow Characteristics in Ungauged Catchments and under Climate Change. journal of water, 10(10), 1319. https://doi.org/10.3390/w10101319.
- Dallison, R.J.H., Williams, A.P., Harris, I.M., and Patil, S.D., 2022. Modelling the impact of future climate change on streamflow and water quality in Wales, UK. Hydrological Sciences Journal, 67(6): 939–962. https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2044045.
- Escobar, E.C., Clanor, M.D.M., Bondad, R.G.M., Caburnay, J.M., Ventura, J.R.S., Dorado, A.A., Lu, M.M.D. and Glorioso, A.U., 2016. Rainfall-runoff Modeling of the Molawin Watershed of the Makiling Forest Reserve Using Five Lumped Conceptual Models. Philippine e-Journal for Applied Research and Development, 19-31. http://pejard.slu.edu.ph/vol.6/2016.03.31.pdf.
- Farhan, A.A. and Abed, B.Sh., 2021. Estimation of Surface Runoff to Bahr AL-Najaf. Journal of Engineering, 27(9), 51-63. http://dx.doi.org/10.31026/j.eng.2021.09.05.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., and Arnold, J.G., 2007. the Soil and Water Assessment Tools: historical development. application American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN, 50(4): 1211-1250. http://doi.org/10.13031/2013.23637.
- Hongyan, L., Yue, L., Haiqiong, L., Xiaojun, W., Shijie, W., and Ao, W., 2017. Adaptability Analysis of the Application of SIMHYD Model in the Songhua River Basin. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 47(5), 1502-1510. http://dx.doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.201705204.
- Liu, X., Liu, L., Bai, P., Liang, K., and Liu, Ch., 2022. Comparison of flood simulation capabilities of a hydrologic model and a machine learning model. International Journal Of Hydrology, 7738. https://doi.org/10.1002/joc.7738.
- Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. ASABE, 50(3), 885–900. http://doi.org/10.13031/2013.23153.
- Mubialiwo, A., Abebe, A., and Onyutha, Ch., 2021. Performance of rainfall–runoff models in reproducing hydrological extremes: a case of the River Malaba sub-catchment. sn applied sciences a springer nature journal, 3(515). https://doi.org/10.1007/s42452-021-04514-7.

- Neitsch S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W., 2009. Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation – version 2005, Texas. Agricultural Research Service, 494p.
- Peel, M.C., Mcmahon, T.A., Finlayson, B.L., and Watson, F.G.R., 2002. Implicatins of the relationship between catchment vegetation type and the variability of annual runoff. Hydrological processes, 16(15), 2995-3002. http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1084.
- Podger, Geoff., 2003, Rainfall Runoff Library Manual, Version 1.0. CRC for Catchment Hydrology, 90. https://toolkit.ewater.org.au/Tools/RRL/documentation.
- Phiri, W.K., Vanzo, D., Banda, K., Nyirenda, E., and Nyambe, I.A., 2021. A pseudo-reservoir concept in SWAT model for the simulation of an alluvial floodplain in a complex tropical river system. Journal of Hydrology: Regional Studies, 33, 100770. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100770.
- Sufiyan, I., and Magaji, J.I., 2019. Modeling Flood Hazard Using SWAT And 3D Analysis In TERENGGANU Watershed. Journal Clean Was, 2(2):19-24. http://dx.doi.org/10.26480/jcleanwas.02.2018.19.24.
- Shokouhifar, Y., Zarei, H., Akhondali, A. M., & Khoramian, A., 2021. Assessment of effects of changes of land-use on the water balance components using SWAT (Case study: Doroudzan dam basin). Irrigation Sciences and Engineering. https://doi.org/10.22055/jise.2021.36431.1952.
- Silva Dias, R.L., Ferreira, R.G., Castro, J.D.S., Santos, V.J.D., Calijuri, M.L. and Dasilva, D.D., 2021. Performance of hydrological models in fluvial flow simulation. Journal of Ecological Informatics, 66, 101453. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101453.
- Yu, Dan; Xie, Ping; Dong, Xiaohua; et al., 2018. Improvement of the SWAT model for event-based flood simulation on a sub-daily timescale. Hydrology and Earth System Sciences, 22(9), 5001-5019. https://doi.org/10.5194/hess-22-5001-2018.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.47-62 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75257.1175 Open access

# Investigating the Impact of Bridge Structures on the River Floodplain using HEC-RAS and Arc-GIS Software (Case Study: Sarnagh Bridge on the Zola River)

**Hassan Hajihosseinlou[a*], Vahid Aghdam[b], Ebrahim Valizadeghan[c]**

[a] Assistant Professor *in Geology*, Islamic Azad University *Khoy Branch, Khoy, Iran*
[b] *MSc Student in Water Science Engineering*, Islamic Azad University *Khoy Branch, Khoy, Iran*
[c] Assistant professor *in Water Science Engineering*, Islamic Azad University *Khoy Branch, Khoy, Iran*

***Received: 17 February 2022*** ***Revised: 11 June 2022*** ***Accepted: 15 June 2022***

## Abstract

Zola River contains the most important fresh waters of West Azarbaijan province. The water surface of Urmia lake basin flows in this river. Sarnagh bridge is located on this river on the Sarnagh-Salmas road. Destructive flood event with high return time in river banks especially beside urban and rural residents cause many financial damages and life threats. So, exploring the river's hydraulic behavior is essential. This study explored the Zola river bed and realm boundary and its floods bond affected by bridges structure. It studied the Zola River in Sarnagh road bridge position using HEC-RAS model. At first, using river 1:2000 scale topographic maps, ArcGIS software with HEC-Geo RAS extension, and HEC-RAS software, river discharge flow with 2, 5, 10, 25, 50, and 100 return time were analyzed for two scenarios. First scenario simulated the normal flow condition of the river and second one simulated the river flow, considering the effects of cross over structure of the bridge. The flow with 25 year return was used to model the design due to regional circumstances and controlled by 100 year return time flow, evaluating river bed extend before and after bridge structures. The results showed that narrow flow in bridge place causes flow reduction, flow reversal, deposition in upstream, as well as increase in the flow, erosion and foaming in the downstream of the bridge, which necessitates a bed stabilization structure.

**Keywords**: Zola River, HEC-RAS Model, River Stabilization, Bed Consolidation

*.Corresponding author: Hassan Hajihosseinlou Email: hajihosseinlou@iaukhoy.ac.ir Tel:+989144627054

**How to cite this Article:** Haji Hosseinlou, H., Aghdam, V, & Valizadeghan, E. (2024). Investigating the Impact of Bridge Structures on the River Floodplain using HEC-RAS and Arc-GIS Software (Case Study: Sarnagh Bridge on the Zola River). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 47-62.
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.75257.1175**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75257.1175
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۶۲-۴۷**

مقاله پژوهشی

# بررسی تأثیر پل بر روی پهنه سیل‌گیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و Arc-GIS (مطالعه موردی: پل سرنق بر روی رودخانه زولا)

**حسن حاجی حسینلو[1]- استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.**
**وحید اقدام- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.**
**ابراهیم ولیزادگان- گروه مهندسی آب، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۲۵**

**چکیده**

رودخانه زولا مهم‌ترین رودخانهٔ آب شیرین استان آذربایجان غربی است. این رودخانه زهکش آب‌های سطحی حوزهٔ آبریز دریاچه ارومیه است. پل سرنق بر روی این رودخانه در مسیر جاده سرنق- سلماس قرار دارد. وقوع سیل با دوره بازگشت بالا و مخرب در نواحی همجوار رودخانه‌ها بخصوص در مجاورت مناطق مسکونی شهری و روستایی موجب به وجود آمدن خسارات جانی و مالی بسیاری می‌شود. ازاین‌رو بررسی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مطالعه حاضر به بررسی حد بستر رودخانه زولا و پهنه سیل‌گیر آن تحت تأثیر سازه پل پرداخته شد. در این راستا محدوده پل جاده سرنق با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS موردمطالعه قرار گرفت که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ رودخانه زولا و نرم‌افزار ArcGIS و الحاقیه HEC-Geo RAS و نرم‌افزار HEC-RAS تحلیل جریان با لحاظ دبی‌های با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله انجام شد.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۶۲۷۰۵۴ Email: hajihosseinlou@iaukhoy.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

حاجی حسینلو، دکتر حسن، اقدام، وحید، ولیزادگان، ابراهیم؛ ۱۴۰۳. بررسی تأثیر پل بر روی پهنه سیل‌گیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهـای Hec-Ras و Arc-GIS (مطالعه موردی:پل سرنق بر روی رودخانه زولا). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۶۲-۴۷
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75257.1175

بدین منظور دو حالت مد نظر قرار گرفته و بررسی گردید؛ حالت اول مربوط به شبیه‌سازی جریان در حالت طبیعی بوده و در حالت دوم به شبیه‌سازی جریان با وجود پل پرداخته شد. پل‌ها با توجه به شرایط منطقه براساس دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله بررسی و با دبی سیلاب ۱۰۰ ساله کنترل گردید. همچنین ارزیابی حد بستر برای شرایط قبل از احداث پل و شرایط کنونی انجام گرفته است. نتایج نشان داد با کاهش عرض رودخانه از حدود ۲۲۵ متر به ۳۲ متر در اثر احداث پل و کاهش سرعت به $m/s$ ۰/۳۸، پس‌زدگی جریان آب و رسوب‌گذاری در بالادست پل و افزایش سرعت جریان به $s/$ ۵/۱۷ و فرسایش و کف‌کنی رودخانه پائین‌دست پل گردیده است که جهت جلوگیری فرسایش در پائین‌دست پل می‌بایست سازه تثبیت بستر اجرا گردد.

**کلیدواژه‌ها:** رودخانه زولا، ساماندهی رودخانه، تثبیت بستر، مدل HEC-RAS.

**۱- مقدمه**

از میان حوادث طبیعی که امروزه بلایای طبیعی نیز نام گرفته است وقوع سیلاب همواره با جوامع همراه بوده است، زیرا زندگی و آبادانی بدون آب امکان‌پذیر نیست و آب نیز بنابر ماهیت طبیعی خود هرازچندگاه حالت سیلابی به خود می‌گیرد، لکن اثرات زیان‌بار سیلاب‌ها در گذشته هیچ‌گاه با حالت امروزی خود قابل‌سنجش نیست؛ زیرا در گذشته جمعیت کمتری در سیلاب دشت‌های رودخانه‌ها زندگی می‌کردند و فعالیت‌های گسترده انسانی نیز علاوه بر افزایش پتانسیل سیلاب‌ها از طرف دیگر ابعاد اقتصادی خسارات سیل را بسیار بیشتر از سابق نموده است. بشر از زمان‌های دور با سیلاب آشنا بوده، اما اثرات مخرب سیلاب درگذشته به‌مراتب کمتر بوده است که از علل آن کمبود جمعیت و درنتیجه محدود بودن صنایع، زمین‌های کشاورزی و فعالیت‌های بشری در منطقه سیلاب‌دشت، در ادوار گذشته را می‌توان برشمرد. در سال‌های اخیر، رشد شهرهایی که در حاشیه رودخانه‌ها واقع شده یا بستر عبور رودخانه‌ها تلقی می‌گردند، باعث شده تا ساکنین و دارایی‌های موجود در این مناطق در معرض خطر سیلاب قرار گیرند. به عبارتی، ایجاد تغییرات در توازن نسبی بین عواملی همچون دبی جریان، شیب و عرض رودخانه که حاصل هزاران سال فعالیت طبیعی آن است بی‌شک موجب واکنش دینامیکی رودخانه و بروز خسارت به اجتماعات انسانی ساکن در سیلاب‌دشت رودخانه‌ها خواهد شد. رودخانه‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب برای انسان و سایر موجودات زنده به شمار می‌آیند. با نگاهی به موقعیت و ساختار اغلب شهرها نیز می‌توان اذعان کرد، شکل‌گیری آن‌ها در کنار رودخانه‌ها و در مجاورت دره‌ها، به‌منظور بهره‌برداری از آب صورت گرفته است (**روشان و همکاران، ۱۳۹۲**). تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل می‌تواند ابزار ضروری برای کاهش سیلاب و آبخیزداری یکپارچه در حوضه آبریز به شمار آید و تکنیک‌های یادگیری ماشینی، مدل‌های مناسبی شناسایی

مناطق سیل‌خیز هستند (**فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۸**). نرم‌افزار HEC-RAS در پهنه‌بندی سیل مورد تأیید است و همچنین نرم‌افزاری قدرتمندی در پیش‌بینی و هشدار بوده که نتایج پهنه‌بندی آن نیز بسیار نزدیک به واقعیت است (**شفیعی مطلق و عبادتی، ۱۳۹۹**). احداث پل بر روی رودخانه تغییراتی را در رفتار هیدرولیکی رودخانه در بالادست و پائین‌دست سازه مذکور نموده است و تنگ‌شدگی ایجاد شده در رودخانه در اثر احداث پل، موجب کاهش سطح مقطع جریان و افزایش سرعت، عمق هیدرولیکی و تنش برشی و... در آن ناحیه می‌شود (**برهان، ۱۳۹٤**). نتایج ارزیابی احداث پل با نرم‌افزار HEC-RAS نشان می‌دهد که تأثیر پل بر هیدرولیک جریان علاوه بر افزایش ارتفاع سطح آب و خطر آب‌گرفتگی سواحل بالادست و یا افزایش سرعت جریان، فرسایش در پایین‌دست پل‌ها می‌شود (**دلبری و عادل‌پور، ۱۳۹٤**). اطلاع از خصوصیاتی مانند حداکثر دبی سیل برای طراحی سازه‌های آبی، مانند سدها، سرریزها، پل‌ها و زیرگذرها به‌منظور کاهش خسارت‌های احتمالی و همچنین پیش‌بینی زمان رسیدن به دبی اوج در بازه‌های پایین‌دست در بحث هشدار سیل ضروری است (**بهیان مطلق و همکاران، ۱۳۹۷**). صادقی و همکاران به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب در بخشی از حوضه آبخیز شهری تهران از ترکیب مدل‌های GIS و HEC-RAS استفاده کردند و نقشه مناطق سیل‌گیر را به ازای دوره‌های برگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال تهیه کرده و بر کارایی مدل‌های GIS و HEC-RAS تأکید کردند (**صادقی و همکاران، ۱۳۸۲**). **راد و همکاران (۱۳۹۷)** در حوضه آبخیز خرم‌آباد واقع در استان لرستان با معرفی شرایط مرزی جریان، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف، مقاطع عرضی و فاصله آن‌ها و ضریب زبری مانینگ برای هر مقطع به مدل هیدرولیکی HEC-RAS، این مدل را اجرا و نیمرخ سطح آب در دوره‌های برگشت مختلف سیل را به دست آوردند و مشاهده کردند بیشترین سطح درگیر سیل به ترتیب به اراضی زراعی دیم، مراتع، جاده، اراضی مسکونی و زمین‌های رها شده مربوط می‌شود. مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-HMS و هیدرولیکی HEC-RAS در بسیاری از تحقیقات جهت برآورد و پهنه سیلاب استفاده شده است (بالستروس کانواس[1]، ۲۰۱۱). بختیاری و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تأثیر سازه‌های تقاطعی احداث شده بر روی رودخانه باراجین واقع در استان قزوین از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار هیدرولیکی HEC-RAS در استخراج پهنه سیلاب و مدل‌سازی رودخانه استفاده نمودند و نتیجه گرفتند ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار هیدرولیکی HEC-RAS در استخراج پهنه‌بندی سیلاب و مدل‌سازی رودخانه از دقت بالایی برخوردار است. باقری و ترکمان‌زاده (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر سازه‌های احداثی بر پهنه‌بندی سیلاب رودخانه بابلرود مازندران با استفاده از HEC-RAS و Arc Gis پرداختند که در این تحقیق مشخص گردید که وجود پل‌های محمدحسن‌خان، بابلرود، موزیرج و مرزن آباد بر عمق و پهنه سیلاب رودخانه بابلرود مؤثر

1 (**Ballesteros Cánovas**, 2011)

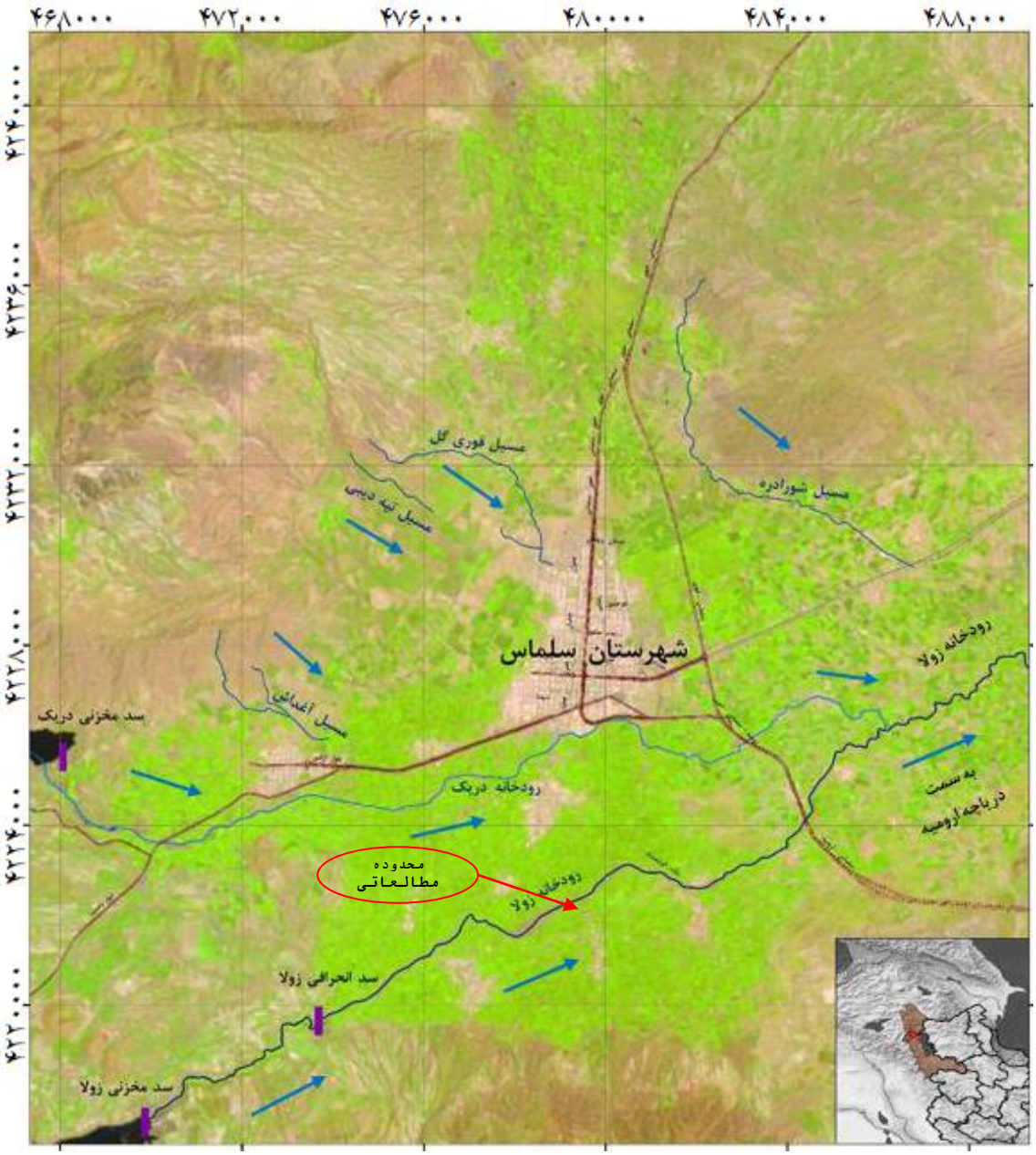
می‌باشند اما تأثیر چشمگیر و مخربی بر سیلاب ندارند و همچنین تحقیق حاضر نشان داد که سامانه اطلاعات جغرافیایی و ارتباط آن با نرم‌افزار HEC-RAS از دقت بالایی در کار مهندسی برخوردار می‌باشند. راندال و ادوارد[1]، ۲۰۰۱ در یک پروژه تحقیقاتی به مقایسه تأثیر پل‌های پایه‌دار با تعداد و قطر پایه متفاوت، بر پدیده پس‌زدگی آب و همچنین عمق جریان سیل پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شکل و تعداد پایه‌ها می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر پدیده پس‌زدگی آب و عمق جریان سیل داشته باشند در همین راستا به تأثیر پل بر رفتار رودخانه پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه موردمطالعه

رودخانه زولا یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. رودخانه زولا پس از عبور از ضلع جنوبی شهرستان سلماس به در شمال‌غربی دریاچه ارومیه به آن تخلیه می‌گردد. این رودخانه از کوه-های مرز ترکیه و ایران از سمت جنوب‌غربی شهرستان سلماس سرچشمه گرفته و پس از طی مسیر حدود ۹۵ کیلومتر و سیراب نمودن بخشی از اراضی کشاورزی دشت شهرستان سلماس، در پائین‌دست روستای کنگرلو به دریاچه ارومیه تخلیه می‌شود. محدوده موردنظر در این تحقیق، بازه‌ای از رودخانه زولا در مجاورت روستای سرنق است؛ شکل (۱). موقعیت پل احداث شده بر روی رودخانه در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه زولا در جدول (۱) ارائه شده است. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی چهریق، سلماس و یالقوزآغاج دامنه تغییرات دما در منطقه بین ٤٢ تا ۲۲- درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین و سردترین مواقع سال است که متوسط درجه حرارت حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر، حداقل و متوسط بارندگی سالانه به ترتیب ۵۳۳.، ۲۲۷/۵ و ۳۷۲/۹ میلیمتر. گزارش شده است. در این تحقیق از داده‌های دبی روزانه و دبی پیک ایستگاه چهریق علیا که دارای آمار کامل و درازمدت (۱۳۹۵-۱۳٦۳) بوده و نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است، استفاده شده و برای محاسبه دبی با دوره برگشت‌های مختلف، توزیع‌های اشاره در جدول (۲) بکار گرفته شده‌اند.

1 (Randall and Edward, 2001)




**شکل ۱- محدوده موردمطالعه.**

**شکل ۲- محل پل سرنق بر روی عکس ماهواره‌ای.**

**جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه زولا در ایستگاه چهریق.**

| پارامتر | مقدار | واحد |
|---|---|---|
| مساحت | ۸۱۹ | کیلومترمربع |
| محیط | ۲۳۲ | کیلومتر |
| عرض مستطیل معادل | ۱۰/۷۳ | کیلومتر |
| طول مستطیل معادل | ۹۱/٤٦ | کیلومتر |
| ارتفاع حداکثر حوضه | ۳۱۳٦ | متر |
| ارتفاع متوسط حوضه | ۲۲۹۱/۸ | متر |
| ارتفاع حداقل حوضه | ۱٤٤٤ | متر |
| شیب متوسط حوضه | ۱۸/٦۷ | درصد |
| طول آبراهه اصلی | ٦٤/٥٦ | کیلومتر |
| شیب متوسط آبراهه اصلی | ۱/٥٥ | درصد |
| ضریب گراولیوس حوضه | ۲/۰۹ | - |
| تراکم آبراهه‌ای | ۰/۰٦٦ | - |
| زمان تمرکز کرپیچ | ۸/۳۸ | |
| زمان تمرکز برانس-بای ویلیامز | ۱۷/۹۸ | ساعت |
| زمان تمرکز کالیفرنیا | ۸/۲۱٤ | |

**جدول ۲- دبی رودخانه زولا با دوره بازگشت ۵ تا ۱۰۰ سال در ایستگاه هیدرومتری چهریق علیا**

| توزیع | دور بازگشت (سال) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۱۰۰ |
| نرمال | ٦۰ | ۹٦/٦ | ۱۱۵/۸ | ۱۳٦/۲ | ۱٤۹/۳ | ۱٦۱/۲ |
| لوگ نرمال دو پارامتری | ٤۸/٦ | ۸٤ | ۱۱۱/۷ | ۱۵۱/٦ | ۱۸٤/۵ | ۲۲۰/۳ |
| لوگ نرمال سه پارامتری | ۵٤/٤ | ۹۳/۳ | ۱۱۷/٤ | ۱٤٦/۵ | ۱٦۷/۳ | ۱۸۷/۵ |
| گاما دو پارامتری | ٤۹/٦ | ۹۰/۷ | ۱۱۹/۱ | ۱۵۵/۵ | ۱۸۲/۵ | ۲۰۹/۳ |
| پیرسون نوع سه | ۵۲/۹ | ۹۲/۷ | ۱۱۸/۱ | ۱٤۸/۹ | ۱۷۰/۹ | ۱۹۲/۳ |
| لوگ پیرسون نوع ۳ | ٤۸/۱ | ۹۲ | ۱۲۳/۷ | ۱٦٤/۵ | ۱۹٤/۵ | ۲۲۳/۹ |
| گامبل نوع یک | ۵۲/۹ | ۹۱/۳ | ۱۱٦/۸ | ۱٤۸/۹ | ۱۷۲/۸ | ۱۹٦/٤ |

### ۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق به‌منظور مشخص نمودن مقدار دبی پیک سیلابی با دور بازگشت‌های مختلف و تعیین بهترین توزیع جهت تعیین دبی سیلاب، براساس آزمون نکویی برازش توزیع‌ها، مشخص شد که توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ دارای توزیع بهتری نسبت به دیگر توزیع‌ها است که برای دبی‌های پیک لحظه‌ای با دور بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ مطابق جدول (۲) محاسبه گردیده است. همچنین برای محاسبه ضریب زبری از روش کوان (۱۹۵٦) استفاده گردید. در ادامه برای شبیه‌سازی جریان رودخانه فایل اتوکد نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ رودخانه زولا را وارد نرم‌افزار ArcGIS نموده و سپس آن را به لایه TIN تبدیل نمودیم. با استفاده از الحاقیه Hec-GeoRas هندسه (Geometry) رودخانه را ترسیم و وارد نرم‌افزار HEC-RAS کردیم. برای این کار ابتدا پس از تعریف یک پروژه جدید در نرم‌افزار HEC-RAS اطلاعات مربوط به هندسه رودخانه وارد قسمتGeometric Data شد. سپس اطلاعات مربوط به جریان رودخانه، وارد قسمت Steady Flow Data گردید. مدل را از منوی Steady Flow Analysis به‌صورت Mixed به دو حالت مختلف بدون سازه (حالت طبیعی) و با وجود پل (شرایط موجود) اجرا نمودیم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی را مجدداً وارد نرم‌افزار ArcGIS نموده با استفاده از الحاقیه Hec-GeoRas پهنه سیل‌گیر و حد بستر رودخانه بر روی لایه TIN و نقشه توپوگرافی محدوده برای هر دو حالت جانمایی کردیم و درنهایت به بحث و بررسی پرداختیم.

## ۳- بحث و نتایج

### ۳-۱- شبیه‌سازی جریان در حالت طبیعی (بدون وجود پل)

در شبیه‌سازی جریان در حالت طبیعی ابتدا می‌بایست تأثیرات دخالت انسان در رودخانه را حذف نمود. به همین منظور مقاطع عرضی جهت حذف پل و تأثیر آثار آن در شبیه‌سازی رودخانه با شرایط قبل از احداث پل اصلاح گردید. تا به شرایط طبیعی رودخانه نزدیک باشد. این اصلاحات به‌صورت کیفی و براساس بازدیدها و بررسی‌های میدانی همراه با قضاوت کارشناسی صورت پذیرفته است. با توجه به استانداردهای مهندسی رودخانه مطابق نشریه ۳۱٦ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مبنای طراحی طرح‌های ساماندهی رودخانه‌ها با دبی دور بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال و طرح‌های تثبیت بستر و سواحل دبی با دور بازگشت ۲۵ تا ۱۰۰ ساله قرار داده شده است و همچنین مطابق آیین‌نامه مربوط تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها دبی سیلابی با دور بازگشت ۲۵ سال ملاک عمل در شرایط طبیعی رودخانه است که در این تحقیق جهت ارزیابی حد بستر دبی با دور بازگشت ۲۵ سال (۱٦٤/٥ مترمکعب بر ثانیه) مبنا قرار داده شده و همچنین با توجه اینکه در طراحی پل می‌بایست دبی با دور بازگشت ۱۰۰ ساله ملاک عمل قرار گیرد که در این تحقیق جهت میزان آبگذری پل از دبی با دور بازگشت ۱۰۰ سال (۲۲۳/۹ مترمکعب بر ثانیه) استفاده شده است. برای شبیه‌سازی جریان رودخانه نرم‌افزار HEC-RAS، واردکردن ضریب زبری مانینگ رودخانه الزامی است که میزان ضریب زبری برای بستر فعال برابر ۰/۰۳۵ و برای سیلاب دشت‌های چپ و راست ۰/۰٤ و شیب بازه موردمطالعه ۱ درصد به دست آمد که در برنامه HEC-RAS وارد گردید. پس از شبیه‌سازی جریان در این حالت مشخصات هیدرولیکی مقاطع بالادست و پائین‌دست محل پل در رودخانه به دست آمده از برنامه HEC-RAS در جدول (۳) آورده شده است. پس از شبیه‌سازی جریان و انتقال اطلاعات از HEC-RAS به ArcGIS حد بستر رودخانه به ازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله در این بازه مشخص شد و پهنه سیلابی آن بر روی تصویر ماهواره‌ای در شکل (۳) را نشان داده شده است و در شکل (٤) مقاطع عرضی رودخانه زولا در شرایط طبیعی محل احداث پل در HEC-RAS را نشان می‌دهد و مطابق عکس هوایی سال ۱۳٤٦ عرض بستر رودخانه در محل احداث پل حدود ۲۲۵ متر می‌باشد که در اثر احداث پل به ۳۲ متر تقلیل یافته است.

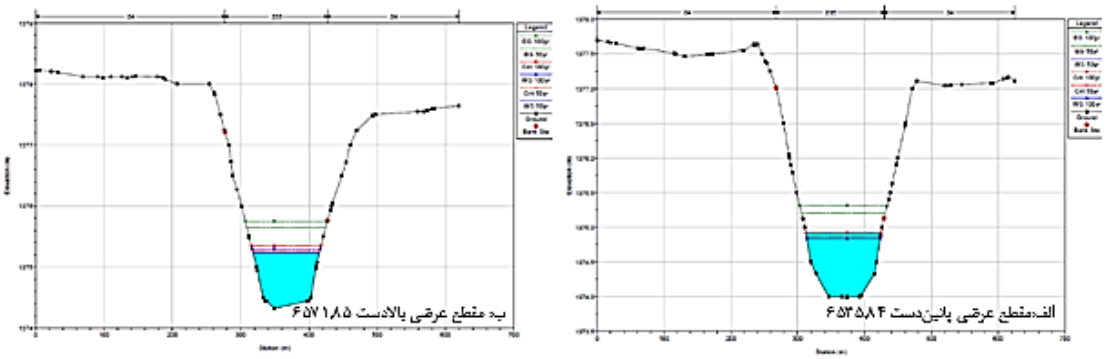
**جدول ۳- مشخصات هیدرولیکی رودخانه زولا در شرایط طبیعی با دبی دور بازگشت ۲۵ ساله**

| شماره مقطع | Min Ch El(m) | W.S. Elev(m) | E.G. Elev(m) | E.G. Slope(m/m) | Vel Chnl(m/s) | Flow Area ($m^2$) | Top Width(m) | عدد فرود |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۷۰۷۰/۱۶ | ۱۳۷۸ | ۱۳۷۹/۰۹ | ۱۳۷۹/۲۰ | ۰/۰۰۵ | ۱/۴۳ | ۱۱۶/۶۳ | ۲۰۸/۶۴ | ۰/۵۸ |
| ۶۸۱۳/۴۲ | ۱۳۷۶/۵ | ۱۳۷۷/۶۸ | ۱۳۷۷/۸۴ | ۰/۰۰۶ | ۱/۸۱ | ۹۱/۰۳ | ۱۱۸/۴۶ | ۰/۶۶ |
| ۶۶۱۰/۳۵ | ۱۳۷۴/۸۷ | ۱۳۷۵/۷۶ | ۱۳۷۶/۰۹ | ۰/۰۱۴ | ۲/۵۵ | ۶۴/۴۹ | ۹۹/۴۲ | ۱/۰۱ |
| ۶۵۷۱/۸۵ بالادست پل | ۱۳۷۴/۳۲ | ۱۳۷۵/۱۵ | ۱۳۷۵/۵۲ | ۰/۰۱۶ | ۲/۶۹ | ۶۱/۰۶ | ۹۳/۷۵ | ۱/۰۷ |
| ۶۵۳۵/۸۴ پائین‌دست پل | ۱۳۷۳/۹۸ | ۱۳۷۴/۸۷ | ۱۳۷۵/۱۰ | ۰/۰۱ | ۲/۱۴ | ۷۶/۹۷ | ۱۱۱/۱۹ | ۰/۸۲ |
| ۶۵۱۳/۰۰ | ۱۳۷۳/۸۳ | ۱۳۷۴/۵۵ | ۱۳۷۴/۸۴ | ۰/۰۱۵ | ۲/۳۷ | ۶۹/۵۴ | ۱۲۳/۷۱ | ۱/۰۱ |
| ۶۲۰۱/۹۵ | ۱۳۷۰/۹۴ | ۱۳۷۱/۸۷ | ۱۳۷۲/۰۱ | ۰/۰۰۵ | ۱/۶۵ | ۹۹/۴۴ | ۱۳۶/۴۸ | ۰/۶۳ |
| ۶۰۱۲/۳۴ | ۱۳۶۹/۵ | ۱۳۷۰/۱۷ | ۱۳۷۰/۴۸ | ۰/۰۱۴ | ۲/۴۶ | ۶۶/۸۲ | ۱۰۹/۳۰ | ۱/۰۱ |

**شکل ۳- پهنه‌بندی بستر هیدرولیکی بدون پل و شرایط طبیعی رودخانه بر روی عکس ماهواره‌ای**

**جدول ٤- ابعاد هندسی پل سرنق**

| ردیف | نام پل | تعداد دهانه | عرض دهانه (متر) | ارتفاع پل (متر) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | پل جاده سرنق جاده | ٤ | ۸ | ۳ |




**شکل ٤- مقطع عرضی محل پل سرنق**

### ۳-۲- شبیه‌سازی جریان با وجود پل

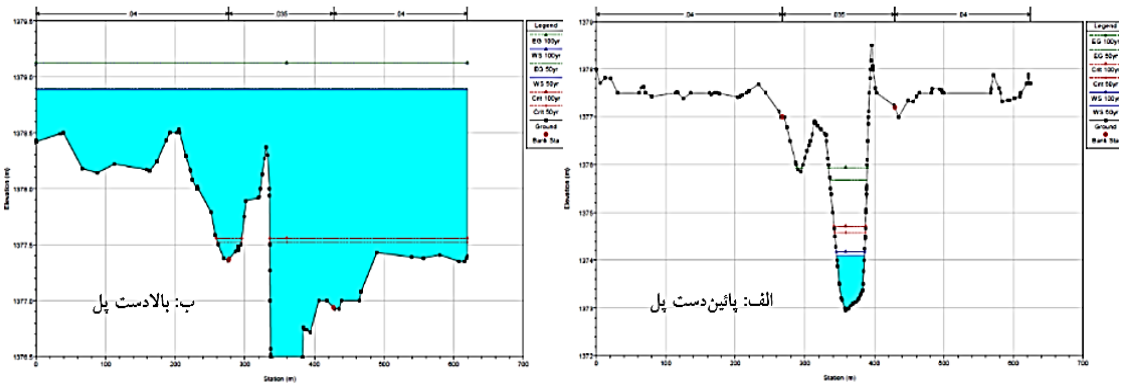
در این حالت شبیه‌سازی، بر خلاف حالت طبیعی رودخانه، تمامی دخالت‌های انسانی در رودخانه لحاظ می‌گردد. دلیل این شبیه‌سازی بررسی وضعیت موجود رودخانه و تأثیر پل بر روی عرض بستر رودخانه در محدوده موردمطالعه است.

شکل (۵) پهنه سیلابی رودخانه بر روی تصویر ماهواره‌ای برای این حالت را نمایش می‌دهد. در این حالت سیلاب ۲۵ ساله با دبی عبوری ١٦٤/٥ مترمکعب در ثانیه و شیب ۱ درصد موردبررسی قرار گرفته است و پل مطابق جدول (٤) بر روی رودخانه احداث گردیده است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود پل ساخته شده بر روی رودخانه همراه با تنگ‌شدگی عرض بستر در محل پل موجب افزایش عمق آب، عرض بستر و کاهش سرعت جریان آب در بالادست پل شده است و همچنین موجب کاهش سطح مقطع جریان و افزایش سرعت آب و انرژی پتانسیل جریان و فرسایش آب شستگی در پائین‌دست پل می‌شود؛ که تأثیر خود را در ناحیه پل و پایین‌دست آن می‌گذارد. در شکل (٦) مقاطع عرضی در بالادست و پائین‌دست پل‌ها در HEC-RAS نشان می‌دهد پس‌زدگی آب در بالادست پل موجب افزایش تراز جریان و رسوبگذاری می‌شود و در محل پایین‌دست پل فرسایش کف و آبشستگی را نشان می‌دهد. هر چه از سمت بالادست پل به سمت پل حرکت می‌کنیم شاهد افزایش عمق جریان آب و فرسایش و آبشستگی در پائین‌دست پل هستیم. دلیل اصلی این امر کاهش مقطع جریان در محل پل و افزایش سرعت جریان آب در ناحیه پائین‌دست پل است. جدول (۵) مشخصات هیدرولیکی رودخانه در این حالت را نشان می‌دهد و همچنین ارتباط با میزان آبگذری پل، مطابق مدل هیدرولیکی پل موجود توان آبگذری دبی سیلابی با دور بازگشت ۱۰۰ ساله را دارد که در آن به‌صورت مقطع پر عمل می‌نماید و در دبی بالاتر جریان آب از روی آن سرریز خواهد نمود.

**شکل ۵- پهنه‌بندی بستر هیدرولیکی بر روی عکس ماهواره‌ای بعد از احداث پل**

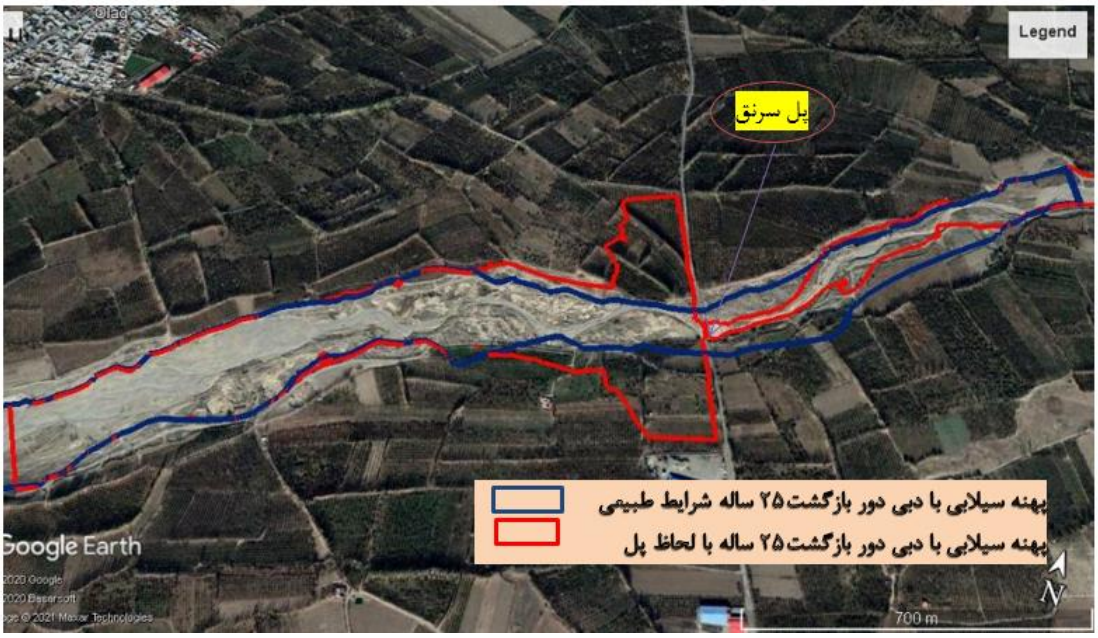
## ٤- نتیجه‌گیری

شکل (۷) تأثیر پل بر روی رودخانه و تغییرات حد بستر هیدرولیکی و پهنه سیلابی با دبی دور بازگشت ۲۵ ساله را نشان می‌دهد و شکل (۸) نمای ظاهری پل را نشان می‌دهد. تغییرات بستر رودخانه در محل پل به شرح جدول (٦) می‌باشد و در جدول (۷) مقایسه پارامترهای مهم هیدرولیکی رودخانه در شرایط طبیعی رودخانه و نیز رفتار رودخانه بعد از احداث پل آورده شده است. همچنین در مقایسه عکس هوایی سال ۱۳٤٦ شکل (۹) با نتایج مدل هیدرولیکی قبل از احداث پل نشان می‌دهد که رودخانه توان آبگذری دبی‌های با دور برگشت‌های بیش از ۲۵ ساله را داشته که در اثر احداث پل در جریان‌های سیلابی با دور بازگشت بیش از ۵ ساله موجب پس‌زدگی و آبگرفتی اراضی بالادست می‌شود.




**شکل ٦- مقاطع عرضی بعد از تأثیر پل**

تنگ‌شدگی مقطع در پل موجب رسوبگذاری و عریض شدن حد بستر و در دبی‌ها بیش از ۹۰ مترمکعب در ثانیه موجب آبگرفتگی اراضی مجاور بالادست پل می‌شود. همچنین افزایش سرعت زیاد جریان آب در پائین‌دست موجب فرسایش و کف کنی رودخانه می‌شود که مطابق مدل هیدرولیکی و براساس مشاهدات و بازدیدهای میدانی صورت گرفته؛ رادیه پل جاده سرنق در معرض خطر آبشستگی قرار دارد که می‌بایست تمهیدات مناسب جهت رفع آن صورت پذیرد. در این راستا می‌توان به اجرای عملیات ساماندهی رودخانه و ایجاد سازه تثبیت در پائین‌دست پل اشاره نمود.




**شکل ۷- پهنه‌بندی بستر هیدرولیکی بر روی عکس ماهواره‌ای**

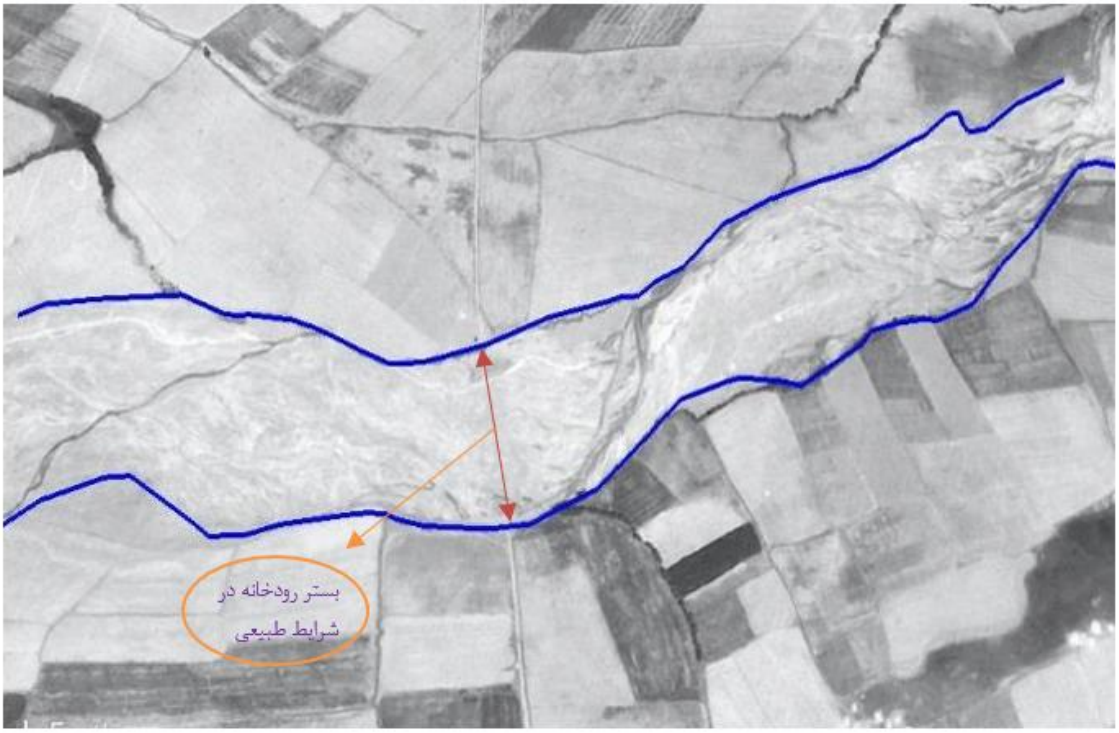
**جدول ۵- مشخصات هیدرولیکی رودخانه زولا در شرایط موجود با دبی دور بازگشت ۲۵ ساله**

| شماره مقطع | Min Ch El(m) | W.S .Elev(m) | E.G. Elev(m) | E.G. Slope(m/m) | Vel Chnl(m/s) | Flow Area(m2) | Top Width(m) | عدد فرود |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۷۰۷۰/۱۶ | ۱۳۷۸ | ۱۳۷۹/۰۲ | ۱۳۷۹/۲۳ | ۰/۰۱۶ | ۲/۰۶ | ۸۰/۹۶ | ۲۰۳/۹۹ | ۱/۰۱ |
| ۶۸۱۳/۴۲ | ۱۳۷۷ | ۱۳۷۸/۶۵ | ۱۳۷۸/۶۹ | ۰/۰۰۱ | ۰/۸۷ | ۲۰۴/۶۶ | ۱۹۹/۰۴ | ۰/۲۵ |
| ۶۶۱۰/۳۵ | ۱۳۷۶/۵ | ۱۳۷۸/۶۴ | ۱۳۷۸/۶۵ | ۰/۰۰۰ | ۰/۳۵ | ۶۵۳/۴۱ | ۶۱۳/۹۹ | ۰/۰۸ |
| ۶۵۷۱/۸۵ بالادست پل | ۱۳۷۶/۵ | ۱۳۷۸/۶۴ | ۱۳۷۸/۶۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۳۴ | ۶۱۱/۹۶ | ۶۱۹/۵۸ | ۰/۰۹ |
| Bridge ۶۵۵۰/۶۳ | | | | | | | | |
| ۶۵۳۵/۸۴ پائین‌دست پل | ۱۳۷۲/۹۵ | ۱۳۷۴/۰۲ | ۱۳۷۵/۳۹ | ۰/۰۴۳ | ۵/۱۷ | ۳۱/۸۱ | ۳۹/۳۳ | ۱/۸۴ |
| ۶۵۱۳/۰۰ | ۱۳۶۹/۴۴ | ۱۳۷۱/۱۱ | ۱۳۷۳/۹۰ | ۰/۰۸۲ | ۷/۴۰ | ۲۲/۲۳ | ۲۵/۵۳ | ۲/۵۳ |
| ۶۲۰۱/۹۵ | ۱۳۶۹ | ۱۳۷۲/۰۵ | ۱۳۷۲/۲۰ | ۰/۰۰۲ | ۱/۷۲ | ۹۵/۸۶ | ۷۰/۳۶ | ۰/۴۷ |
| ۶۰۱۲/۳۴ | ۱۳۶۸ | ۱۳۷۱/۲۱ | ۱۳۷۱/۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۲/۲۹ | ۷۱/۶۸ | ۷۰/۷۳ | ۰/۷۳ |

**جدول ٦- میزان تنگ‌شدگی رودخانه زولا بعد از احداث پل**

| نام سازه تقاطعی | عرض بستر طبیعی رودخانه (متر) | میزان تنگ‌شدگی در اثر احداث پل (متر) |
|---|---|---|
| پل جاده سرنق | ۲۲۵ | ۳۲ |

**شکل ۸- تصاویر پل سرنق.**




**شکل ۹- عکس هوایی سال ١٣٤٦ در محدوده پل سرنق.**

**جدول ۷- مقایسه پارامترهای مهم هیدرولیکی با لحاظ پل و حالت طبیعی رودخانه**

| شماره مقطع | W.S. Elev (m) | | Vel Chnl (m/s) | | Top Width (m) | | عدد فرود | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | حالت اول | حالت دوم | حالت اول | حالت دوم | حالت اول | حالت دوم | حالت اول | حالت دوم |
| ۷۰۷۰/۱۶ | ۱۳۷۹/۰۹ | ۱۳۷۹/۰۲ | ۱/۴۳ | ۲/۰۶ | ۲۰۸/۶۴ | ۲۰۳/۹۹ | ۰/۵۸ | ۱/۰۱ |
| ۶۸۱۳/۴۲ | ۱۳۷۷/۶۸ | ۱۳۷۸/۶۵ | ۱/۸۱ | ۰/۸۷ | ۱۱۸/۴۶ | ۱۹۹/۰۴ | ۰/۶۶ | ۰/۲۵ |
| ۶۶۱۰/۳۵ | ۱۳۷۵/۷۶ | ۱۳۷۸/۶۴ | ۲/۵۵ | ۰/۳۵ | ۹۹/۴۲ | ۶۱۳/۹۹ | ۱/۰۱ | ۰/۰۸ |
| ۶۵۷۱/۸۵ | ۱۳۷۵/۱۵ | ۱۳۷۸/۶۴ | ۲/۶۹ | ۰/۳۴ | ۹۳/۷۵ | ۶۱۹/۵۸ | ۱/۰۷ | ۰/۰۹ |
| ۶۵۳۵/۸۴ | ۱۳۷۴/۸۷ | ۱۳۷۴/۰۲ | ۲/۱۴ | ۵/۱۷ | ۱۱۱/۱۹ | ۳۹/۳۳ | ۰/۸۲ | ۱/۸۴ |
| ۶۵۱۳/۰۰ | ۱۳۷۴/۵۵ | ۱۳۷۱/۱۱ | ۲/۳۷ | ۷/۴۰ | ۱۲۳/۷۱ | ۲۵/۵۳ | ۱/۰۱ | ۲/۵۳ |
| ۶۲۰۱/۹۵ | ۱۳۷۱/۸۷ | ۱۳۷۲/۰۵ | ۱/۶۵ | ۱/۷۲ | ۱۳۶/۴۸ | ۷۰/۳۶ | ۰/۶۳ | ۰/۴۷ |
| ۶۰۱۲/۳۴ | ۱۳۷۰/۱۷ | ۱۳۷۱/۲۱ | ۲/۴۶ | ۲/۲۹ | ۱۰۹/۳۰ | ۷۰/۷۳ | ۱/۰۱ | ۰/۷۳ |

## کتابنامه


- روشان، حسین؛ وهاب‌زاده، قربان؛ سلیمانی، کریم؛ فرهادی، رسول؛ ١٣٩٢. شبیه سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: رودخانه بشار، استان کهگیلویه و بویراحمد). *دو فصلنامه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، دوره ٤، شماره ٧. ٨٤-٧٠.

http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-237-fa.html

- راد، مژگان؛ وفاخواه، مهدی؛ غلامعلی‌فرد، مهدی؛ ١٣٩٧. پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین‌دست حوزه آبخیز خرم آباد. *نشریه مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ٧، شماره ١٦، ٢٢٦-٢١١.

https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3343

- فرامرزی، حسن؛ حسینی، سید محسن؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ فرنقی، مهدی؛ ١٣٩٨. ارزیابی و پهنه بندی وقوع مخاطرهٔ سیلاب در پارک ملی گلستان. *فصلنامه اکولوژی*، دوره ٦، شماره ٤، ١٠٦٨-١٠٥٥.

https://doi.org/10.22059/ije.2019.285430.1163

- شفیعی مطلق، خسرو؛ عبادتی، ناصر؛ ١٣٩٩. پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ مارون - جنوب غرب ایران). *فصلنامه اکولوژی*، دوره ٧، شماره ٢، ٤٠٩-٣٩٧. https://doi.org/10.22059/ije.2020.298473.1293

- برهان، جلال؛ ١٣٩٤. *ارزیابی میدانی و عددی اثرات سازه پل بر روی رفتار هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: پل رودخانه چالسبار)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

- دلبری، افشین؛ عادل‌پور عبدالعلی؛ ١٣٩٤. ارزیابی و مقایسه تأثیر عملکرد هیدورلیکی پل‌های رودخانه خشک شیراز با استفاده از مدل HEC – RAS. دهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.

https://civilica.com/doc/677279

- بهیان مطلق، سودابه؛ پژوهش، مهدی؛ هنربخش، افشین؛ صالحی هفشجانی، نگار؛ ١٣٩٧. سنجش عملکرد مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای حوزه‌های نیمه‌توزیعی و یکپارچه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوه‌سوخته). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. دوره ٩ ، شماره ١٧، ٤٨-٣٩.

http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.9.17.39

- صادقی، سید حمیدرضا؛ جلالی راد، رامین؛ محمدی سراب، عباس علی؛ ١٣٨٢. پهنه‌بندی سیل با استفاده از نرم‌افزار EC-RAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری دارآباد تهران)، *پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر*، سال دوم، شماره ١، ٤٦-٣٤.

https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3343

- بختیاری، مرتضی؛ کاشفی پور، سیدمحمود؛ اصغری، پری سید امین؛ ١٣٩١. بررسی تاثیرسازه‌های عرضی بر روی پهنه سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS. *مجله علوم مهندسی و آبیاری*، دوره ٣٥، شماره ٣، ٤٦-٣٧.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1391.35.3.5.3

- باقری، علی؛ ترکمان زاده، محمد هادی؛ ١٣٩٧. بررسی اثر سازه‌های احداثی بر پهنه سیلاب رودخانه با استفاده از نرم افزارهای HEC-RAS و ArcGIS مطالعه موردی: رودخانه بابلرود، مازندران. دوره ٦، شماره ٤، ٢٥٦-٢٤٩.

https://journals.iau.ir/article_666896.html

- شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان‌غربی؛ ۱۳۹۸. " گزارش مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی و هیدولوژی رودخانه زولا" شرکت مهندسین آبگستران میهن وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، *نشریه ۳۳۱ راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها.*

- Ballesteros Cánovas, J.A, Eguibar M, Bodoque JM, Stoffel M., 2011. Estimating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models and dendrogeomorphic palaeostage indicators. Hydrological processes, 25: 970-979. http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7888.
- Randall, J.C., and Edward, R.H., 2001. Backwater effect of bridge piers in sub-critical flow. Center for Transportation Research, the University of Texas at Austin. Project summary report; 1805-S, 4p. http://dx.doi.org/10.22587/ajbas.2019.13.1.15.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.63-86 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.76633.1222 Open access

# Identifying and Measuring the Importance of Spatial Policy Indicators for Rural Flood Risk Management

**Seyyed Mohammad Mousavi Parsaei[a*] , Morteza Tavakoli[b], Mehdi Pourtahari[c]**

[a] *PhD Candidate in Geography and Rural Planning, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor, Department of Geography and Rural Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*
[c] *Professor, Department of Geography and Rural Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

***Received: 7 June 2022*** ***Revised: 1 September 2022*** ***Accepted: 5 September 2022***

## Abstract

Spatial policy regarding flood risk management is a series of actions that aims at achieving a logical solution for reducing the damages caused by floods and reducing the spread of floods. Spatial policies for flood risk management in villages are at the intersection of many management considerations, and thus, when formulating spatial policies for flood risk management, several indicators including environmental, economic, social-cultural, managerial-institutional and physical indicators should be considered. In this regard, this research examined the importance of each of the indicators in formulating the spatial policy of flood risk management in villages. According to the purpose of the research, which is identifying the importance of indicators in spatial policy making, the statistical population of the research consisted of experts, including academic faculty members specializing in this field, graduates and doctoral students defending their theses on the issues, and the people in charge. For this purpose, 70 participants were selected. From their point of view, the relevant questionnaire has a good level of validity and reliability with Cronbach's alpha coefficient of 0.97, which shows a very good level, considering the type of indicators and the number of samples. ANOVA, statistical tests, and Duncan's post hoc statistical test were used. The results indicated that the environmental index has the least importance with the value of 2.9484 in spectrum one along with the economic index with the value 1056/3. Social-cultural indicators with a value of 3.2381 and managerial-institutional indicators with a value of 3.3105 are close. The two indicators (social-cultural and managerial-institutional), due to their closeness to the significance of physical index (land use), were placed in the third spectrum. The only index that was separately placed in one spectrum and group is the physical index (land use). This indicator with the value of 3.4186 is in the third group and has the largest sub-set, which shows the greater importance of this index on spatial policy of flood risk management in villages.

**Keywords:** Indicators, Policy Making, Space, Risk Management, Flood, Village

[*]. Corresponding author: S. M. Mousavi Parsaei Email: mohammad_musavi33@yahoo.com Tel:+989122782692

**How to cite this Article:** Mousavi parsaie, S. M., tavakoli, M., & Pourtaheri, M. (2024). Identify and assess the importance of spatial policy indicators of rural flood risk management. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 63-86.
**DOI:10.22067/geoeh.2022.76633.1222**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76633.1222
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۸۶-۶۳**

مقاله پژوهشی

# شناسایی و سنجش اهمیت شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی

**سیدمحمد موسوی‌پارسایی[1]- دانشجوی دکتری، جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه تربیت مدرس ، تهران،ایران**
**مرتضی توکلی- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تربیت مدرس ، تهران،ایران**
**مهدی پورطاهری- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تربیت مدرس ، تهران،ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۴**

**چکیده**

سیاست‌گذاری فضایی در خصوص مدیریت ریسک سیلاب به یک سری اعمالی گفته می‌شود که برای دستیابی به یک راه‌حل منطقی در کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب همچنین کاستن از گسترش سیلاب است. سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستاها در تقاطع بسیاری از ملاحظات مدیریتی قرار دارد و به همین هنگام تدوین سیاست‌های فضایی مدیریت ریسک سیلاب باید به شاخص‌های متعدد اعم از محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی – فرهنگی، مدیریتی – نهادی و کالبدی (کاربری اراضی) که هر یک دارای تعداد زیادی گویه می‌باشند توجه نمود در همین راستا پژوهش حاضر به بررسی اهمیت هریک از این شاخص‌های پنج‌گانه در تدوین سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب در روستاها پرداخته است. با توجه به نوع هدف پژوهش که مقوله اهمیت شاخص‌ها در سیاست‌گذاری فضایی است، جامعه آماری پژوهش را متخصصین امر اعم از اعضا هیئت‌علمی متخصص در این راستا فارغ‌التحصیلان و دانشجویان دکتری با عنوان رساله مرتبط و مسئولین امر می‌باشند به

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۷۸۲۶۹۲ Email: mohammad_musavi33@yahoo.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

موسوی پارسایی، سید محمد، توکلی، مرتضی، پورطاهری، مهدی. (۱۴۰۳). شناسایی و سنجش اهمیت شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۸۶-۶۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76633.1222

همین منظور تعداد ۷۰ نمونه انتخاب شده است. پرسشنامه مرتبط از منظر آن‌ها دارای سطح روایی مطلوب و میزان پایایی با مقدار ضریب آلفای کرون‌باخ ۰/۹۷ است که سطح بسیار مطلوبی را نشان می‌دهد با توجه به نوع شاخص‌ها و تعداد نمونه سعی بر آن گردید تا از طریق آزمون‌های آماری آنوا[1] و جهت تکمیل عملکرد آن از آزمون آماری تعقیبی دانکن[2] استفاده شده است که نتایج این بررسی حاکی از آن است که شاخص محیط‌زیستی کمترین میزان اهمیت را با مقدار ۲/۹٤۸٤ در طیف یک به همراه شاخص اقتصادی با مقدار ۳/۱۰٥٦ قرار گرفته است. شاخص‌های اجتماعی – فرهنگی با مقدار ۳/۲۳۸۱ و مدیریتی – نهادی با مقدار ۳/۳۱۰۵ هم سایه در طیف دو شده‌اند و این دو شاخص (اجتماعی – فرهنگی و مدیریتی – نهادی) و تنها شاخصی که به‌صورت مجزا در طیف آخر قرار گرفته و در طیف‌های ماقبل جایگاهی ندارد شاخص کالبدی (کاربری اراضی) است که تنها با مقدار ۳/٤۱۸٦ در گروه سوم قرار گرفته است و بیشترین زیرمجموعه را به خود اختصاص داده است که این امر نشان از اهمیت بیشتر این شاخص در بحث سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستاها بوده است.

**کلیدواژه‌ها**: شاخص‌ها، سیاست‌گذاری، فضایی، مدیریت ریسک، سیلاب، روستا

**مقدمه**

سیاست‌گذاری فضایی در خصوص مدیریت ریسک سیلاب به یک سری اعمالی گفته می‌شود که برای دستیابی به یک راه‌حل منطقی در کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب همچنین کاستن از گسترش سیلاب است (سین‌ها و همکاران[3]،۲۰۲۰). تأثیر سیلاب‌های ویرانگر بر زندگی و معیشت جهانی در حال رشد است. سیلاب در مقیاس بزرگ باعث خسارت ۱۰٤ میلیارد دلار آمریکا، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در سطح جهانی شد (دفتر کاهش خطر بلایای سازمان ملل متحد[4]، ۲۰۱۵). با تغییر اوضاع آب‌وهوا، افزایش جمعیت، با افزایش تقاضا برای مسکن و زیرساخت‌ها رو به رشد هستند، اکنون بیش از هر زمان دیگری، جامعه باید مدیریت خطر سیلاب خود را مدیریت کرده و با تغییرات آب‌وهوا سازگار شود. به همین دلیل، دستیابی به یک سیاست‌گذاری جامع فضایی و منطقی در مدیریت ریسک سیلاب به روشی که کارآمد و پایدار باشد، در تحقیقات، سیاست‌ها و عمل، نیاز دارد (برنامه مرتبط در مدیریت سیل[5]،۲۰۱۷). سیاست‌گذاری فضایی

1 ANOVA
2 Duncan
3 Sinha et al.
4 International Strategy for Disaster Reduction
5 Associated Programme on Flood Management

مدیریت ریسک سیلاب به‌عنوان تجزیه‌وتحلیل مداوم و ارزیابی ریسک سیلاب برای تولید دانش، تدوین برنامه‌ها و اجرای مداخلات برای مدیریت خطر سیلاب تعریف شده است (ساموئل و گلدبی[1]،۲۰۰۸). علاوه بر این، سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب باید از جامعه حمایت کند تا توسعه پایدار داشته باشد تا از تأثیرات منفی سیلاب بر روی مردم، اقتصاد و محیط‌زیست بکاهد (بروجین و همکاران[2]،۲۰۰۸). سازمان هواشناسی جهانی (WMO) هدف از سیاست‌گذاری در مدیریت ریسک سیلاب را به‌عنوان به حداقل رساندن تلفات زندگی در اثر جاری شدن سیلاب و همچنین به حداکثر رساندن منافع خالص از استفاده از سیلاب‌ها، به رسمیت شناختن سیستم پویای کل حوضه رودخانه، تعامل با مدیریت زمین و آب تعریف می‌کند (سازمان جهانی هواشناسی[3]،۲۰۰۹). سرمایه‌گذاری‌های کلان در سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب می‌توانند به یکپارچه و گسترده‌تر شدن توسعه پایدار کمک کنند.

از دیدگاه توسعه اقتصادی، سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیرساختی در برابر سیلاب در مقیاس بزرگ می‌تواند خطر را در مناطق بسیار مولد کاهش دهد و رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری را قادر سازد (تانر و رنستچلر[4]،۲۰۱۵). مقیاس را به‌عنوان "ابعاد فضایی، مکانی، زمانی، کمّی یا تحلیلی که برای اندازه‌گیری یا مطالعه هر پدیده مورداستفاده قرار می‌گیرد" تعریف می‌کنند و سطح را به‌عنوان "واحدهای تحلیل که در مقیاس‌های مختلف در موقعیت‌های مختلف قرار دارند" تعریف می‌کنند. مقیاس‌های مکانی و زمانی رایج‌ترین مقیاس موردتوجه هستند، بااین‌حال مقیاس‌های فضایی، نهادی، شبکه‌ای، مدیریتی و دانش بیشتر به رسمیت شناخته شده‌اند و مورداستفاده پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار می‌گیرد. (کاش و همکاران[5]،۲۰۰٦). علاوه بر این، بازیگران مختلف بر اساس علایق و اهداف خود سطوح و مقیاس‌های مختلف را ترجیح می‌دهند (دور و لبل[6]،۲۰۱۰). با درک این‌که این مرزها همیشه با وجود اشکال مختلف وجود خواهد داشت، لزوم تلاش و رویکردهای ادغام برای همکاری مشترک در سراسر آن‌ها را برانگیخته است (موسترت و همکاران[7]،۲۰۰۸). مقیاس‌های موضوعات حاکمیتی باید در جایی که لازم به تعامل بین مقیاس باشد، با موضوع محیط‌زیست سازگار باشد (یانگ[8]،۲۰۰٦).

علاوه بر این، ادغام اغلب در بازه‌های زمانی مختلف فعالیت در داخل یا بین سازمان‌ها مورد نیاز است. برای سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب، بسیاری از سازمان‌ها نقش‌های مختلفی را در بازه زمانی

1 Samuels & Gouldby
2 De Bruijn et al
3 World Meteorological Organization
4 Tanner and Rentschler
5 Cash et al
6 Dore & Lebel
7 Mostert et al
8 Young

استراتژیک، عملیاتی (و یا عملی) و مدیریت حوادث دارند. فرصت‌هایی برای ادغام در این بازه‌های زمانی مختلف وجود دارد، زیرا آنچه در یک اتفاق می‌افتد، بر دیگری تأثیر می‌گذارد (وان هرک و همکاران[1]،۲۰۱٦) محققان دیگر از این به‌عنوان یکپارچه‌سازی استراتژیک و عملیاتی یاد کرده‌اند اما بر پیوندهای این دو تأکید نمی‌کنند (ران و ندوویک[2]،۲۰۱٦). مدیریت مخاطرات، مدیریتی سیستماتیک از تصمیمات اجرایی، سازمان‌ها، قابلیت‌ها و مهارت‌های عملکردی برای اجرای سیاست‌ها، استراتژی‌ها و قابلیت‌های مقابله‌ای اجتماعی یا فردی همراه با تقلیل برخوردها و وقایع مخاطرات طبیعی، محیطی و تکنولوژیکی می‌باشد (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم[3]،۲۰۲۰). به‌عبارت‌دیگر مدیریت بلایا، به معنای رویارویی‌های گوناگون با مخاطرات و ظرفیت‌ها برای مقابله با مخاطرات سیستماتیک در جوامع روستایی و شهری است (ساید و همکاران[4]،۲۰۱۹) فرآیند شناسایی بلایا به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه راهبردهای مقابله با ضرورت‌های ویژه، جهت تخصیص منابع و اولویت‌ها و استانداردها در تأمین امنیت عمومی به کار می‌رود (کاو ویکیتپونگ[5]،۲۰۱۹). لذا برای سیاست-گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب شاخص‌ها و گویه‌های متعددی دخیل می‌باشند که این شاخص‌ها را می‌توان در طیف پنج‌گانه تقسیم‌بندی نمود که به ترتیب شاخص محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی – فرهنگی، مدیریتی – نهادی و کاربری اراضی (کالبدی) می‌باشند. بر همین اساس مسئله‌ای که در اینجا مطرح می‌باشد این است که؛ **در بین شاخص‌های مطرح شده کدام‌یک از آن‌ها دارای اهمیت بیشتری در کارآمد-تر نمودن سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی می‌باشد؟** بر این اساس ضرورت پژوهش در این راستا می‌باشد که پژوهش حاضر ابتدا اقدام به شناسایی تمامی گویه‌های مربوط به شاخص‌ها نموده است. سپس به بررسی اهمیت هریک از آن‌ها می‌پردازد تا بتواند پاسخ‌گوی این مسئله پژوهش باشد.

1 Van Herk et al
2 Ran and Nedovic-Budic
3 Intergovernmental Panel on Climate Change
4 Said et al
5 Kaewkitipong et al

**جدول ۱- پیشینه پژوهش**

| نویسندگان | سال | عنوان | روش و نتایج |
|---|---|---|---|
| بدری و همکاران | ۱٤۰۰ | طراحی الگوی چالش‌های تدوین سیاستگذاری فضایی مناطق روستایی کشور | در سال‌های اخیر سیاست‌گذاری روستایی دچار تغییرات اساسی شده و ازآنجاکه این سیاست‌گذاری‌ها عمدتاً در قالب توسعه پایدار و با دیدگاه سرزمینی مطالعه می‌شود، پوشش همگانی همه بخش‌ها را موردتوجه قرار می‌دهد. در ایران، نبود دیدگاه کل‌نگر در فرایند سیاست‌گذاری کشور سبب شد تا بخش‌های مختلف در روستاها هریک به‌صورت جزیره‌ای عمل کنند و به اصل مکمل بودن مکان‌ها توجه چندانی نشود. در وضعیت کنونی توجه به سیاست‌گذاری یکپارچه بخشی - فضایی ضرورت دارد. این ضرورت باید با توجه به تمرکززدایی اداری - فضایی و سیاست‌گذاری یکپارچه سرزمینی فراهم شود که پیامد آن کاهش نسبی بخشی‌نگری و توجه به سیاست‌های فضایی در نظام سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کشور است. |
| محبوبه حاجی بیگلو، واحد یزدی شیخ | ۱۳۹۸ | تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها | این پژوهش با توجه به وجود مدل‌های متعدد در ارزیابی مدیریت ریسک سیلاب از مدل‌های قبیل DSS،RF ، SVM، RFM ، ANN وGA برای بررسی شاخص‌های مؤثر در ریسک سیلاب و تعیین درجه اهمیت آن‌ها در منطقه موردمطالعه خود بهره گرفته است که نتایج آن بدین شرح می‌باشد که مدل‌های فیزیکی و مدل‌های مفهومی پیچیده‌تر، به دلایل زیر اهمیت ویژه‌ای برای برآورد نقش شاخص‌های مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب ندارد: کمبود داده‌های با توزیع مکانی کافی برای جداسازی مدل‌ها ازنظر کاربرد، کمبود داده‌های واسنجی در مقیاس مکانی و زمانی برای تعریف مجموع پارامتر خاص برای مدل‌ها و درنتیجه خروجی مطمئن، وابستگی بیش‌ازحد نتایج مدل به تجربه‌ی کاربر، برای مدل‌های فیزیکی نیاز محاسباتی بالا در حوضه‌های بزرگ احساس می‌شود. به‌منظور رفع نیازهای روبه رشد مدیران حوضه به ابزارهایی که بتوانند از آن به‌طور کامل در جهت بررسی توزیع‌های مکانی سیلاب و انتقال مواد رودخانه‌ای استفاده کنند، مطالعه‌ای بر روی این ابزارها نیاز است. توسعه‌ی مدل‌های توزیعی با پیچیدگی نسبتاً کم و فیزیکی توصیه می‌شود. |
| پرومان و همکاران[1] | ۲۰۲۱ | چالش‌های سیاست-گذاری مدیریت ریسک سیلاب در سواحل آلمان | این پژوهش از طریق روش ابعاد راه‌حل‌های فنی، مانند آب‌بندها و ایستگاه‌های پمپاژ، مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های آماری مورد نظر پرداخته است، چنین داده‌هایی را برای فرآیندهای برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط‌های غیرثابت استفاده نموده است. درنهایت به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از زمین‌ها در مناطق ساحلی کم ارتفاع نیاز به محافظت کارآمد در برابر دریا و همچنین مدیریت زهکشی کارآمد برای مقابله با سیلاب طوفان و سیلاب داخل کشور در همان زمان دارد. درحالی‌که معمولاً ابعاد راه‌حل‌های فنی، مانند آب‌بندها و ایستگاه‌های پمپاژ، مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های موردنظر است، چنین داده‌هایی برای فرآیندهای برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط‌های غیرثابت در دسترس نیست. برخلاف رویکردهای مبتنی بر ایمنی در آلمان، دستورالعمل سیلاب اتحادیه اروپا مفاهیمی را برای مدیریت خطرات سیلاب درخواست می‌کند. بخشنامه سیلاب خواستار ترکیب محافظت در برابر پیشگیری و مدیریت ریسک ناشی از سیلاب است. ازآنجاکه در بسیاری از موارد، قوانین فعلی ملی و ایالتی همچنان به رویکرد مبتنی بر ایمنی تکیه دارند، بنابراین با آگاهی نو و با درنظر گرفتن خطرات باقی مانده، ضروری است. مردم باید برای مقابله با خطرات باقیمانده (سیلاب) مایل باشند. |

1 Bormann, et al

| | | | |
|---|---|---|---|
| پراکاش موهانتی[1] | ۲۰۲۱ | طبقه‌بندی جدید ریسک دو متغیره برای مدیریت سیل باتوجه به خطر و اقتصادی – اجتماعی | این پژوهش از طریق روش سهم حاشیه‌ای و مرکب از خطر و آسیب‌پذیری در برابر خطر ابتلا به سیل را از طریق یک مفهوم ابتکاری از طبقه‌بندی ریسک، که به‌صورت کرپولت ۵ × ۵ طراحی شده است، کمی نموده است. به این نتیجه رسیده‌اند که چارچوب یشنهادی در بهترین مقیاس اداری در سطح روستاها در منطقه جگاتسینگپور در حوضه رودخانه ماهانادی، ادیشا (هند) برای دو دوره: سناریو (1991-1970) I- و سناریو (2001-1970) II- نشان داده شده است. افزایش در روستاهای پرخطر و آسیب‌پذیر در سناریو I مشاهده شده است، اکثر آن‌ها در امتداد ساحل (منطقه S-E) و دشت‌های سیلاب مجاور رودخانه ماهانادی (منطقه شمال غربی) وجود دارد. سناریوی I با اکثر روستاهای دارای خطر و مرکب (هر دو خطر و آسیب‌پذیری) مشخص می‌شود، درحالی‌که سناریو II با اکثریت روستاهای دارای آسیب‌پذیری مشخص می‌شود. برای دهکده‌های در معرض خطر ، آسیب‌پذیری، اجرای دقیق و طرح‌های کاهش توصیه می‌شود، درحالی‌که برای دهکده‌های دارای خطر، افزایش اقدامات ساختاری و منطقه‌بندی دشت سیل باید اعمال شود. چنین اطلاعات جامع خطر سیل ممکن است. |
| حمید رضا پورقاسمی و همکاران | ۲۰۲۰ | ارزیابی رویکردهای فرا ابتکاری برای ارزیابی سیل | این پژوهش از طریق روش چهار رویکرد فراتحلیلی گروه، از جمله ترکیبات ANFIS سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با الگوریتم ژنتیک (GA)، باز پخش شبیه سازی شده (SA)، الگوریتم رقابتی امپریالیستی (ICA) و تکامل افتراقی (DE)، برای منطقه بندی سیل در شهرستان دینگنان، چین استفاده می‌شود به این نتیجه رسیده‌اند که عوامل مختلف طبقه‌ای و مداوم مؤثر در سیلاب‌ها، ازجمله انحنای طرح، ارتفاع، فاصله تا رودخانه‌ها، درجه شیب، میزان بارندگی، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، شاخص قدرت جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی، نوع خاک، جنبه، شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال و انحنای مشخصات، در منطقه موردمطالعه شناسایی شده و در نرم‌افزار GIS وارد می‌شوند. نقشه‌های حساسیت به سیل (FSM) با استفاده از منحنی ROC تأیید می‌شوند. نتایج تأیید می‌کند که AUCهای چهار مدل متاوریستی ترکیبی بزرگ‌تر از ۷۹٪ است. بالاترین مقدار AUC برای گروه ANFIS-GA (0.903) به‌دست می‌آید و پس از آن ANFIS-SA (0.843)، ANFIS-DE (0.812) و ANFIS-ICA (0.798) به‌دست می‌آیند RMSEهای به‌دست آمده برای داده‌های آموزشی مدل‌های مختلف ۰.۲۵۶۲ (ANFIS-DE)، 0.3121 (ANFIS-GA)، 0.3345 (ANFIS-ICA)و ۰.۳۳۹۸ (ANFIS-SA) است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رویکردهای گروه پیشنهادی برای مدیریت خطر سیل و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در شهرستان دینگنان، چین و سایر مکان‌ها مفید است. |

مآخذ: نگارنده، ۱۴۰۱

باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات انجام شده، مطالعات زیادی در حوزه مدیریت ریسک سیل صورت گرفته است. مطالعات صورت گرفته را می‌توان در دو دسته مجزا قرار داد اول: مطالعاتی که مقوله سیل را فقط از نگاه اثرات منفی کالبدی مطلق دیده‌اند و دوم این‌که در مطالعات با رویکرد مدیریت بحران سیل یعنی برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات سیل بعد از وقوع آن به‌صورت جامع پرداخته شده است ولی پژوهش حاضر درصدد این مقوله می‌باشد که با بهره‌مندی از تئوری‌های نظری در سطح جهان به شناخت

1 Mohit PrakashMohanty

مجموعه شاخص‌ها و گویه‌های که می‌توانند در فرایند سیاست‌گذاری نقش‌آفرینی ایفا نمایند بپردازد سپس از طریق نظر متخصصین امر به دنبال جایگاه و اهمیت هر یک از آن‌ها در فرآیند سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب در کشور ایران دست‌یابند تا مشخص شدن کاستی‌های موجود در فرایند سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب در کشور متناسب با شاخص‌های بین‌المللی اقدام به اصلاح وضعیت کنونی کشور در این امر گردد.

**۱- روش پژوهش**

روش پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ ماهیت گردآوری اطلاعات از نوع توصیفی-تحلیلی است. روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش به دو صورت کتابخانه‌ای و میدانی خواهد بود. در گام نخست جهت تدوین ادبیات تحقیق، پیشینه، مبانی نظری تحقیق از مطالعات کتابخانه‌ای مرتبط عنوان پژوش استفاده خواهد شد و در گام دوم به‌صورت میدانی و کمی با بهره‌گیری از ابزار پرسشنامه برای بررسی فرضیات پژوهش استفاده می‌شود. جامعه آماری این پژوهش متشکل از متخصصین امر اعم از اعضا هیئت‌علمی متخصص در این راستا فارغ‌التحصیلان و دانشجویان دکتری با عنوان رساله مرتبط و مسئولین امر می‌باشند به همین منظور تعداد ۷۰ نمونه انتخاب شده است (شرح در جدول ذیل). پرسشنامه مرتبط از منظر آن‌ها دارای سطح روایی مطلوب و میزان پایایی با مقدار ضریب آلفای کرون‌باخ ۰/۹۷ می‌باشد که سطح بسیار مطلوبی را نشان می‌دهد. درنهایت برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های به دست آمده از پرسشنامه مذکور برای گویه-های هر شاخص درنهایت کل شاخص‌ها از آزمون آماری آنوا یک طرفه (F) بهره گرفته شده است. پیش از استفاده از آزمون آنوا یک طرفه ابتدا لازم است به پیش‌فرض‌های لازم برای استفاده از این آزمون توجه نماییم تا در داده‌های مورد آزمون این پیش‌فرض‌ها رعایت شده باشد. ابتدایی‌ترین پیش‌فرض این است که متغیر وابسته باید کمی و مقیاس آن فاصله‌ای باشد بر همین اساس می‌توان بیان نمود داده‌های متغیر وابسته هر شاخص با توجه به مبنا قرار گرفتن طیف لیکرت در پاسخ‌ها کمی و مقیاس فاصله‌ای دارند. دومین پیش‌فرض کیفی بودن متغیر مستقل می‌باشد که شاخص‌های سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب در این پژوهش متغیر مستقل می‌باشند که از نوع کیفی می‌باشند. سومین پیش‌فرض مهم برای این آزمون این مسئله می‌باشد که توزیع داده‌های متغیر وابسته باید نرمال باشد به همین منظور در ذیل در پنج جدول مجزا داده‌های مرتبط با گویه‌ها هر شاخص از طریق آزمون آماری کلوموگروف[1] مورد آنالیز نرمال بودن قرار گرفته‌اند که نتایج آن در خروجی هر جدول ذکر شده است و چهارمین و آخرین پیش‌فرض آزمون آماری آنوا این مسئله می‌باشد که واریانس گروه‌ها باید برابر باشند که برای مشخص شدن این مسئله در شاخص‌های مختلف مورد

1 Kolmogorov-Smirnova

بررسی پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون لون[1] برای مشخص شدن آن استفاده شده است و درنهایت جهت تکمیل عملکرد آزمون آنوا در ادامه از آزمون تعقیبی دانکن استفاده می‌نمایم تا بتوان میزان اهمیت هر یک از شاخص‌های پنج‌گانه را به‌صورت مجزا بیان نماییم (لازم به توضیح می‌باشد برای اجتناب از دوباره-گویی شاخص‌ها و گویه‌های مرتبط در بخش یافته‌های تحقیق بیان می‌شوند).

**جدول ۲- جامعه نمونه پژوهش**

| فرضیه | طبقه | سمت سازمان | تعداد | روش نمونه‌گیری | تخصص |
|---|---|---|---|---|---|
| فرضیه اول و دوم و سوم | خبرگان متخصص در موضوع پژوهش | اساتید دانشگاه، | ۱۵ | هدفمند با استفاده از جستجوی علمی و پژوهشی متخصصین به روش گلوله برفی | جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی؛ جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری؛ مدیریت آب؛ عمران و عمران روستایی |
| | | فارغ‌التحصیلان دکتری با موضوع رساله نزدیک | ٦ | | |
| | اعضا کار گروه مدیریت ریسک | نمایندگان دستگاه‌های اجرایی مرتبط شرکت کننده در کارگروه سازمان مدیریت پیشگیری و بحران | ١٤ | هدفمند با بهره‌گیری از سازمان مدیریت پیشگیری و بحران استان به روش تمام شماری | |
| | مدیران محلی | بخشداران، نمایندگان شوراها روستایی و دهیاران | ۳۵ | هدفمند | فعالان بخش مدیریتی روستاهای نمونه |

مآخذ: نگارنده، ۱٤۰۱

## ۲- نتایج و بحث

با توجه به مسئله بیان شده در قسمت مقدمه برای بررسی میزان اهمیت شاخص‌های گوناگون در سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی به بررسی وضعیت هر یک از شاخص‌های پنج گانه (محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی – فرهنگی، مدیریتی – نهادی و کالبدی (کاربری اراضی)) بر امر سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی می‌پردازد تا بتواند جنبه‌های گوناگون اهمیت هر یک از شاخص‌ها را شناسایی نموده و درنهایت به مسئله مورد نظر با توجه به نظرات جامعه نمونه پاسخ دهد.

1 Levene

**جدول ۳- ارزیابی توزیع نرمال داده‌ها مرتبط با شاخص سیاست‌گذاری محیط‌زیستی از طریق آزمون کلوموگروف از دیدگاه جامعه نمونه**

| گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری محیط‌زیستی | آماره آزمون | درجه آزادی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| پهنه‌بندی مناطق سیلابی با توجه به میزان خطرپذیری (تهیه نقشه برای مشخص نمودن مناطق با احتمال وقوع سیلاب بالا) | ۰/۲۵۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| لایروبی منظم در محدوده پل‌ها و زیرگذرها (انجام لایرویی ۳۰ درصد از مناطق حساس حوضه آبخیز در سال) | ۰/۱۶۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| توجه و کنترل مخاطرات رودخانه‌ای (اقدامات برای جلوگیری مسدود شدن حریم رودخانه) | ۰/۲۷٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| کیفیت برنامه‌های منابع سیلاب و ذخیره سیلاب (میزان کاربردی بودن فعالیت‌های پیش‌بینی‌شده در کاهش سیلاب همانند: آببندان‌های روستایی، زهکشی‌های اراضی) | ۰/۲۵۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بهره‌مندی از دانش و مدیریت محیطی در حوزه سیلاب (ایجاد سازه‌های رو پیلوت) | ۰/۲۰٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری از چرای بیش‌ازحد (توان سنجی مراتع و جلوگیری از تخریب آن با چرای بی‌رویه) | ۰/۲۳۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مناسب‌سازی سیستم زهکشی و جمع‌آوری آب‌های اضافی (ایجاد کانال در اراضی نیازمند به زهکشی) | ۰/۲۷۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مدیریت رسوبات آبرفتی در کانال‌های سیلابی (لایروبی کانال‌های سیلابی پس از بالا آمدن میزان رسوبات) | ۰/۳۰۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| انجام تحقیقات گسترده در ارتباط با سیستم هشدار سیلاب (پیش‌بینی احتمال بروز سیل با توجه به دوره‌های بازگشت آب و هوایی) | ۰/۲۳۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بهره‌مندی از دیدگاه متخصصین در برنامه‌ریزی‌ها پیشگیرانه | ۰/۲۳٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| حفظ گونه‌های بومی و توجه به تنوع گونه‌ها (برای کاهش سرعت سیلاب در مناطق سیلابی) | ۰/۱۸۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| حفظ تنوع جغرافیای موجود در منطقه (پوشش گیاهی اراضی می‌تواند کاهنده سرعت آب و دشت و اراضی کم شیب می‌تواند عاملی مهم در فرورفت آب در خاک باشد (تنوع جغرافیایی مکمل می‌باشند)) | ۰/۲٦۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری از جنگل‌زدایی، جنگل تراشی از بین بردن محیط‌زیست (از طریق اعمال قانون مجرمان و جریمه آن‌ها) | ۰/۲۲۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| کنترل و نظارت بر تحولات محیطی (اعمال قانون برای تخریب‌کنندگان و نظارت از طریق نیروهای محیط‌زیستی منطقه) | ۰/۲۳۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رصد تغییرات اقلیمی و تحولات کلان (بررسی اطلاعات هواشناسی و تغییرات) | ۰/۱۹۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| حفظ و کنترل منابع آبی (کنترل بهره‌برداری و مشخص کردن ظرفیت آب‌بندان‌ها) | ۰/۱۹۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| توجه به ظرفیت‌های بومی و محلی (شناسایی متخصصین امر در روستا) | ۰/۲۰۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| توجه به خدمات اکوسیستمی محلی (کاهش سرعت آب و افزایش میزان نفوذپذیری آب در خاک) | ۰/۲۰۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به سطح معناداری اختصاص یافته به هریک از گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری فضایی محیط‌زیستی با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون اختصاص یافته به هر زیرمولفه می‌توان این گونه نتیجه گرفت که با توجه به مقدار معناداری مقدار ۹۹ درصدی نشان از رد فرض صفر دارد. البته لازم به ذکر می-

باشد که میزان نرمال بودن داده‌های در گویه‌های مختلف متفاوت بوده است شاید سطح معناداری تمامی آن‌ها ۹۹ درصدی را نشان می‌دهد ولی میزان آماره آزمون متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که گویه لایروبی منظم در محدوده پل‌ها و زیرگذرها (انجام لایرویی ۳۰ درصد از مناطق حساس حوضه آبخیز در سال) با مقدار آماره آزمون ۰/۱۶۲ کمترین میزان آماره آزمون را به خود در پاسخ‌ها اختصاص داده است و گویه مدیریت رسوبات آبرفتی در کانال‌های سیلابی (لایروبی کانال‌های سیلابی پس از بالا آمدن میزان رسوبات پس از پایان سال آبی) بیشترین میزان آماره آزمون با مقدار ۰/۳۰۷ به خود اختصاص داده است این نشان‌دهنده وجود تفاوت هرچند بسیار اندک در میزان پاسخ‌های هر گویه می‌باشد.

**جدول ٤- ارزیابی توزیع نرمال داده‌ها مرتبط با شاخص سیاست‌گذاری اقتصادی از طریق آزمون کلوموگروف از دیدگاه جامعه نمونه**

| گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری اقتصادی | آماره آزمون | درجه آزادی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| دور کردن واحدهای تولیدی وابسته به بخش کشاورزی از ناحیه در معرض خطر | ۰/۲۳۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بسترسازی مناسب برای پیوند بین صنعت و کشاورزی (ایجاد کانال‌ها و استخرها برای کنترل ورود آب به مزارع) | ۰/۲۰٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| خلق فعالیت‌های نوین با اتخاذ رویکرد کارآفرینی با در نظر گرفتن تأثیرپذیری از سیل (درخت‌کاری در اراضی شیب‌دار) | ۰/۱۷۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| باز پخش جمعیت در منطقه از طریق احصاء پتانسیل‌های اقتصادی | ۰/۲۲۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| کاهش فعالیت‌های اقتصادی در مناطق با ریسک بالا (دور کردن فعالیت‌های صنعتی از حریم رودخانه) | ۰/۲۵۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| کاهش فعالیت‌های اقتصادی با ریسک محیطی بالا (مدیریت پروش دام و ماهی در نواحی سیل‌خیز) | ۰/۲۳۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تسهیل در اعطای وام برای مدیریت خُرد سیلاب (مقاوم‌سازی مساکن و مزارع در مقابل سیلاب) | ۰/۲٦۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تسهیل در بیمه فعالیت‌های روستایی اعم از کشاورزی و غیر کشاورزی (ایجاد بیمه جمعی برای کلیه فعالیت‌های روستا) | ۰/۲۳۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تسهیل در بیمه مساکن روستایی (اقساطی نمودن بیمه) | ۰/۲۳۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جبران خسارت احتمالی وارده به بخش اشتغال و کاهش بیکاری (اعطای تسهیلات بانکی کم‌درصد به افراد آسیب دیده) | ۰/۲۷۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلب سرمایه‌گذار برای پیشگیری و جبران خسارت احتمالی (تبلیغات و ایجاد اطمینان به بازگشت سرمایه و بستن قرارداد با شرکت‌های با تجربه) | ۰/۲۵٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| اطمینان دادن به سرمایه‌گذاران (مشخص نمودن منابع مالی بازگشت سرمایه) | ۰/۲۰۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جبران خسارات وارده به بخش تولیدی روستا (اعطای تسهیلات بانکی) | ۰/۲۲۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| واگذاری بهره‌برداری پایدار از منابع به بومیان (اعطای مراتع شیب‌دار تخریب‌شده به بومیان برای درخت‌کاری) | ۰/۲۱۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تناسب‌سازی اقدامات مخرب با تنبیه‌ها قانونی (مجازات سنگین تمامی خاطیان) | ۰/۱۸۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به سطح معناداری اختصاص یافته به هریک از گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری فضایی اقتصادی با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون اختصاص یافته به هر زیرمولفه می‌توان این گونه نتیجه گرفت که با توجه به مقدار معناداری مقدار ۹۹ درصدی نشان از رد فرض صفر دارد. البته لازم به ذکر می‌باشد که میزان نرمال بودن داده‌های در گویه‌های مختلف متفاوت بوده است شاید سطح معناداری تمامی آن‌ها ۹۹ درصدی را نشان می‌دهد ولی میزان آماره آزمون متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که گویه خلق فعالیت‌های نوین با اتخاذ رویکرد کارآفرینی با در نظر گرفتن تأثیرپذیری از سیل (درخت‌کاری در اراضی شیب‌دار) با مقدار آماره آزمون ۰/۱۷۷ کمترین میزان آماره آزمون را به خود در پاسخ‌ها اختصاص داده است و گویه تسهیل در اعطای وام برای مدیریت خُرد سیلاب (مقاوم‌سازی مساکن و مزارع در مقابل سیلاب) بیشترین میزان آماره آزمون با مقدار ۰/۲۶۳ به خود اختصاص داده است این نشان‌دهنده وجود تفاوت هرچند بسیار اندک در میزان پاسخ‌های هر گویه می‌باشد البته لازم به توضیح می‌باشد که تفاوت‌ها در مقدار آمار آزمون در شاخص اقتصادی به نسبت شاخص محیط‌زیستی کمتر بوده است.

**جدول ۵- ارزیابی توزیع نرمال داده‌ها مرتبط با شاخص سیاست‌گذاری اجتماعی - فرهنگی از طریق آزمون کلوموگروف از دیدگاه جامعه**

| گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری اجتماعی - فرهنگی | آماره آزمون | درجه آزادی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| شناسایی پیشگامان محلی هر محدوده با پراکنش فضایی سازمان‌یافته (سهیم بودن تمام مردم از حضور نماینده) | ۰/۱۹۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| در نظر گرفتن دیدگاه‌ها و خواسته‌های مردم با توجه به قومیت‌ها و بخش‌های گوناگون (استفاده از دانش بومی توامی جوامع) | ۰/۲۲۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد ظرفیت‌های سازگاری متنوع و پیوند آن‌ها در جامعه (افزایش معیارهای تنوع سطح ایمنی در ایجاد واحدهای مسکونی جدید روستایی و فعالیت‌های اقتصادی) | ۰/۱۹۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| اولویت‌بندی گروه‌های آسیب‌پذیر اجتماعی (شناسایی جمعیت آسیب‌پذیر ازنظر مالی و مسائل خانوادگی در حریم سیلابی) | ۰/۲۱۶ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تقویت دانش اجتماعی و فرهنگی (افزایش آموزش در جهت پذیرش فعالیت‌های مقابله‌ای از سوی مردم روستا) | ۰/۲۲٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مدیریت صحیح در جابه‌جایی جمعیت برای مناطق پرخطر با توجه به ویژگی اجتماعی (ایجاد سایت-های جدید اسکان با در نظر گرفتن روابط قومی و قبیله‌ای) | ۰/۲۲۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| اتخاذ سیاست‌های چند بُعدی و چندساختی در جهت رفع مشکلات اجتماعی (در نظر گرفتن بُعد مسافت فعالیت اقتصادی افراد در مکان‌یابی سایت‌های اسکان جدید) | ۰/۲۳۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| توانمندسازی جامعه محلی از طریق آموزش و آگاهی (آموزش‌های قبل وقوع، حین وقوع و بعد از بروز سیلاب برای کاهش تلفات) | ۰/۲۰۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بالا بردن کیفیت ارتباطات بین شهر و روستا به‌منظور بهبود فعالیت و روابط فضایی در مواقع بحرانی | ۰/۲۷۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| (ایجاد جاده‌ها با پُل‌های ایمن و مقاوم در مقابل سیل) | | | |
| جلوگیری از شیوع بیمارهای مسری و واگیردار (ایجاد مراکز بهداشتی فعال در مواقع اضطراری) | ۰/۲۰٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| آموزش افزایش تاب‌آوری روحی و روانی در برخورد با حوادث (آموزش‌های روان‌شناسی در افراد برای بالا بردن سطح پذیرش حوادث در افراد) | ۰/۲٦۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| آموزش جهت درک بهتر خطر (از طریق رسانه‌های دولتی و خصوصی) | ۰/۱۹۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بهره‌مندی و تقویت سرمایه اجتماعی در مدیریت ریسک سیلاب (ساماندهی گروه‌های داوطلب) | ۰/۱۹۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| نهادسازی و تقویت نهادهای اجتماعی (ایجاد گروه‌های محلی برای کمک به افراد آسیب دیده) | ۰/۲٦۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مدیریت احساسات مرتبط با حس تعلق مکانی (جلوگیری از بازگشت مجدد سایت‌های جدید به مناطق قبلی بخاطر مسائل فرهنگی از طریق آموزش فرهنگی) | ۰/۲۵۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| گسترش مشارکت عمومی در مدیریت سیلاب (بهره‌گیری از تمامی امکانات محلی و انسانی در مدیریت همانند: ادوات کشاورزی و قایق‌های شخصی) | ۰/۲۷۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های روانشناسی جامعه برای کاهش یاس و ناامیدی (ایجاد کلاس‌های منظم در جوامع) | ۰/۲۱۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد بسترهای فرهنگی مشارکت‌زا از طریق ظرفیت‌سازی (تقویت بسیج محلی) | ۰/۲۱٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به سطح معناداری اختصاص یافته به هریک از گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری فضایی اجتماعی – فرهنگی با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون اختصاص یافته به هر زیرمولفه می‌توان این گونه نتیجه گرفت که با توجه به مقدار معناداری مقدار ۹۹ درصدی نشان از رد فرض صفر دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که توزیع داده‌ها نرمال می‌باشند. البته لازم به ذکر می‌باشد که میزان نرمال بودن داده‌های در گویه‌های مختلف متفاوت بوده است شاید سطح معناداری تمامی آن‌ها ۹۹ درصدی را نشان می‌دهد ولی میزان آماره آزمون متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که گویه شناسایی پیشگامان محلی هر محدوده با پراکنش فضایی سازمان‌یافته (سهیم بودن تمام مردم از حضور نماینده) با مقدار آماره آزمون ۰/۱۹۰ کمترین میزان آماره آزمون را به خود در پاسخ‌ها اختصاص داده است و گویه‌های بالا بردن کیفیت ارتباطات بین شهر و روستا به‌منظور بهبود فعالیت و روابط فضایی در مواقع بحرانی (ایجاد جاده‌ها با پُل‌های ایمن و مقاوم در مقابل سیل) و گسترش مشارکت عمومی در مدیریت سیلاب (بهره‌گیری از تمامی امکانات محلی و انسانی در مدیریت همانند: ادوات کشاورزی و قایق‌های شخصی) به‌طور مشترک بیشترین میزان آماره آزمون با مقدار ۰/۲۷۱ به خود اختصاص داده است این نشان دهنده وجود تفاوت هرچند بسیار اندک در میزان پاسخ‌های هر گویه می‌باشد لازم به توضیح می‌باشد که تفاوت‌ها در مقدار آمار آزمون در شاخص اجتماعی – فرهنگی هم به نسبت شاخص‌های اقتصادی و محیط‌زیستی کمتر بوده است.

**جدول ٦- ارزیابی توزیع نرمال داده‌ها مرتبط با شاخص سیاست‌گذاری مدیریتی - نهادی از طریق آزمون کلوموگروف از دیدگاه جامعه نمونه**

| گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری مدیریتی - نهادی | آماره آزمون | درجه آزاد | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| تمرکززدایی سیاست‌گذاری تنها توسط مدیران بالادستی | ۰/۲۱۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد هماهنگی بین سازمانی (جلوگیری از تداخلات فعالیت‌ها (ایجاد جاده و تخریب)) | ۰/۱۹۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تدوین استراتژی به‌منظور جمع‌آوری منابع در بخش‌های مختلف فضایی (سیستم مدیریت مرکزی اطلاعات با همکاری دهیاری‌ها) | ۰/۱۷٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| عقب‌نشینی/ تنظیم مجدد مدیریت با توجه به ویژگی‌های فضایی هر منطقه (مدیریت روستاهای جنگلی با روستاهای کوهستانی و دشتی) | ۰/۲۷٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تمرکززدایی ظرفیت‌ها در بین دستگاه‌های مدیریتی و اجرایی (ایجاد مراکز امداد اضطراری در روستاها و حداقل مراکز بخش‌ها) | ۰/۲۱۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| دسته‌بندی و سطح‌بندی مشکلات سیاست‌گذاری (اقتصادی، اجتماعی - فرهنگی و ...) | ۰/۱۸۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد برنامه‌های فضایی برای جلوگیری از بروز سیلاب کنترل نشده در پایین‌دست‌ها (ایجاد کاهنده سرعت آب از بالادست به پایین‌دست) | ۰/۲٤۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تعیین اهداف کلی برای کل جامعه حوضه آبخیز با درک روابط فضایی روستاها (با توجه به ویژگی‌های مشابه روستاها اقدامات مشابه در نظر گرفته شود) | ۰/۲۸۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بازتعریف ساختار مدیریتی جدید جهت سیاست‌گذاری مدیریت ریسک سیلاب (ابتدا شناخت جامعه و سپس ارائه اطلاعات به بالا جهت سیاست‌گذاری) | ۰/۱۸۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| گسترش دامنه نگرش به حوزه‌های فرا بحران (جلسه‌های بین دستگاهی برای شناخت بهتر شرایط) | ۰/۲۰۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ارتقاء دیدگاه شبکه‌های ساختاری و کارکردگرا (در نظر گرفتن نیازهای تمامی سطوح از مردم محلی تا فرادست در فعالیت‌ها) | ۰/۲۰۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| آموزش‌های تخصصی برای دستگاه‌های مرتبط برای مقابله با سیلاب | ۰/۱۸۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| هماهنگ کردن دستگاه‌های مرتبط برای کاهش تداخلات بین دستگاهی (ایجاد چارت سازمانی بین دستگاهی برای مشخص بودن فعالیت هر دستگاه در هر زمان) | ۰/۱۸٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ثبات سیاست‌گذاری قوانین اجرایی و مدیریتی | ۰/۲٥٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ارتقاء سطح نظارت‌های مردمی (مشخص نمودن ناظران محلی برای جلوگیری از فعالیت‌های غیرقانونی) | ۰/۲۰٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| افزایش طرح مشارکت بخش خصوصی (مشخص نمودن نحوه بازگشت سرمایه قبل از وقوع حادثه) | ۰/۲٦٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بازتعریف نقش سازمان‌های متولی همانند: دهیاری‌ها (دخیل کردن دهیاران در نظارت‌های فعالیت‌های مدیریت ریسک سیل همانند: نظارت بر مدیریت حفظ مراتع و جنگل‌ها) | ۰/۱۹۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رویکرد مشارکتی محور با توجه به ابعاد مؤثر در پایداری اکولوژیکی مدیریت (زیرساختی، فنی، اقتصادی) | ۰/۲٥٥ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| راهبردهای مشارکتی بین مردم و نهادهای ذی‌ربط مدیریت بحران (جهت اجماع نظر و سیاست‌گذاری در تعیین اولویت‌های پیشروی اجتماع در طی بحران و سپس تصمیم‌گیری) | ۰/۱۷۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹٥٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به سطح معناداری اختصاص یافته به هریک از گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری فضایی مدیریتی – نهادی با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون اختصاص یافته به هر زیرمولفه می‌توان این گونه نتیجه گرفت که با توجه به مقدار معناداری مقدار ۹۹ درصدی نشان از رد فرض صفر دارد. البته لازم به ذکر می‌باشد که میزان نرمال بودن داده‌های در گویه‌های مختلف متفاوت بوده است شاید سطح معناداری تمامی آن‌ها ۹۹ درصدی را نشان می‌دهد ولی میزان آماره آزمون متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که گویه راهبردهای مشارکتی بین مردم و نهادهای ذی‌ربط مدیریت بحران (جهت اجماع نظر و سیاست‌گذاری در تعیین اولویت‌های پیشروی اجتماع در طی بحران و سپس تصمیم‌گیری) با مقدار آماره آزمون ۰/۱۷۲ کمترین میزان آماره آزمون را به خود در پاسخ‌ها اختصاص داده است و گویه تعیین اهداف کلی برای کل جامعه حوضه آبخیز با درک روابط فضایی روستاها (با توجه به ویژگی‌های مشابه روستاها اقدامات مشابه در نظر گرفته شود) بیشترین میزان آماره آزمون با مقدار ۰/۲۸۳ به خود اختصاص داده است این نشان دهنده وجود تفاوت هرچند بسیار اندک در میزان پاسخ‌های هر گویه می‌باشد لازم به توضیح می‌باشد که تفاوت‌ها در مقدار آمار آزمون در شاخص مدیریتی – نهادی به نسبت شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی- فرهنگی بیشتر ولی از تفاوت‌های آماره آزمون در شاخص محیط‌زیستی کمتر بوده است.

**جدول ۷- ارزیابی توزیع نرمال داده‌ها مرتبط با شاخص سیاست‌گذاری کالبدی (کاربری اراضی) از طریق آزمون کلوموگروف از دیدگاه جامعه**

| شاخص‌های کالبدی (کاربری اراضی) | | آماره آزمون | درجه آزادی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|
| جلوگیری از کاشت درخت در حریم رودخانه‌ها | | ۰/۲۰٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد پوشش گیاهی در جنگل‌ها کچل شده | | ۰/۲۱۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری از تغییر کاربری اراضی غیرعلمی و غیرمجاز در دشت‌های سیلابی (تخریب پوشش گیاهی) | | ۰/۲۰۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| تنوع کاربری‌ها اراضی (ایجاد تنوع زراعی) برای مدیریتی کنترل سیلاب (کاشت محصولات متنوع در اراضی برای جلوگیری از آیش بودن تمامی اراضی در یک بازه زمانی) | | ۰/۲۰۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مدیریت حوضه آبریز بالادست برای کاهش آسیب‌پذیری نواحی پایین‌دست (فعالیت آبخیزداری) | | ۰/۱۷۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد مناطقی برای نگهداری آب (آب‌بند و استخر در بالادست روستا) | | ۰/۲۹۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری از مسدود کردن رودخانه‌ها از طریق تغییر کاربری‌های مجاز و علمی | | ۰/۲۲۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| نیازسنجی در روستاهای مختلف برای شناسایی اثرات فضایی بر روی شکل‌گیری نیازهای کالبدی (از طریق ایجاد نقشه‌ی نیازسنجی با توجه به اطلاعات دهیاری‌ها) | | ۰/۱۹٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری قطع بی‌رویه درختان و تخریب مراتع (برخورد قانونی با افراد خاطی) | | ۰/۲۰۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بهسازی ساخت‌وسازهای کم مقاوم (اعطای تسهیلات برای مقاوم‌سازی) | | ۰/۱۹۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد تعاونی‌های خدماتی برای مواقع بحرانی با مدیریت دهیارها | | ۰/۱۹۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رعایت استانداردهای تراکم در احداث زیرساخت‌ها و امکانات | | ۰/۲۲٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مکان‌یابی مناسب احداث سکونتگاه‌ها (شناسایی مراکز با خطر بالا و جلوگیری از ساخت‌وساز در آن‌ها) | | ۰/۲۳٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| بهره‌برداری اصولی از بستر رودخانه (مصالح با توجه به ظرفیت رودخانه) | | ۰/۱۸۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جابه‌جایی خانه‌ها/اسکان مجدد (مکان‌یابی اسکان مجدد روستاها) | | ۰/۲۳۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جابه‌جایی خدمات مهم (به‌عنوان‌مثال تصفیه‌خانه آب) | | ۰/۲۸۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رعایت فاصله سکونتگاه‌ها با نقاط خطرپذیر در جهت کاهش تلفات (تهیه نقشه حریم مناطق سیلابی) | | ۰/۲٤۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری از توسعه واحدهای صنعتی در مناطق غیرمجاز (تهیه نقشه حریم مناطق سیلابی برای واحد) | | ۰/۲۰٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جلوگیری و کاهش خسارات وارده به امکانات زیربنایی بخش کشاورزی (تهیه نقشه حریم مناطق سیلابی برای فعالیت‌های کشاورزی) | | ۰/۱۹۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مرمت رودخانه / تالاب‌ها/ بافرهای طبیعی (مرمت دیوارهای رودخانه‌ها) | | ۰/۱۸۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد موانع ساحلی و خاک‌ریزی | | ۰/۲۳۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رودخانه با دبی بیش از ۱۵ متر معکب بر ثانیه حریم از هر طرف ۱۲ تا ۱۵ متر | رعایت استانداردها مرتبط با حریم رودخانه‌ها | ۰/۱۹۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رودخانه با دبی بیش از ۱۰ تا ۱۵ مترمکعب بر ثانیه حریم از هر طرف ۸ تا ۱۲ | | ۰/۲۰٦ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رودخانه با دبی بیش از ۵ تا ۱۰ مترمکعب بر ثانیه حریم از هر طرف ٦ تا ۸ | | ۰/۲۰٤ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رودخانه با دبی بیش از ۲ تا ۵ مترمکعب بر ثانیه حریم از هر طرف ٤ تا ٦ | | ۰/۲۰۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| رودخانه با دبی بیش از یک صد پنجاه لیتر تا ۱ مترمکعب بر ثانیه حریم از هر طرف ۱ تا ۲ | | ۰/۲۵۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | دبی کمتر از یکصد پنجاه لیتر در ثانیه میزان حریم از هر طرف ۱ متر | ۰/۲۲۶ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| مدیریت ضربه بر سازه‌های در معرض خطر | ایجاد سد پلاستیکی | ۰/۲۵۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | ایجاد مسیر انحرافی برای کنترل سیلاب | ۰/۲۴۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| جهت توسعه کالبدی روستا با در نظر گرفتن خطرپذیری | ایجاد آبراه‌ها در زیر جاده‌ها و خطوط ریلی برای عبور آب | ۰/۲۰۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | جلوگیری از ساخت مساکن در مناطق پرخطر | ۰/۱۷۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | ایجاد آبراه‌های زیرگذر بین مزارع | ۰/۱۸۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد کاربری‌های بیولوژیکی زیستی کنترل سیلاب | کپه‌کاری | ۰/۱۹۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | بذرپاشی | ۰/۲۶۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | نهال‌کاری | ۰/۱۸۴ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | قلمه‌کاری | ۰/۱۸۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد کاربری‌های بیو مکانیکی کنترل سیلاب | بانکت‌بندی | ۰/۲۴۱ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | تراس‌بندی | ۰/۱۸۷ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | سکوبندی | ۰/۱۹۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | گردایان‌ها | ۰/۲۱۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | ریپرزدن | ۰/۲۲۵ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | پیتینگ | ۰/۲۲۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | کانتور فاور | ۰/۱۷۹ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | بهره‌گرفتن از سطوح برای جمع‌آوری آب | ۰/۲۰۳ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | احداث چاله‌های فلسی شکل | ۰/۲۶۸ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| ایجاد کاربری‌های بیو تکنیکی برای مدیریت سیلاب | کنترل با دیوارهای سنگی و خاکی | ۰/۲۳۴ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | ساخت اپی‌ها | ۰/۲۵۶ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | دیوارهای طولی | ۰/۲۳۰ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | دایک‌ها | ۰/۲۶۴ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |
| | انحراف آب | ۰/۲۲۲ | ۷۰ | ۰/۰۰۰** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به سطح معناداری اختصاص یافته به هریک از گویه‌های شاخص سیاست‌گذاری فضایی کالبدی (کاربری اراضی) با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون اختصاص یافته به هر زیرمولفه می‌توان این گونه نتیجه گرفت که با توجه به مقدار معناداری مقدار ۹۹ درصدی نشان از رد فرض صفر دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که توزیع داده‌ها نرمال می‌باشند. البته لازم به ذکر می‌باشد که میزان نرمال بودن داده‌های در گویه‌های مختلف متفاوت بوده است شاید سطح معناداری تمامی آن‌ها ۹۹ درصدی را نشان می‌دهد ولی میزان آماره آزمون متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که گویه مدیریت حوضه آبریز بالادست برای کاهش آسیب‌پذیری نواحی پایین‌دست (فعالیت آبخیزداری) با مقدار آماره آزمون ۰/۱۷۷ کمترین میزان آماره آزمون را به خود در پاسخ‌ها

اختصاص داده است و گویه جابه‌جایی خدمات مهم (به‌عنوان‌مثال تصفیه‌خانه آب) بیشترین میزان آماره آزمون با مقدار ۰/۲۸۲ به خود اختصاص داده است این نشان دهنده وجود تفاوت هرچند بسیار اندک در میزان پاسخ‌های هر گویه می‌باشد لازم به توضیح می‌باشد که تفاوت‌ها در مقدار آمار آزمون در شاخص کالبدی (کاربری اراضی) به نسبت شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی- فرهنگی بیشتر ولی از تفاوت‌های آماره آزمون در شاخص‌های مدیریتی – نهادی و محیط‌زیستی کمتر بوده است. در ادامه برای بررسی آخرین پیش-فرض آزمون آنوا که به برابری واریانس گروه‌ها تأکید دارد از آزمون لون استفاده شده است که نتایج خروجی این آزمون به شرح ذیل می‌باشد.

**جدول ۸- آزمون لون برای مشخص نمودن برابری واریانس گروه‌ها**

| | آماره آزمون لون | درجه آزادی ۱ | درجه آزادی ۲ | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|
| شاخص‌های دارای اهمیت بر سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب نواحی روستایی | ۵/۲۷٤ | ٤ | ۱۱۵ | ۰/۰۰۱** |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

با توجه به جدول فوق‌الذکر که به بررسی واریانس شاخص‌های مورد نظر و اهمیت‌دار بر مدیریت ریسک سیلاب نواحی روستایی گرفته شده است با توجه به میزان خروجی حاصله از در بخش سطح معناداری که نشان دهنده سطح ۹۹ درصد معناداری و مقدار آماره آزمون لون که عدد ۵/۲۷٤ را نشان می‌دهد درنهایت می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که میزان واریانس گروه‌های متعدد مورد بررسی از طریق آزمون لون برابر می-باشد با توجه به برابری واریانس‌های گروه‌ها و نرمال بودن تمامی گویه‌های تمامی شاخص‌ها درنتیجه چهار پیش‌فرض اساسی برای آزمون آنوا را داده‌های ما دارا می‌باشند به همین منظور جهت بررسی فرضیه حاضر می‌توان از آزمون آنوا استفاده نمود. با علم بر این مسئله که هدف پژوهش مشخص نمودن مهم‌ترین شاخص بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب می‌باشد که این بازگوکننده این مسئله است که مقوله گویه‌ها به تنها نمی‌تواند دارای اهمیت باشند در حقیقت تمامی گویه‌ها به یک اندازه ایفای نقش بر روی شاخص مبنا می‌نمایند. در ادامه به تحلیل خروجی آزمون آنوا می‌پردازیم که نتایج خروجی این آزمون در جدول ذیل مطرح شده است.

**جدول ۹- آزمون آنوا جهت مشخص نمودن میان اهمیت شاخص‌ها بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی**

| ANOVA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | مقدار F | سطح معناداری |
| بین گروه‌ها | ۳/٤۹۰ | ٤ | ۰/۸۷۲ | ٦/۲۲۹ | ۰/۰۰۰** |
| درون گروه‌ها | ۱٦/۱۰۷ | ۱۱۵ | ۰/۱٤۰ | | |
| مجموع | ۱۹/۵۹۷ | ۱۱۹ | | | |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

همان‌طور که ابتدا امر در تحلیل و بررسی فرضیه ابتدای پژوهش بیان شده بود مقرر گردید که فرضیه مورد نظر از طریق آزمون آنوا یک طرف مورد بررسی قرار گیرد بر همین اساس در جدول فوق‌الذکر خروجی حاصله از آزمون آنوا یک طرفه برای شاخص‌های دارای اهمیت مورد نظر بیان شده است با توجه به خروجی‌های حاصله در بخش بین‌گروهی و درون‌گروهی می‌توان با توجه به میانگین مجذورات و مجموع مجذورات می‌توان به میزان مطلوبیت خروجی پی بُرد اما آنچه که در جدول خروجی آزمون آنوا مهم و کارآمد است میزان آماره آزمون F و مقدار سطح معناداری می‌باشد که عدد آماره آزمون ٦/۲۲۹ و مقدار سطح معناداری ۹۹ درصدی نشان از اهمیت بسیار بالای شاخص‌های پنج‌گانه بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی می‌باشد اما نکته حائز اهمیت این مقوله می‌باشد که در فرضیه ابتدای پژوهش بیان شده است که شاخص‌های کاربری اراضی در سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد درحالی‌که تا به اینجای خروجی آزمون آنوا اشاره‌ای به نقش و میزان اهمیت شاخص‌ها به‌صورت مجزا نشده است پس پاسخی کارآمد به فرضیه حاضر نشده است برای همین منظور جهت تکمیل عملکرد آزمون آنوا در ادامه از آزمون تعقیبی دانکن استفاده می‌نمایم تا بتوان میزان اهمیت هر یک از شاخص‌های پنج‌گانه را به‌صورت مجزا بیان نماییم.

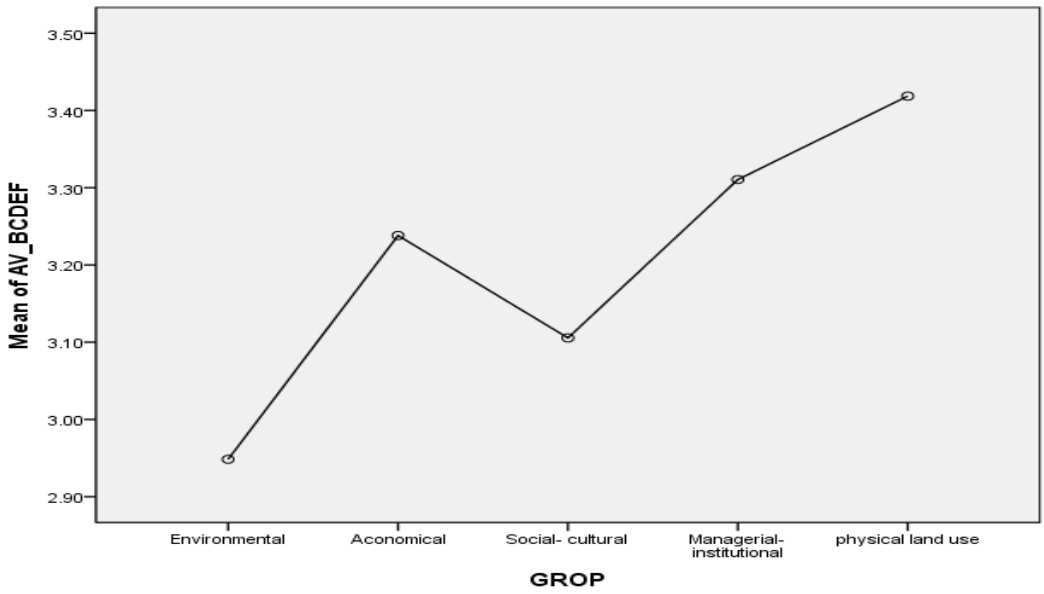
**جدول ۱۰- آزمون تعقیبی دانکن جهت مشخص نمودن میزان اهمیت شاخص‌های پنج‌گانه بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی**

| | تعداد گویه در هر شاخص | زیر مجموعه برای آلفا = ۰/۰۵ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۲ | ۳ |
| شاخص‌های سیاست‌گذاری محیط‌زیستی | ۱۸ | ۲/۹٤۸٤ | | |
| شاخص‌های سیاست‌گذاری اقتصادی | ۱۸ | ۳/۱۰۵٦ | ۳/۱۰۵٦ | |
| شاخص‌های سیاست‌های اجتماعی – فرهنگی | ۱۵ | | ۳/۲۳۸۱ | ۳/۲۳۸۱ |
| شاخص‌های سیاست‌گذاری مدیریتی- نهادی | ۱۹ | | ۳/۳۱۰۵ | ۳/۳۱۰۵ |
| شاخص‌های کالبدی (کاربری اراضی) | ۵۰ | | | ۳/٤۱۸٦ |
| سطح معناداری | | (NS)۰/۱۸۷ | (NS)۰/۱۰۵ | (NS)۰/۱۵٤ |

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱٤۰۱ سطح معناداری تا ۹۹٪ (**) سطح معناداری تا ۹۵٪ (*) عدم معناداری (NS)

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شده است برای مشخص نمودن میزان اهمیت هریک از شاخص‌ها بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی از آزمون تعقیبی دانکن استفاده نموده‌ایم که خروجی حاصل از این آزمون در سه طیف گروه‌بندی شده است. علت این مسئله که سه طیف دسته‌بندی شده‌اند نزدیکی میزان اهمیت آن‌ها بود است؛ به‌طوری‌که شاخص محیط‌زیستی کمترین میزان اهمیت را با مقدار ۲/۹٤۸٤ در طیف یک به همراه شاخص اقتصادی با مقدار ۳/۱۰۵٦ قرار گرفته است ولی شاخص اقتصادی بخاطر نزدیکی با شاخص‌های اجتماعی – فرهنگی با مقدار ۳/۲۳۸۱ و مدیریتی – نهادی با مقدار ۳/۳۱۰۵ هم سایه در طیف دو شده‌اند و این دو شاخص (اجتماعی – فرهنگی و مدیریتی – نهادی) بخاطر نزدیکی به میزان اهمیت شاخص کالبدی (کاربری اراضی) در طیف سوم هم قرار گرفته‌اند و تنها شاخصی که به‌صورت مجزا در یک طیف و گروه قرار گرفته است شاخص کالبدی (کاربری اراضی) می‌باشد که تنها با مقدار ۳/٤۱۸٦ در گروه سوم قرار گرفته است و بیشترین زیر مجموعه برای آلفا را به خود اختصاص داده است. این امر نشان از اهمیت بیشتر این شاخص بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب برای روستاهای واقع در حوضه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان بوده است که نمودار ذیل که خروجی آزمون تعقیبی دانکن می‌باشد هم حاکی از همین عملکرد شاخص‌ها می‌باشد که همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان اهمیت شاخص‌های محیط‌زیستی می‌باشد و پس از آن کمترین اهمیت به شاخص اجتماعی – فرهنگی بر می‌گردد و سپس شاخص اقتصادی و پس از آن مدیریتی – نهادی نقش با اهمیت‌تری ایفا می‌نمایند و درنهایت شاخص‌های کالبدی (کاربری اراضی) بیشترین اهمیت را دارا می‌باشند. مقوله سطح

معناداری که در ذیل سه گروه بیان شده است نشان دهنده عدم معناداری در درون گروه‌ها در نتیجه نزدیکی عملکرد آن‌ها در درون هر یک از سه طیف می‌باشد.




**شکل ۱- میزان اهمیت شاخص‌های پنج‌گانه بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی بر مبنا خروجی آزمون تعقیبی دانکن**

**۳- جمع‌بندی**

طبق بررسی‌های که در پژوهش حاضر صورت گرفته شده است در دو گام که ابتدا از طریق مطالعه منابع موجود اقدام به شناسایی شاخص‌ها و گویه‌های مؤثر در سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی پرداخته شده است که بر همین اساس تعداد پنج شاخص و ۱۲۰ گویه شناسایی شده است. برای بررسی اهمیت هر یک از آن‌ها این پژوهش با توجه به نوع شاخص‌ها از آزمون آنوا (تحلیل واریانس یک طرفه) استفاده گردید که نتایج آن را می‌توان بدین‌صورت جمع‌بندی نمود که در بخش بین‌گروهی و درون-گروهی می‌توان با توجه به میانگین مجذورات و مجموع مجذورات می‌توان به میزان مطلوبیت خروجی پی بُرد اما آنچه که در جدول خروجی آزمون آنوا مهم و کارآمد است میزان آماره آزمون F و مقدار سطح معناداری می‌باشد که عدد آماره آزمون ٦/٢٢٩ و مقدار سطح معناداری ۹۹ درصدی نشان از اهمیت بسیار بالای شاخص‌های پنج‌گانه بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی می‌باشد. بر همین اساس سپس برای مشخص نمودن اهمیت هریک از شاخص‌ها به‌صورت مجزا از آزمون دانکن استفاده شد که نتایج نشان دهنده این مقوله می‌باشد که خروجی حاصله از این آزمون شاخص‌های مورد نظر در سه

طیف گروه‌بندی شده است علت این مسئله که سه طیف دسته‌بندی شده‌اند نزدیکی میزان اهمیت آن‌ها بود است به‌طوری‌که شاخص محیط‌زیستی کمترین میزان اهمیت را با مقدار ۲/۹٤۸٤ در طیف یک به همراه شاخص اقتصادی با مقدار ۳/۱۰٥٦ قرار گرفته است ولی شاخص اقتصادی به خاطر نزدیکی با شاخص‌های اجتماعی – فرهنگی با مقدار ۳/۲۳۸۱ و مدیریتی – نهادی با مقدار ۳/۳۱۰۵ هم سایه در طیف دو شده‌اند و این دو شاخص (اجتماعی – فرهنگی و مدیریتی – نهادی) به خاطر نزدیکی به میزان اهمیت شاخص کالبدی (کاربری اراضی) در طیف سوم هم قرار گرفته‌اند و تنها شاخصی که به‌صورت مجزا در یک طیف و گروه قرار گرفته است شاخص کالبدی (کاربری اراضی) می‌باشد که تنها با مقدار ۳/٤۱۸٦ در گروه سوم قرار گرفته است و بیشترین زیر مجموعه برای آلفا را به خود اختصاص داده است که این امر نشان از اهمیت بیشتر این شاخص بر روی سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب برای روستاهای واقع در حوضه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان بوده است که نمودار ذیل که خروجی آزمون تعقیبی دانکن می‌باشد هم حاکی از همین عملکرد شاخص‌ها می‌باشد که همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان اهمیت شاخص‌های محیط‌زیستی می‌باشد و پس از آن کمترین اهمیت به شاخص اجتماعی – فرهنگی بر می‌گردد و سپس شاخص اقتصادی و پس از آن مدیریتی – نهادی نقش با اهمیت‌تری ایفا می‌نمایند و درنهایت شاخص‌های کالبدی (کاربری اراضی) بیشترین اهمیت را در سیاست‌گذاری فضایی مدیریت ریسک سیلاب روستایی دارا می‌باشد که بر این اساس پیشنهادهای ذیل مطرح می‌شود:

- احترام گذاشتن به حریم رودخانه از طریق جلوگیری از دست‌اندازی‌های افراد سودجو به این مناطق؛
- گسترش فرهنگ درخت‌کاری و فرهنگ‌سازی برای جلوگیری از تخریب محیط‌زیست، درختان و مراتع؛
- مدیریت کشت اراضی تناوب در کشت گونه‌های مختلف در فصول مختلف سال؛
- نیازسنجی در روستاهای مختلف برای شناسایی اثرات فضایی بر روی شکل‌گیری نیازهای کالبدی؛
- اقدامات سازه‌ای با کیفیت متناسب با ویژگی‌های مورفولوژیکی هر منطقه؛
- ایجاد کاربری‌های بیولوژیکی زیستی و بیو مکانیکی کنترل سیلاب و
- تدوین نقشه توسعه روستاها با در نظر گرفتن خطرپذیری مناطق.

**مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد.**

## کتابنامه


- بدری، سیدعلی؛ رضوانی، محمدرضا؛ خدادادی، پروین؛ ۱٤۰۰. طراحی الگوی چالش‌های تدوین سیاستگذاری فضایی مناطق روستایی کشور، فصلنامه مجلس و راهبرد، سال بیست وششم، شماره ۹۹ https://dorl.net/dor/20.1001.1.26455471.1399.7.1.2.9
- حاجی بیگلو، محبوبه؛ شیخ واحد، بردی؛ ۱۳۹۸. تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها، نشریه آب و توسعه پایدار، سال پنجم، شماره ۱، صص ۷۳-۸۲. https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.62313
- Associated Programme on Flood Management (APFM)., 2017. Selecting measures and designing strategies for integrated flood management - a guidance document. Associated Programme on Flood Management.
- Bormann Helge, Kebschull Jenny, Ahlhorn Frank., 2021. Challenges of Flood Risk Management at the German Coast, Water Resources Quality and Management in Baltic Sea Countries pp 141-155.
- Mohit Prakash Mohanty, Vittal H, Vinay Yadav, Subimal Ghosh, Goru Srinivasa Rao, Subhankar Karmakar., 2021. A new bivariate risk classifier for flood management considering hazard and socio-economic dimensions, Journal of Environmental ManagementVolume 255. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109733.
- Hamid Reza Pourghasemia Seyed Vahid Razavi Termehb Narges Kariminejadc Haoyuan Hongd Wei Chene., 2020. An assessment of metaheuristic approaches for flood assessment, Journal of HydrologyVolume 582. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124536 .
- D. D. Sinha, A. N. Singh, U. S. Singh., 2020.
- Klijn F, Samuels P, van Os A., 2008. Towards flood risk management in the EU: State of affairs with examples from various European countries. *Int J River Basin Manage* 6: 307-321.
- de Bruijn, K., F. Klijn, M. Caroline, M. Marjolein, and W. Henk., 2008. Long-term strategies for flood risk management: scenario definition and strategic alternative design. Floodsite report T14-08-01.
- Concept Paper., 2004. Technical Document No. 1, WMO & GWP.
- Tanner and Rentschler., 2015. The Added Value of System Robustness Analysis for Flood Risk Management Illustrated by a Case on the IJssel River, Natural Hazards and Earth System Sciences, 15, PP. 213–223.
- Dore, J., and L. Lebel., 2010. Deliberation and scale in mekong region water governance. Environmental Management 46(1):60–80.
- UNISDR., 2015. Making development sustainable: the future of disaster risk management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland. https://doi.org/10.18356/bd3a73ea-en.
- Mostert, E., M. Craps, and C. Pahl-Wostl., 2008. Social learning: The key to integrated water resources management? Water International 33(3):293–304.
- Young, O.,2006. Vertical interplay among scale-dependent environmental and resource regimes. Ecology and Society 11(1).
- Cash, D. W., W. N. Adger, F. Berkes, P. Garden, L. Lebel, P. Olsson, L. Pritchard, and O. Young., 2006. Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world. Ecology and Society 11(2):8.

- Berry Gersonius, Chris Zevenbergen, Sebastian van Herk., 2008. Managing flood risk in the urban environment: linking spatial planning, risk assessment, communication and policy, Adaptive and Integrated Water Management pp 263-275.
- Van Buuren, A., G. J. Ellen, and J. F. Warner., 2016. Path dependency and policy learning in the Dutch delta: toward more resilient flood risk management in the Netherlands? Ecology and Society 21(4):43. https://doi.org/10.5751/ES-08765-210443.
- Jing Ran, Zorica Nedovic-Budic., 2016. Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure, Computers, Environment and Urban Systems 57 (2016) 68–79.
- IPCC of East Azerbaijan Province., 2019. Available online: https://azsharghi.mporg.ir/ (accessed on 15 September 2020).
- Said, F.X.D.; Kpinpuo, S.D.; Hinson, R.E.,2019. Sustainable development in Ghana's gold mines: Clarifying the stakeholder's perspective. J. Sustain. Min, 18, 84–88.
- Kaewkitipong, J., Challies, E., Jager, N.W., Kochskaemper, E., Adzersen, A., 2018. The environmental.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.87-108 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.81604.1348 Open access

# Assessing the Vulnerability of Power Distribution Network to Natural Flood Hazards: A Case Study of the Behdan Watershed in Birjand County

**Ali Ashrafi[a*], Javad Mikaniki[b], Morteza Dehghani[c], Hassan Sabeghi[d]**

[a] *Assistant Professor in Remote Sensing and Geographic information system, University of Birjand, Birjand, Iran*
[b] *Associate Professor in Rural Geography, University of Birjand, Birjand, Iran*
[c] *PhD in Watershed Management, Birjand, Iran*
[d] *MA in Geography, University of Birjand, Birjand, Iran*

***Received: 17 March 2023*** ***Revised: 19 April 2023*** ***Accepted: 1 June 2023***

## Abstract

According to the South Khorasan Province Electricity Distribution Company report, almost all the villages of the province are eqipped with electricity and related services. Since the density of settlements as well as industrial and service centers and consequently the electricity distribution network in the Shahroud watershed located in Birjand county is higher than other basins of the province, as well as, considering the damage caused to the masts and transmission beams of the electricity network in the past years, this study investigated the zoning of the vulnerability of the electricity distribution network against natural hazards in the Behdan watershed as a case to implement the model and estimate possible damages. To conduct this research, first, a map of the bases, the 20 kV network and other facilities of the electricity distribution company was prepared, topographical maps were used and matched with the electricity distribution network, and the effective lines were identified. Due to the absence of a hydrometric station in the studied area, the flood discharge of the studied basin was determined using the experimental-analytical method. In order to determine the flood zones, the transverse profile of the canals was first taken using the DGPS device. Using a photogrammetry drone, images were taken and, a digital elevation model was prepared. Then, the 100-year flood height model in each sub-basin was determined using Hec Ras software, and the flood area was determined using Hec Geo Ras extension in ArcGIS. Finally, the facilities related to the electricity distribution company exposed to flood damage and the possible costs caused by the flood were calculated for a representative basin.

**Keywords:** Flood Zoning, Vulnerability, Electricity Distribution Network, Birjand County, Behdan Watershed

*. Corresponding author: Ali Ashrafi: Email: aashrafi@birjand.ac.ir Tel:+989358307269

**How to cite this Article:** Ashrafi, A., Mikaniki, J., Dehghani, M., & Sabeghi, H. (2024). Assessing the vulnerability of power distribution network to natural flood hazards: A case study of the Behdan Watershed in Birjand County. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 87-108.
**DOI: 10.22067/geoeh.2023.81604.1348**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81604.1348

**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۱۰۸-۸۷**

**مقاله پژوهشی**

# پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل (موردمطالعه: حوضه بهدان، شهرستان بیرجند)

**علی اشرفی[1] - استادیار سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.**
**جواد میکانیکی- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.**
**مرتضی دهقانی- دکتری آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.**
**حسن سابقی- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش مخاطرات محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۳/۱۱**

**چکیده**

بر اساس گزارش شرکت توزیع برق استان خراسان جنوبی تقریباً تمامی روستاهای استان از نعمت برق و خدمات مرتبط برخوردارند. در این تحقیق با توجه به اینکه تراکم آبادی‌ها و همچنین مراکز صنعتی و خدماتی و به‌تبع آن شبکه توزیع برق در حوضه آبریز شاهرود بیرجند نسبت به سایر حوضه‌های استان بیشتر است از طرفی، با توجه به آسیب‌های وارد شده به دکل‌ها و تیرهای انتقال شبکه برق در سنوات گذشته، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی در حوضه آبخیز بهدان به‌عنوان نمونه برای اجرای مدل و برآورد خسارت‌های احتمالی موردبررسی قرار گرفته شده است. برای انجام تحقیق حاضر در ابتدا نقشه پایه‌ها و شبکه ۲۰ کیلوولت و سایر تأسیسات شرکت توزیع برق اخذ شد، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تطبیق آن با شبکه توزیع برق مسیل‌های تأثیرگذار مشخص شدند. با توجه به عدم وجود

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۸۳۰۷۲۶۹ Email:aashrafi@birjand.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

اشرفی، علی، مکانیکی، جواد، دهقانی، مرتضی، سابقی، حسن؛ ۱۴۰۳. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل (مورد مطالعه: حوضه بهدان، شهرستان بیرجند). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۱۰۸-۸۷
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81604.1348

ایستگاه هیدرومتری در محدوده مطالعاتی، دبی سیلابی حوضه موردمطالعه با استفاده از روش تجربی-تحلیلی تعیین گردید. برای تعیین پهنه‌های سیلاب ابتدا با استفاده دستگاه DGPS پروفیل عرضی مسیل‌ها برداشت شد. با استفاده از دستگاه پهپاد فتوگرامتری اقدام به برداشت تصاویر و تهیه مدل ارتفاع رقومی شد. سپس مدل ارتفاع سیلاب ۱۰۰ ساله در هر زیر حوضه با استفاده از نرم‌افزار Hec Ras تعیین و با استفاده از افزونه Hec Geo Ras پهنه سیلاب مشخص گردید. درنهایت تأسیسات مربوط به شرکت توزیع برق در معرض آسیب سیلاب و هزینه‌های احتمالی ناشی از سیل برای یک حوضه معرف محاسبه گردید.

**کلیدواژه‌ها:** پهنه‌بندی سیل، آسیب‌پذیری، شبکه توزیع برق، شهرستان بیرجند، حوضه آبخیز بهدان.

## ۱- مقدمه

شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌های یک جامعه، بنیان‌های اساسی آن محسوب می‌شود که عملکرد صحیح جامعه به آن وابسته است. بروز هرگونه اختلال در آن‌ها، فعالیت‌های روزمره را با مشکل مواجهه ساخته و در موارد شدیدتر، زمینه‌ساز بحران‌های اجتماعی می‌گردد. در بین زیرساخت‌های حیاتی و حساس، سیستم قدرت و به تبع آن شبکه‌های توزیع نیروی برق، نقش اساسی در فرایند زندگی روزمره جوامع پیشرفته دارد. این نقش نه‌تنها به دلیل اهمیت انرژی الکتریکی است، بلکه ادامه حیات دیگر زیرساخت‌ها نیز به انرژی مطمئن و پایدار برق وابستگی دارد. با عنایت به اینکه اختلال در تأمین انرژی الکتریکی، منجر به هزینه‌های بالای اقتصادی و اجتماعی می‌شود، تأمین انرژی پایدار موردنیاز خصوصاً برای زیرساخت‌های از پیش تعریف شده و در نتیجه آن ایجاد شرایطی برای استمرار فعالیت‌های اساسی و ضروری مردم، تضمین تداوم نیازهای حیاتی و اداره امور کشور، در شرایط بحران ناشی از بروز بلایای طبیعی همچون سیل از طریق برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های تابآورانه و کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، تأسیسات و تجهیزات حیاتی و حساس، ضروری است. ازاین‌رو بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع برق در برابر حوادث طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص موضوع پهنه‌بندی سیل مطالعات زیادی در ایران و خارج از ایران انجام شده است.

## ۲- پیشینه مطالعات

### ۲-۱- مرور منابع داخلی

**مختاری هشی و رحیمی (۱۳۹۵)**، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی را با استفاده از منطق فازی ارزیابی نمودند. در این پژوهش از روش‌های زمین آمار و

تحلیل‌های فضایی و رتبه‌بندی فاکتورهای مؤثر در سیلاب و شاخص‌های Dunn Index، FCM و ASW استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بخش زیادی از جوامع انسانی ساکن در استان خراسان جنوبی شامل ۹ شهر و ۱۵۳روستا با مجموع بیش از ۲۵۰ هزار نفر جمعیت که بیش از ۳۷ درصد جمعیت استان را تشکیل می‌دهد، در معرض خطر سیل قرار دارند. همچنین شمار زیادی از مراکز مهم و حیاتی استان ازجمله فرودگاه، دانشگاه، نیروگاه برق و بیمارستان نیز در خطر قرار گرفته‌اند. این امر نشان می‌دهد که در گذشته فعالیت‌های توسعه‌ای و مکان‌یابی و تخصیص کاربری‌های اراضی با اصول و ضوابط علمی انجام نشده است.

**صادقی‌خمامی و همکاران (۱۳۹٦)**، در پژوهشی کاربرد GIS و الزامات آن در تدوین اطلس آسیب پذیری و ریسک شبکه‌های توزیع شبکه برق استان کرمانشاه که در معرض تهدیدات طبیعی قرار دارند را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش کلیه اطلاعات شبکه با استفاده از GIS برداشت شده و ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه و تأسیسات در برابر مخاطرات طبیعی مشخص شد. همچنین نقاط، تأسیسات و شبکه‌های آسیب‌پذیر در برابر تهدیدات مختلف شناسایی و اطلس آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع در برابر تهدیدات طبیعی تهیه گردید. نتایج نشان داد با اجرای این سناریو می‌تواند یک تصویر کلان از وضعیت آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع برق کشور و تأمین امکانات لازم جهت کاهش ریسک و اتخاذ راهکارهای پیشگیرانه را ارائه نماید.

**صراف و همکاران (۱۳۹٦)** در پژوهشی با بهره‌گیری از تصاویر Orthophoto پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شاپورخشت در شهرستان کازرون استان فارس را انجام دادند. در این پژوهش از جدیدترین تصویر Orthophoto برای تعیین عوارض و محدوده موردمطالعه استفاده شده است. همچنین با استفاده از مدل HEC-RAS و نرم‌افزارهای GIS و HEC-GeoRAS سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شبیه-سازی گردید. نتایج نشان داد به لحاظ پهنه سیل‌خیزی، تفاوت چشم‌گیری بین دوره‌های بازگشت مختلف وجود ندارد و در زمان انجام مطالعه جریان آب در منطقه زیر حالت بحرانی است.

**مددی و همکاران (۱۳۹۷)** در پژوهشی با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC پهنه‌بندی سیلاب در حوضه خیاو چای مشکین‌شهر را ارزیابی نمودند. برای این پژوهش ده عامل شیب، ارتفاع، بارش، CN، ارتفاع رواناب، فاصله از رودخانه، خاک، لیتولوژی، پوشش گیاه و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر در بروز سیلاب در نظر گرفته شدند. همچنین برای وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با اوزان ۰/۱۷۳، ۰/۱٦۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳ بیش‌ترین تأثیر را بر رخداد سیلاب داشته‌اند. همچنین طبقه‌های پرخطر و بسیار پرخطر به ترتیب مساحتی بالغبر ٤۱/٤٥۷ و ۷٥/۸۷٥ کیلومترمربع را به خود اختصاص داده‌اند.

**گودرزی و فاتحی‌فر (۱۳۹۸)**، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیلاب تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل SWAT و GIS در حوضه آذرشهرچای را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش از داده‌های اقلیمی دما و بارش مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP8.5 استفاده شده، ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها با استفاده از مدل SDSM انجام و سپس مقادیر دما و بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ محاسبه و این اعداد به‌عنوان ورودی مدل SWAT مد نظر قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد ٤١/٥٥ درصد حوضه در طبقه بسیار کم و کم، ۲۷/۲۳ درصد در طبقه متوسط و ۳۱/۲ درصد در طبقه زیاد و خیلی زیاد به لحاظ خطر سیلاب قرار گرفتند.

**صابری فر و شکری (۱۳۹۸)**، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند را با استفاده از مدل AHP و نرم‌افزارهای ExportChoice و ArcGIS ارزیابی نمودند. در این پژوهش از داده‌های کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مشخصات آبراهه، شیب، تراکم مسکونی و جمعیت، CN، رواناب، قدمت ابنیه و فضاهای باز استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد تمام وسعت شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد. باوجوداین، پهنه‌های جنوب و جنوب شرقی که نزدیک به ۲۰ درصد از وسعت شهر را به خود اختصاص داده‌اند، در معرض خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند. بخش‌های شمال غربی و جنوب غربی با ۵۰ درصد وسعت، در محدوده خطرپذیری متوسط و سایر بخش های شهر که دارای کمتر از ۳۰ درصد وسعت می‌باشند، در پهنه خطرپذیری کم و بسیار کم طبقه‌بندی شدند.

**حجازی و همکاران (۱۳۹۸)**، در پژوهشی با استفاده از مدل HEC-RAS و HEC-GEO-RAS خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش‌چای را پهنه‌بندی نمودند. بر این اساس پس از تعیین پلان رودخانه، کرانه‌های راست و چپ و سرعت جریان، مناطق سیل‌گیر حاشیه رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله تعیین گردید. نتایج نشان داد در حاشیه رودخانه ۱۰۰ کیلومتر در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله و ٦٣ کیلومتر در معرض خطر سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله قرار دارد.

**احمدی(۱۳۹۸)** در پژوهشی پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز فرخی را با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش متغیرهای ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه اصلی، زمین‌شناسی، شیب، شبکه زهکشی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد بیش‌ترین خطر سیلاب در مرکز و ارتفاعات غربی آبخیز افین است. همچنین روستاهای ورزق، ورزگ، عباس‌آباد، گرگنج و برج محمد در معرض خطر سیلاب شدید قرار دارند. روستاهای فرخی، مهدی‌آباد و خشک در طبقه وقوع سیلاب کم و خیلی کم قرار گرفتند.

**ولی‌زاده، کامران و همکاران (۱۳۹۸)**، در پژوهشی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی تأثیر آن بر اراضی پیرامون رودخانه لیقوان پرداختند. در این پژوهش پس از پردازش داده‌ها با نرم‌افزار HEC-GeoRAS، ورودی‌ها به مدل HEC-RAS وارد و دبی‌های سیل در

دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال برآورد گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی با نقشه کاربری اراضی تلفیق شدند. نتایج پژوهش نشان داد با افزایش دوره بازگشت، پهنه‌های سیل‌خیز افزایش یافته به‌طوری‌که در دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب ۲٤/٦، ۱۳/٦، ۷۵/٦، ۸۰/۷، ٦۹/۹، ۳٦/۱۰ و ٤٤/۱۱ هکتار تحت تأثیر سیلاب قرار خواهد گرفت.

**درفشی و همکاران (۱۳۹۹)** در پژوهشی الگویی مناسب برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه ۱۰ و ۲۲ شهر تهران را بررسی نمودند. به این منظور از بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و نزدیکی به پل‌ها به‌عنوان متغیرهای فیزیکی، شیب و شبکه آبراهه به‌عنوان متغیرهای تشدیدکننده سیلاب در روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. نتایج نشان داد متغیرهای تراکم جمعیت و آبراهه به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۸۲۵ و ۰/۰٤۲۸ بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی سیلاب داشته‌اند. همچنین منطقه ۱۰ نسبت به منطقه ۲۲ از ریسک سیل‌گیری بیش‌تری برخوردار است.

**شفیعی‌مطلق و عبادتی (۱۳۹۹)**، در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS پهنه‌بندی سیلاب و شبیه سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه مارون در جنوب غرب ایران را ارزیابی نمودند. در این پژوهش نقش‌های کاربری اراضی، توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نرم‌افزار GIS استخراج گردید. از نرم‌افزار HEC-GeoRAS برای تهیه مشخصات شبکه و هندسه آبراهه استفاده گردید. سپس از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد مساحت سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۲٦۵، ۱٦۵۱، ۲۳۳٤ و ٤٤۵۰ هکتار و تعداد روستاهای در معرض خطر به ترتیب برابر با ۵، ۳، ۲ و ۹ هستند.

گروه GIS و مطالعات فنی سیستم شرکت توزیع برق خراسان جنوبی (۱۳۹۹) در مطالعه موردی لایه شبکه فشار متوسط را با لایه حریم رودخانه‌ها در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی تلفیق نموده که بر اساس این مطالعه مشخص شده است که تعداد ٦۰۰ عدد پایه در حریم سیلاب قراردارند.

### ۲-۲- مرور منابع خارجی

پردهان[1] و همکاران (۲۰۱٤)، در پژوهشی در منطقه ترانگو، مالزی، دقت استفاده از SAR[2] و به‌ویژه داده‌های TerraSAR-X را برای تعیین مناطق سیل‌زده را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش از برنامه تجزیه‌وتحلیل بافت با استفاده از ماتریس هم‌وقوع سطح خاکستری (GLCM[3]) برای طبقه‌بندی مبتنی بر

1 Pradhan
2 synthetic aperture radar
3 Gray-Level Co-occurrence Matrix

پیکسل و شیء استفاده شده است. نتایج نشان داد نقشه‌های موضوعی به‌دست‌آمده از روش پیکسلی نتوانستند به تفسیر بصری قابل قبولی دست یابند این در حالی است که دقت کلی به‌دست‌آمده با روش مبتنی بر شیء ۸۳/۶۳ درصد با ضریب کاپا ۰/۸ بود. نتایج طبقه‌بندی بافت تصویر نشان داد که برنامه پیشنهادی قابلیت تحلیل بافت در تصویر TerraSAR-X را دارد و می‌تواند در بسیاری از کاربردها مانند نقشه‌برداری کاربری/پوشش زمین (LULC)، مطالعات خطر و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده گردد.

وانگ[1] و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی تاب‌آوری سیستم‌های برق قدرت امریکا را در برابر بلایای طبیعی موردبررسی قرارداده است. در این پژوهش ۱۵ عامل خاموشی‌های بزرگ در ایالت متحده ازنظر درصد، میزان انرژی توزیع نشده و تعداد مشترکین درگیر موردبررسی قرارگرفته است. این عوامل شامل طوفان هاریکان، زلزله، ترنادو، آتش‌سوزی، خطای اپراتور، کاهش ولتاژ، طوفان یخ، هوای بسیار سرد بودند. رتبه عوامل از نظر تعداد مشترک متأثر به ترتیب عبارتند از طوفان هاریکان، زلزله، طوفان یخ، سایر عوامل خارجی، افت ولتاژ، باد و باران و حملات عمدی قرار گرفت.

پانتلی[2] و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی تغییرات آب‌وهوا بر قابلیت اطمینان و عملکرد اجزای سیستم قدرت را بررسی نمودند. در این مقاله چالش‌ها و الزامات ارزیابی اثر تغییرات شدید آب و هوایی بر فرکانس و مدت‌زمان خاموشی‌های سیستم برق موردبحث قرار گرفته و درنهایت یک چارچوب و مدل جامع تحقیقاتی برای تقویت انعطاف‌پذیری سیستم برق در برابر حوادث شدید آب و هوایی ارائه شده است که می‌تواند به فهمیدن و مدل‌سازی تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی بر شبکه‌های توزیع برق و چگونگی کاهش اثرات مذکور در آینده کمک نماید.

منسا و اوسوریو[3] (۲۰۱۶)، در پژوهشی تاب‌آوری سیستم‌های الکتریکی را در منطقه هریس، تگزاس؛ تحت تأثیر حوادث اقلیمی ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش تطابق مناسبی پس از شبیه‌سازی با شرایط واقعی نشان داده است. مدل ارزیابی خاموشی همچنین نشان می‌دهد چگونه یک برنامه‌ترمیم و اصلاح تاب‌آوری شبکه عملکرد سیستم را به‌طور قابل‌توجهی به‌ویژه پس از حوادث طوفان بهبود می‌بخشد. چارچوب استفاده شده ابزاری کارآمد برای کاوش گسترده و طیف وسیعی از سناریوها در سیستم‌های واقعی بزرگ در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

چن[4] و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرودینامیکی دو بعدی InfoWorks ICM در شهر جینان چین پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد مدل استفاده شده در این پژوهش عملکرد خوب و قابل قبولی داشته است. همچنین نتایج پهنه بندی خطر سیل حاکی از آن است که

1 Wang
2 Panteli
3 Mensah & Osorio
4 Cheng

بارندگی‌های با دوره بازگشت بیش‌تر مناطق بزرگ‌تری را با خطر سیلاب متوسط تا شدید مواجه ساخته است.

سینگ[1] و کاسینگ (۲۰۱۷)، در پژوهشی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص مناطق سیل‌زده در جنوب چین را انجام دادند. برای انجام این پژوهش از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس الگوریتم ژنتیک (GA[2]) و شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBFNN[3]) استفاده شد. همچنین تصاویر Landsat 8 OLI از دریاچه Dongting مورداستفاده قرار گرفت. پس از ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و تهیه ماتریس خطا، نتایج نشان داد این روش دقت تولیدکننده، دقت مصرف‌کننده و مقدار ضریب کاپا را در بازه مناسب ارائه می‌دهد و روشی بسیار مؤثر و کارآمد در این زمینه است.

محمد[4] (۲۰۱۹)، در پژوهشی با ادغام داده‌های سنجش‌ازدور با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مدل‌سازی فضایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل در شهر قنا مصر را انجام داد. در این پژوهش ده عامل بارندگی، خاک، زمین‌شناسی، شیب، ارتفاع، جهت جریان، شبکه زهکشی، پوشش زمین، کل جمعیت و تراکم جمعیت برای پهنه‌بندی استفاده گردید. نتایج نشان داد مناطق شهری قنا، قس، نقده و دیشنا به ترتیب با ۲۵/۳، ۱٤/۹، ۱۲/۳ و ۹/۸ درصد آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر سیلاب‌های ناگهانی هستند. همچنین ۷/٦٦ و ٤۳/۳٦ درصد از جمعیت در گروه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا قرار گرفتند.

سانچز مونوز[5] و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی ریسک شبکه برق در برابر جاری شدن سیل در شهرهای بارسلونا و بریستول را ارزیابی کردند. برای انجام این پژوهش انواع متغیرها همچون عمق آب، منحنی‌های شکنندگی، منحنی‌های آسیب، دوره بازگشت‌های با سناریوهای مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان داد ۳٦۳ پست توزیع در شهر بارسلونا و ٦۲۳ پست توزیع در شهر بریستول در معرض خطر قراردارند.

کیتی‌پونگ‌ویزز[6] و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی با استفاده روش AHP-GIS خطر سیل در جوامع نزدیک به سایت میراث جهانی در جزیره آیوتایا در تایلند را ارزیابی نمودند. همچنین در این روش میزان آمادگی افراد در مواجه با سیلاب از طریق پرسشنامه ارزیابی گردید. بر اساس تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تقریباً نیمی از کل منطقه (٥۲/٦۳٪) و سایت میراث فرهنگی (٤٤/۸٪) در معرض خطر بالای سیل قرار دارند. همچنین رواناب و تراکم جاده از عوامل اصلی وقوع سیل شناسایی شدند. تجزیه وتحلیل رگرسیون نشان داد که بین تجربه سیل گذشته و آمادگی ساکنان در برابر سیل همبستگی منفی وجود دارد.

1 Singh
2 Genetic Algorithm
3 Radial Basis Function Neural Network
4 Mohamed
5 Sánchez-Muñoz
6 Kittipongvises

مونوز[1] و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر سیلاب بر بخش برق را با استفاده از رویکرد تغییر اقلیم در شهر بارسلون اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش دو سناریوی سیل در شرایط فعلی و سیل در شرایط سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) تغییر اقلیم و همچنین اقدامات اعمال شده در بخش آب ازجمله افزایش ظرفیت زهکشی شهر و بهبود ظرفیت‌های سیستم فاضلاب موردبررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد بهبودهای ایجاد شده در شبکه برق با اقدامات انجام شده با هم مرتبط هستند و به‌طور قابل‌توجهی ایمنی شبکه برق را بهبود می‌بخشند. همچنین پیامدهای ناشی از حوادث شدید سیل را تا ٦۰٪، احتمال خرابی را تا ۵۰٪ و هزینه‌ها را تا ۷۷٪ کاهش می‌دهند.

مارچزینی و همکاران[2] (۲۰۲۱) در پژوهشی بر اساس روش Flood-SHE در ۲۳ حوضه رودخانه مرجع در ایتالیا و با استفاده از اطلاعات مربوط به وجود یا عدم وجود سیل و شش متغیر هیدرومورفومتریک محاسبه‌شده از مدل ارتفاع رقومی ۱۰ متری، سیل‌خیزی را بررسی نمودند. در این پژوهش ۹٦ مرتبه مدل برای هر زیرآبخیز با استفاده از ۳۲ ترکیب از متغیرهای کمکی هیدرومورفومتریک برای سه دوره بازگشت اجرا شد. نتایج نشان داد در همه زیرحوضه‌ها مناطق بالقوه سیل‌گیر دقیقاً با تقسیم‌بندی پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های مسیریابی سیل مطابقت داشت. همچنین نتایج حاکی از آن است که تعداد کمی از متغیرهای هیدرومورفومتری زمین برای ترسیم پهنه‌بندی دقیق سیلاب کافی است و امکان استفاده از Flood-SHE در مناطق دیگر را فراهم می‌کند.

دادهیچ[3] و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SAR در جنوب تایلند به ارزیابی سیلاب پرداختند. برای انجام این پژوهش نقشه‌های کاربری –پوشش اراضی از گوگل ارث انجین و بر اساس طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF[4]) صورت پذیرفت. همچنین طبقه‌بندی برای طبقه زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی از تصاویر ماهواره‌ای SAR باند Sentinel-1C ارائه شده توسط ESA (آژانس فضایی اروپا) استفاده شد. در ادامه مجموعه داده‌های قبل و بعد از حادثه سیل اخذ شده و با استفاده از جعبه‌ابزار Sentinel پردازش شدند. نتایج نشان داد اثربخشی Sentinel-1C-band SAR برای نقشه‌برداری سیلاب و طبقه‌بندی پوشش زمین مناسب است و از این رویکرد می‌توان برای برآورد دقیق خسارات/خطرات ناشی از سیلاب‌ها استفاده کرد.

سوتو[5] و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی تاب‌آوری سیستم برق در برابر سیل با استفاده از رویکردهای مدل‌سازی، ارزیابی تأثیر و استراتژی‌های کاهش میان‌مدت را در سایت‌های تگزاس ارزیابی نمودند. در این

1 Muñoz
2 Marchesini
3 Dadhich
4 Random Forest
5 Souto

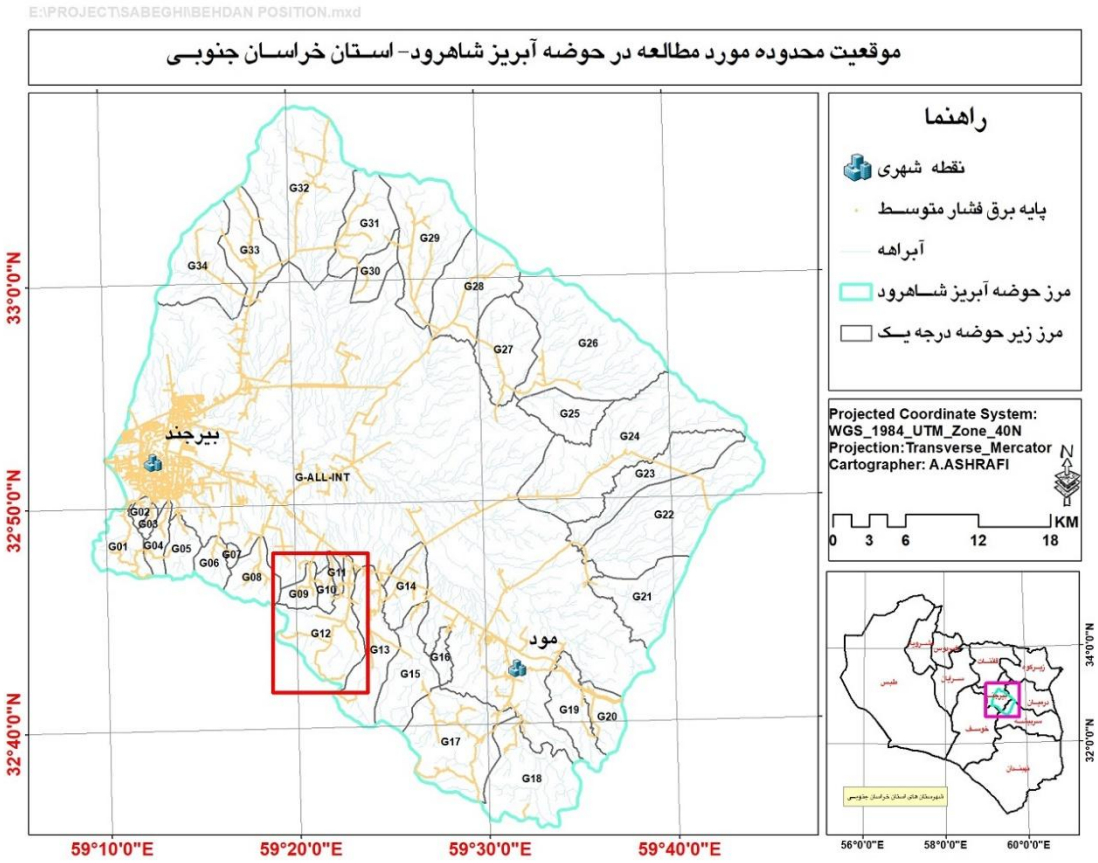
پژوهش از رابطه برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط (MILP[1]) و سناریوهای "بدون تغییر" و "استفاده از برنامه‌ریزی‌های تاب‌آوری" استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد احداث پست‌های برق در مکان‌های استراتژیک باعث افزایش انعطاف‌پذیری سایت‌ها در برابر سیلاب و کاهش اثرات منفی آن می‌شود. همچنین انتخاب مناسب‌ترین مکان سبب کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز می‌گردد.

## ۳- مواد و روش

### ۳-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این شهرستان بین مدار ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و مدار ۵۸ درجه و ٤٠ دقیقه تا ۵۹ درجه و ٤٠ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهرستان بیرجند با مساحت ٤٠٠٤ کیلومترمربع ۲/۷ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، شهرستان بیرجند دارای 1 بخش،۱شهر و ۷ دهستان است. این شهرستان از شمال به شهرستان قاینات، از شمال شرق به شهرستان زیرکوه، از شرق به شهرستان‌های درمیان و سربیشه، از جنوب به شهرستان خوسف و از غرب به شهرستان سرایان محدود است. ازآنجاکه محدوده‌های سیاسی و تقسیمات کشوری در بعضی مناطق با مرز حوضه های آبخیز تطابق ندارد. دو حوضه آبریز اصلی در شهرستان بیرجند، حوضه آبریز شاهرود و حوضه آبریز چاهک موسویه است. بخشی از حوضه آبریز شاهرود در شهرستان سربیشه قرار دارد. همچنین بخشی از حوضه‌های آبریز چاهک موسویه در محدوده شهرستان بیرجند و بخشی در شهرستان قاینات واقع شده است و خروجی اصلی این حوضه خارج از شهرستان بیرجند است. این تحقیق در حوضه آبخیز بهدان (زیر حوضه G12) از زیر حوضه‌های آبریز شاهرود انجام شده است.

1 mixed-integer linear programming




**شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز بهدان در حوضه آبریز شاهرود، شهرستان بیرجند و استان خراسان جنوبی**

### ۳-۲- روش‌ها

هدف از مطالعه حاضر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع در برابر مخاطره طبیعی سیل در حوضه آبخیز بهدان است. بدین منظور مراحل تحقیق در چند گام اصلی شامل اخذ موقعیت مکانی تجهیزات شبکه توزیع برق و مکان‌محور کردن آن، نقشه‌برداری مقاطع عرضی و طولی رودخانه بهدان با دستگاه DGPS و پهباد فتوگرامتری، تحلیل سیلاب، مدل‌سازی و روندیابی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار Hec RAS، تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع رودخانه و سیلاب دشت، تبدیل ارتفاع سیلاب به پهنه سیلابی با برنامه Hec GeoRAS و تحلیل‌های مکانی و توصیفی صورت پذیرفته است.

**۳-۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها**

برای انجام این پژوهش ابتدا اطلاعات مکانی مربوط به تجهیزات شبکه توزیع شامل پایه‌های فشار متوسط، ترانسفورماتورها و کلیدها از شرکت توزیع برق شهرستان بیرجند اخذ شد. اطلاعات اقلیمی و محیطی مانند آمار مربوط به بارندگی از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید. برای تهیه مدل ارتفاع رقومی اقدام به برداشت تصاویر پهپاد با مقیاس خروجی ۱:۵۰۰۰ شد. سایر لایه‌های اطلاعاتی مانند کاربری اراضی و پوشش اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی اخذ شد.

**۳-۲-۲- نقشه‌برداری مقاطع عرضی و طولی رودخانه**

شرط اصلی تعیین ارتفاع سیلاب و پهنه مرتبط با آن داشتن مقاطع طولی و عرضی رودخانه با دقت و مقیاس مناسب است (**مهدوی، ۱۳۹۵**، لینسلی[1]، ۱۹۷۶). در این تحقیق برای افزایش دقت، در مسیل‌های شناسایی شده در مراحل قبلی اقدام به برداشت پروفیل عرضی با استفاده از دستگاه PSDG و تا فاصله ۱۰۰ متری از مرکز مسیل با استفاده از پهباد فتوگرامتری اقدام به برداشت داده شد. از تصاویر رنگی و مدل ارتفاع رقومی استخراج شده برای تهیه مقاطع عرضی و طولی مسیل‌ها استفاده شد.

**۳-۲-۳- تحلیل‌های هیدرولوژیکی**

با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در حوضه آبخیز بهدان و حتی شهرستان بیرجند، در این تحقیق به‌منظور محاسبه دبی سیلابی از روش‌های تجربی پرکاربرد در ایران استفاده شده است. مدل‌های تجربی کریگر، فولر، منحنی پوش، دیکن، استدلالی و SCS از پرکاربردترین روش‌های مورداستفاده برای برآورد سیلاب حوضه‌های فاقد آمار (**مهدوی، ۱۳۹۵**، چوو و همکاران[2]، ۱۹۹۶، سینگه[3]، ۲۰۱۷) است. بر اساس بررسی مستندات موجود در گزارش‌های مطالعات حریم بستر رودخانه‌های استان خراسان جنوبی (شرکت آب منطقه‌ای) و همچنین گزارش‌های هیدرولوژی مطالعات آبخیزداری (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری) این مدل‌ها در ایران و استان خراسان جنوبی نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد و نتایج قابل قبولی داشته است. بر این اساس در این تحقیق ضمن استفاده از این روش‌ها برای افزایش دقت محاسبات برآورد سیلاب، ضرایب منطقه‌ای مدل‌های اعلام شده نیز بر اساس اطلاعات ایستگاه هیدرومتری افین (به‌عنوان ایستگاه تقریباً مشابه حوضه که از نظر دوره آماری و صحت و همگنی آمار شرایط مناسبی دارد) و همچنین سایر ایستگاه‌ها (افین، منصورآباد، خونیک، عباس‌آباد) واسنجی شده است. برای تعیین ضریب منطقه‌ای در

1 Linsley
2 Chow et al
3 Singh

دوره بازگشت مختلف نیز ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Hyfa مقادیر دبی سیلابی ایستگاه معرف (و سایر ایستگاه‌ها) با استفاده از توزیع‌های مختلف آماری (نرمال، لوگ نرمال، لوگ نرمال سه پارامتره، گمبل، پیرسون و لوگ پیرسون III) محاسبه (**مهدوی، ۱۳۹۵**) و سپس توزیع مناسب بر اساس آزمون خی ۲[1] و همچنین معیار اطلاع بیزی-شوارتز[2] انتخاب گردید و در مرحله بعدی ضرایب منطقه‌ای هر مدل در دوره بازگشت مختلف تعیین گردید. انتخاب نهایی دبی سیلابی بر اساس مستندات موجود در آرشیو ستاد حوادث غیرمترقبه، شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری (گزارش‌های هیدرولوژی حوضه‌های فاز ۱، ۲ و ۳ باقران، آبخوان بیرجند و حوضه آبخیز ارتفاعات شمالی آبخوان بیرجند) و همچنین مصاحبه با جوامع محلی به‌خصوص کارشناسان دانشگاهی ساکن و یا متولد در حوضه و همچنین بررسی داغ‌آب رودخانه اصلی تعیین و درنهایت نتایج روش دیکن که بر اساس ایستگاه‌های هیدرومتری افین، منصورآباد، خونیک و عباس‌آباد واسنجی شده است انتخاب گردید. برای بررسی دقیق‌تر نتایج انتخابی از تلفیق هم‌زمان داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ نیز استفاده شده است برای این منظور با توجه به اینکه شدیدترین واقعه بارندگی ۳۰ ساله اخیر ایستگاه باران‌سنجی بیرجند در تاریخ چهارم شهریورماه ۱۳۹۹ اتفاق افتاده است مقدار سیلاب حوضه بهدان بر اساس این واقعه بارش و همچنین با کمک آثار داغ‌آب (شواهد میدانی و اطلاعات جوامع محلی مطلع) به دو روش واقعه بارش- سیلاب و برعکس محاسبه گردید. نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

**جدول ۱- مقادیر دبی پیک سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف در زیر حوضه‌های فرعی بهدان**

| نام حوضه | مساحت حوضه (KM2) | دبی پیک در دوره‌های بازگشت | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Q100 | Q50 | Q25 | Q10 | Q5 | Q2 |
| کل حوضه | ۳٦/۷٤ | ٦/٥۷ | ٥/۰۷ | ۳/۷۳ | ۲/۲٤ | ۱/۳٤ | ۰/٤٥ |
| شماره ۱ | ۱٦/۹۷ | ۳/٦۸ | ۲/۸٤ | ۲/۰۹ | ۱/۲٥ | ۰/۷٥ | ۰/۲٥ |
| شماره ۲ | ٦/۸۳ | ۱/۸٦ | ۱/٤٤ | ۱/۰٦ | ۰/٦۳ | ۰/۳۸ | ۰/۱۳ |
| شماره ۳ | ۱۲/۹۲ | ۳/۰۰ | ۲/۳۲ | ۱/۷۰ | ۱/۰۲ | ۰/٦۱ | ۰/۲۰ |

1 Chi-squared test
2 Bayesian information criterio

**۳-۲-٤- محاسبه ارتفاع سیلاب**

برای تعیین ارتفاع سیلاب ابتدا با استفاده از پروفیل عرضی و طولی آبراهه اصلی که بر اساس داده‌های DGPS و تصویربرداری پهپادی به دست آمده است مدل هیدرولوژی رودخانه در برنامه Hec-Ras طراحی و سپس با استفاده از مقادیر مختلف پیک سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با فرض شرایط هیدرولوژیکی جریان ماندگار و رژیم غیر بحرانی و همچنین شرایط مرزی (عمق نرمال آب) اجرا گردید مقادیر ضریب مانینگ برای رودخانه بر اساس مقادیر ارائه شده توسط **مهدوی(۱۳۹۵)** به نقل از کتاب مرجع هیدرولوژی (چو[1] و همکاران، ۱۹۹٦) و ضرایب تنگ‌شدگی و گشادشدگی مقطع رودخانه و نیز روش آزمون‌وخطا بر اساس وضعیت رودخانه تعیین شده است.

**۳-۲-۵- تعیین مدل رقومی ارتفاع رودخانه و سیلاب دشت**

مدل رقومی ارتفاع مقطع طولی و عرضی رودخانه و حریم آن با استفاده از تلفیق اطلاعات نقشه‌برداری شده توسط پهپاد و همچنین برداشت‌های میدانی با دستگاه DGPS در نرم‌افزار Agisoft Metashape تهیه شده است.

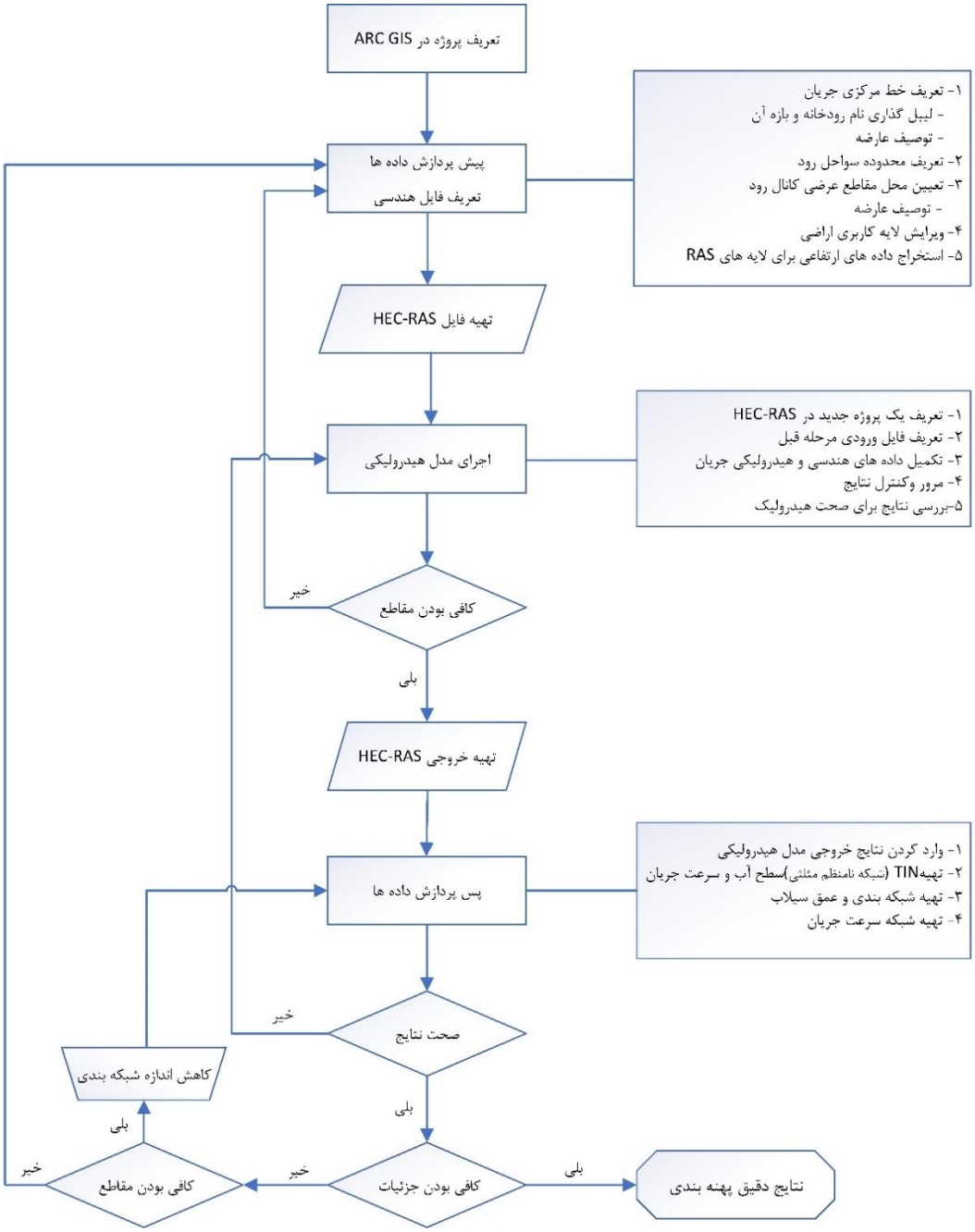
**۳-۲-٦- تعیین پهنه سیلابی**

برای تعیین پهنه سیلاب از افزونه (Geo-Hec-Ras) در نرم‌افزار Arc GIS10.8 استفاده شده است.

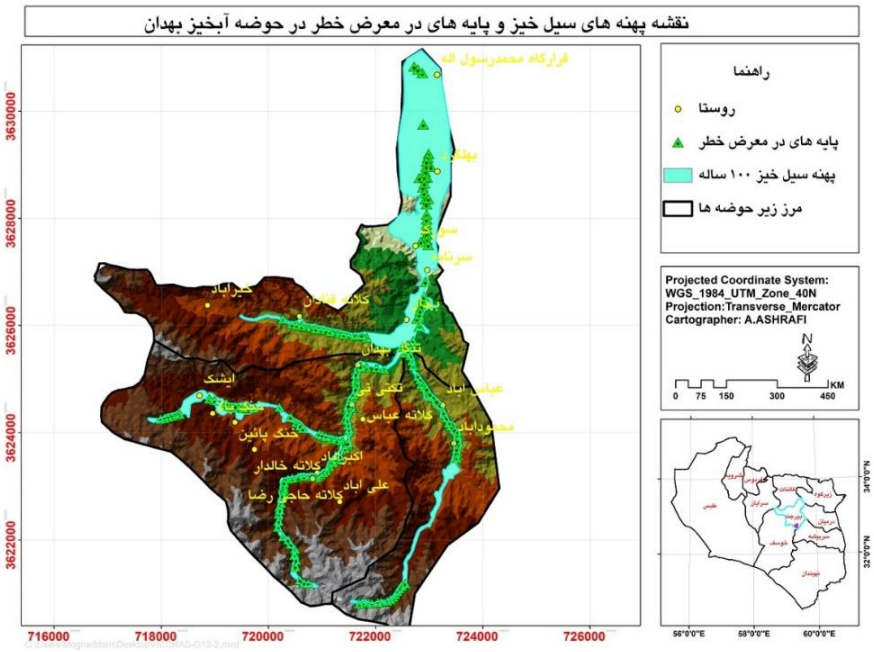
**۳-۲-۷- تعیین بخش‌های آسیب‌پذیر شبکه توزیع برق**

پس از پهنه‌بندی سیل در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و تطبیق پهنه‌های تهیه شده با موقعیت دکل‌های شبکه توزیع برق مشخص گردید در محدوده حوضه بهدان ۲۰٤ پایه دکل، یک تابلو قطع و وصل‌کننده برق، ۲۷ دستگاه ترانسفورماتور برق و ۲۲/۳ کیلومتر سیم شبکه فشار متوسط در معرض خطر سیل قرار دارد.

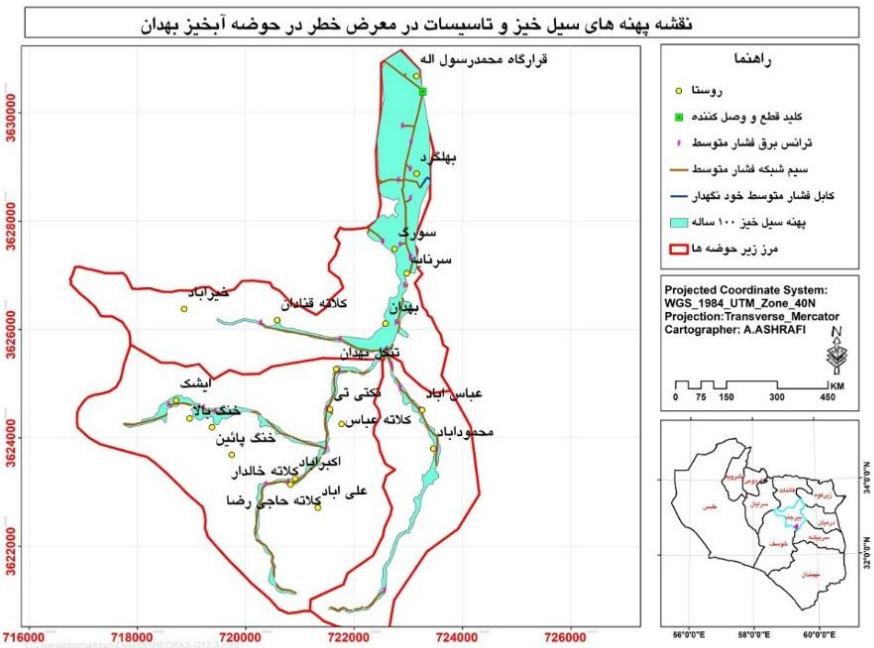
1 Chow et al




**شکل ۲- نمودار جریانی تحقیق**




**شکل ۳- پهنه‌های سیل‌خیز و پایه‌های ۲۰ کیلوولت شبکه توزیع برق در معرض خطر در حوضه آبخیز بهدان**




**شکل ٤- پهنه‌های سیل‌خیز و تأسیسات شبکه توزیع برق در معرض خطر در حوضه آبخیز بهدان**

### ۳-۲-۸- هزینه‌های خسارات احتمالی به تأسیسات مدیریت توزیع در صورت وقوع سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

هرچند تعداد زیادی از پایه‌های فشار متوسط واقع در مسیر آبراهه‌ها توسط دیوارهای ساحلی و یا افزایش استحکام پایه مقاوم‌سازی شده‌اند، همچنین وجود بند خاکی بهدان در افزایش زمان تمرکز نقش بسیار مهمی دارد و تمامی تأسیسات شرکت توزیع در پایین‌دست بند در شرایط بهینه می‌تواند از مناطق آسیب‌پذیر حذف شوند. بااین‌حال، اگر احتمال شکستن بند خاکی را در محاسبات وارد کنیم میزان خسارت می‌تواند به مقدار زیادی افزایش پیدا کند. بر اساس تعداد تأسیسات در معرض خطر هزینه‌های احتمالی ناشی از یک سیل با بازگشت ۱۰۰ ساله مطابق جدول (۲) است.

**جدول ۲- هزینه‌های خسارات احتمالی ناشی از یک سیل با بازگشت ۱۰۰ ساله**

| عنوان تأسیسات در معرض خطر | تعداد | واحد | هزینه خرید، نصب و احداث هر واحد | هزینه بازسازی تأسیسات آسیب‌دیده | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|
| پایه فشار متوسط | ۲۰٤ | عدد | ۱۱۰/۰۰۰/۰۰۰ | ۵,٦۱۰,۰۰۰,۰۰۰ | میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵ |
| ترانسفورماتور | ۲۷ | دستگاه | ۳/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ | ۲۰,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰ | میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵ |
| کلید قطع کننده اتومات | ۱ | دستگاه | ۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ | ۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ | میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵ |
| سیم شبکه | ۲۲۳۲٦ | متر | ۲/۰۰۰/۰۰۰ | ۱۱,۱٦۳,۰۰۰,۰۰۰ | میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵ |
| مجموع | | | | ۳۷/۵۲۳/۰۰۰/۰۰۰ | |

با توجه به اینکه تأسیسات آسیب دیده قابل بازسازی و استفاده مجدد می‌باشد بنابراین خسارات وارده براساس ۲۵٪ هزینه خرید، نصب و احداث هر واحد تأسیسات محاسبه شده است.

## ٤- نتایج و بحث

بررسی پیشینه مطالعه نشان می‌دهد روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی سیلاب مورداستفاده قرار گرفته است، در اکثر مناطق ایران کمبود اطلاعات هیدرومتری لزوم استفاده از روش‌های تجربی را ملموس‌تر می‌کند. روش‌های تجربی بسیار متنوع هستند تعمیم اطلاعات از یک زیر حوضه به حوضه‌هایی با فاصله زیاد و شرایط طبیعی و فیزیکی متفاوت باید با وسواس و قبول ریسک پایین انجام شود. در ضمن ارزیابی‌های دقیق زمینی برای صحت سنجی مدل‌ها انجام شود. عدم توجه به این مبانی علمی می‌تواند نتایج نادرستی را به همراه داشته باشد. همچنین عدم توجه به مبانی علمی در جانمایی زیربناهای توسعه‌ای و ازجمله شبکه

توزیع برق سبب بروز آسیب و خسارات فراوان به تأسیسات مذکور شده است. لذا تعیین پهنه‌های دقیق مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی اصولی در راستای جانمایی عملیات اجرایی می‌تواند کمک ارزشمندی برای افزایش تاب‌آوری و ارائه خدمات بهتر در زمان نیاز به مدیریت مخاطرات باشد. تجربیات نشان می‌دهد روش‌های مبتنی بر نظر کارشناس نمی‌تواند حداقل‌های یک تصمیم‌گیری مطمئن را تأمین نماید، یا به عبارتی مقیاس خروجی متناسب با نیازهای شرکت توزیع نیست، پهنه‌های استخراج شده در این مدل‌ها بشدت خلاصه‌سازی شده و کلی هستند. در روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و آموزش ماشین اگرچه می‌تواند نتایج بهتر از روش قبلی حاصل شود اما در حوضه‌های کوچک که تنوع واحدهای طبیعی کم است ممکن است نتایج مناسبی حاصل نشود. در مطالعه حاضر مدل‌سازی هیدرولوژیکی بر اساس روش‌های تجربی تعمیمی (حوضه افین) اما مدل‌های هیدرولیکی بر اساس داده‌های زمینی انجام شده است، حالت ایده آل این است که در حوضه آبخیز هم داده‌های هیدرولوژیکی وجود داشته باشد و هم لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز برای مدل‌سازی هیدرولیکی با مقیاس بزرگ در این حالت می‌توان در مقیاس اجرایی و کمتر از ۱:۵۰۰۰ نسبت به اتخاذ تصمیم اقدام کرد. در محدوده مطالعاتی حاضر با توجه به اینکه بسیاری از روستاها در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند، احداث شبکه، برق‌رسانی، نگهداری شبکه و تعمیرات آن هزینه‌های مربوطه را نسبت به مناطق دیگر چندین برابر افزایش می‌دهد. از طرفی به دلیل صرف جویی در هزینه‌های فوق، شبکه‌های توزیع برق قدیمی و جدید در مسیر آبراهه‌ها ورود خانه‌ها احداث گردیده‌اند، لذا در مواقع مختلف سال با بارش باران‌های رگباری قسمتی از شبکه و تأسیسات توزیع برق واقع در مسیرهای مذکور دچار آسیب و خسارات گردیده که در نتیجه قطع برق کلیه مشترکین مسیر گاه به مدت طولانی (به دلیل عدم امکان دسترسی به شبکه) را به دنبال خواهد داشت. نتیجه آن تأثیرات منفی بر شرایط زندگی مردم در روستاها است. خسارات وارده به محصولات گلخانه‌ها و تلف شدن مرغ‌ها در مرغداری‌ها که عموماً در مسیرهای روستایی احداث می‌گردند، اختلال و قطع ارتباطات و خسارات به لوازم برقی مشترکین ازجمله این خسارات است. هزینه‌های مربوط به تأمین برق مردم با استفاده از مولدهای برق اضطراری در طول زمان بازسازی شبکه از دیگر خسارات وارده است. همچنین با توجه به واقع شدن بخش زیادی از شبکه توزیع برق در مسیرهای سیل‌خیز، همه‌ساله وقوع سیل‌های متعدد خسارات زیادی را بر مجموعه توزیع برق شهرستان و به‌تبع آن شرکت توزیع برق استان وارد می‌کند (به‌عنوان نمونه در شهریورماه ۱۳۹۹ حدود ۲۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال خسارت در اثر وقوع سیل به شبکه توزیع برق وارد گردید.)

### ٤-۱- پیشنهادها

#### ٤-۱-۱- پیشنهادهای اجرایی

۱- جابجایی شبکه و تأسیسات واقع شده در مسیرهای سیل گیر و آبراهه‌ها

۲- تغییر مسیر سیلاب در صورت امکان

۳- مقاوم‌سازی شبکه‌ها و تأسیسات واقع شده در مسیرهای سیل گیر و آبراهه‌ها با اقداماتی همچون احداث سیل بند، بتن کاری، ایجاد رمپ، ایجاد دیوار ساحلی و موضوعاتی مشابه و مرتبط

٤- اصلاح و بازسازی شبکه‌های قدیمی و فرسوده واقع در مسیرهای روستایی

۵- مسیریابی مناسب جهت احداث شبکه‌های جدید

#### ٤-۱-۲- پیشنهادهای پژوهشی

۱- انجام طرح‌های پژوهشی تطبیقی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌های سیل‌خیز در حوضه‌های آبخیز دارای داده هیدرومتری و هواشناسی، روش‌های تجربی، نظر خبرگان و پرسشنامه و مدل‌های مبتنی بر داده

۲- ارزیابی دقت مدل‌های مختلف ارتفاعی رقومی در تعیین پروفیل طولی و عرضی آبراهه‌ها و خروجی مدل‌های هیدرولیکی

۳- بررسی دقیق نقش سازه‌های ذخیره‌ای در کاهش یا افزایش تخریب سیل

٤- بررسی دقیق نقش سازه‌های هیدرولوژیکی و آبخیزداری در کاهش یا افزایش تخریبی سیل

**تشکر و قدردانی**

این مقاله از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش مخاطرات محیطی، مصوب و دفاع شده در دانشگاه بیرجند استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مدیریت و کارشناسان محترم شرکت توزیع نیروی برق خراسان جنوبی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی و شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، به خاطر در اختیار قرار دادن لایه‌های اطلاعاتی مرتبط و نیز هیئت‌داوران پایان‌نامه که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

## کتابنامه


- احمدی، عبدالمجید؛ ۱۳۹۸. تحلیل و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در مناطق خشک با استفاده از تحلیل‌های مکانی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز فرخی). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره نهم، شماره ۳۶، صص.۴۳-۳۲. https://sid.ir/paper/380470/fa
- آذری، آرش؛ بافکار، علیجان؛ آخوندعلی، علی محمد و عبداله طاهری تیزرو؛۱۳۸٦. کالیبراسیون مدل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش دیکن در مناطق فاقد آمار (مطالعه موردی حوضه شیوند خوزستان). پژوهش کشاورزی، دوره هفتم، شماره ٤ (ب) (ویژه‌نامه)، صص ۱۸٤-۱۷۵. https://sid.ir/paper/84788/fa
- اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی
- حجازی، اسداله؛ خدائی قشلاق، فاطمه و لیلا خدائی قشلاق؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره نوزدهم، شماره ۵۳، صص. ۱۵۵-۱۳۷. https://sid.ir/paper/102204/fa
- درفشی، خه بات؛ عادلی ساردو، فاطمه و بهرام ملک محمدی؛ ۱۳۹۹. ارائهٔ الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب مطالعهٔ موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران. مدیریت بحران، دوره نهم، شماره ۱۷، صص. ۱٦-۵. https://sid.ir/paper/389082/fa
- دهقانی، مرتضی؛ ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر منابع آب، پوشش گیاهی و درآمد بهره‌برداران آبخوان بیرجند؛ رساله دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ رساله دکتری، ص ۲۱۰.
- ساسان پور، فرزانه؛ آهنگری، نوید و صادق حاجی نژاد؛ ۱۳۹٦. ارزیابی تاب‌آوری منطقه ۱۲ کلانشهر تهران در برابر مخاطرات طبیعی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره چهارم، شماره ۳، صص. ۹۸-۸۵. https://sid.ir/paper/264737/fa
- شرکت توزیع نیروی برق خراسان جنوبی ۹۹
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی،۱٤۰۰
- شفیعی مطلق، خسرو و ناصر عبادتی؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS) مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ مارون-جنوب غرب ایران). اکوهیدرولوژی، دوره هفتم، شماره ۲، صص. ٤۰۹-۳۹۷. https://sid.ir/paper/361673/fa
- صابری فر، رستم و هومر شکری؛ ۱۳۹۸... پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند. آمایش سرزمین، دوره یازدهم، شماره ۱، صص. ۱۷۸-۱۵۹. https://sid.ir/paper/377591/fa
- صادقی خمامی، مسعود؛ سپاسیان، محمدصادق و مجید رشیدی؛ ۱۳۹٦. کاربرد GIS والزامات آن درتدوین اطلس آسیب‌پذیری و ریسک شبکه‌های توزیع در معرض تهدیدات طبیعی (مطالعه موردی: شبکه توزیع برق استان کرمانشاه)، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق، اراک. https://civilica.com/doc/711356

- صادقی، سیدحمیدرضا؛ ۱۳۷٤. بررسی علل مؤثر در سیلاب و ارزیابی عوامل قابل کنترل. جنگل و مرتع (جنگل‌ها و مراتع)، دوره دوازدهم، شماره ۲٦. https://sid.ir/paper/425419/fa
- صراف، امیرپویا؛ محقق زاده، گلناز و نازنین محقق زاده؛ ۱۳۹٦. پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شاپورخشت با بهره گیری از تصاویر Orthophoto، فضای جغرافیایی، دوره هفدهم، شماره ۵۷، صص. ۱۹٤-۱۷۵.
https://sid.ir/paper/91472/fa
- گزارش هیدرولوژی حوضه آبخیز افین، ۱۳۹۷. شرکت آبخیزداران دشت توس. ۱۱٦-۱
- گودرزی، محمدرضا و آتیه فاتحی فر؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط Gis (حوضه آذرشهر چای). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره نوزدهمف شماره ۵۳، صص. ۱۱۷-۹۹. https://sid.ir/paper/102198/fa
- محمودی، فرج الله؛ ۱۳۸۳. ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ ششم، تهران.
- مختاری هشی، حسین و داریوش رحیمی؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، دوره بیست و هفتم، شماره ۱(پیاپی ٦۱)، صص ۱٦-۱۹۹. https://sid.ir/paper/153180/fa
- مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز و لیلا آقایاری؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC(مطالعهٔ موردی: حوضهٔ خیاو چای مشکین‌شهر). هیدروژئومورفولوژی، دوره پنجم، شماره ۱۷، صص. ۸۵-۱۰۲. https://sid.ir/paper/408508/fa
- مطالعات ساماندهی رودخانه‌های بیرجند؛ ۱۳۸۷. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی. ۱۱۲-۱.
- وفاخواه، مهدی و علیرضا مقدم‌نیا؛ ۱۳۹۷. کنترل سیلاب. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول، ٤۰٤ ص.
- ولی زاده کامران، خلیل؛ دلیرحسن نیا، رضا و خدیجه آذری آمقانی؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی محیط پیرامونی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره دهم، شماره ۳(پیاپی ۳٦)، صص. ۵۹-۷۵. https://sid.ir/paper/189492/fa
- مهدوی، محمد؛ ۱۳۹۵. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.۳٤۲ ص.
- نجمایی، محمد؛ ۱۳۷۵. هیدرولیک کاربردی (جلد ۱ و ۲)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. ٤۱٦ ص.

- Dadhich, G., Vanama, V. S. K., Miyazaki, H., & Pal, I. (2021). Flood damage assessment with multitemporal earth observation SAR satellite images: A case of coastal flooding in Southern Thailand. In *Disaster Resilience and Sustainability* (pp. 265-276). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00021-4
- Cheng, T., Xu, Z., Hong, S., & Song, S. (2017). Flood risk zoning by using 2D hydrodynamic modeling: A case study in Jinan City. *Mathematical Problems in Engineering*, *2017*, 1-8. https://doi.org/10.1155/2017/5659197

- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. International Journal of Disaster Risk Reduction, 48, 101612. **https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101612**
- Panteli, M., & Mancarella, P. (2015). Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. *Electric Power Systems Research*, *127*, 259-270. **https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.012**
- Pradhan, B., Hagemann, U., Shafapour Tehrany, M., Prechtel, N. 2013. An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas from TerraSAR-X satellite image. Computers & Geosciences, 1-34. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.011
- Linsley, R. K. (1976). Water-resources engineering. WW Norton & Company.
- Marchesini, I., Salvati, P., Rossi, M., Donnini, M., Sterlacchini, S., & Guzzetti, F. (2021). Data-driven flood hazard zonation of Italy. *Journal of Environmental Management*, *294*, 112986. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112986
- Mensah, A. F., & Dueñas-Osorio, L. (2016). Efficient resilience assessment framework for electric power systems affected by hurricane events. *Journal of Structural Engineering*, *142*(8), C4015013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001423
- Mohamed, S. A. (2019). Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, *158*, 103507. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.05.015
- Muñoz, D. S., & García, J. L. D. (2021). GIS-based tool development for flooding impact assessment on electrical sector. *Journal of Cleaner Production*, *320*, 128793. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128793
- Sánchez-Muñoz, D., Domínguez-García, J. L., Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Stevens, J., & Pardo, M. (2020). Electrical grid risk assessment against flooding in Barcelona and Bristol cities. *Sustainability*, *12*(4), 1527. https://doi.org/10.3390/su12041527
- Singh, A., & Singh, K. K. (2017). Satellite image classification using Genetic Algorithm trained radial basis function neural network, application to the detection of flooded areas. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, *42*, 173-182. https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.11.017
- Singh, V. P., & Eng, D. (2017). Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Education.
- Souto, L., Yip, J., Wu, W. Y., Austgen, B., Kutanoglu, E., Hasenbein, J., ... & Santoso, S. (2022). Power system resilience to floods: Modeling, impact assessment, and mid-term mitigation strategies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *135*, 107545. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107545
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1996). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

Wang, Y., Chen, C., Wang, J., & Baldick, R. (2015). Research on resilience of power systems under natural disasters—A review. *IEEE Transactions on Power Systems*, *31*(2), 1604-1613. https://ieeexplore.ieee.org/document/7105972

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.109-132 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.80149.1317 Open access

# Spatial Analysis of Resilience of Urban Areas Against Earthquak (Case Study: Kermanshah City)

**Chnour Mohammadi[a], Hossain Nazmfar[*b], Sayyad Asghari Saraskanroud[c]**

[a] *PhD Candidate in Geography and Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
*b Professor in Geography and Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
[C] *Professor in Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

***Received: 19 December 2022*** ***Revised: 28 January 2023*** ***Accepted: 13 February 2023***

## Abstract

The expansion of the urban population to more than two-thirds of the world's population by 2050 on the one hand and the prediction of the growth of the risk of natural hazards in the future, on the other hand, necessitate the attention of managers, planners, and urban policy makers to the issue of greater resilience of societies in the face of natural hazard. The aim of this research was to analyze the spatial resilience of urban areas against earthquakes in Kermanshah. This study used a descriptive-analytical method. The statistical population consisted of the citizens of Kermanshah city, 385 people were selected as a statistical sample using Cochran's formula. For analyzing the data, one-sample t-test, Friedman, Kruskal Wallis, and CV method were used. The findings showed that the resilience of Kermanshah city in all indicators (awareness, knowledge, skills, attitude and social capital) is average. The attitude index is the most important regarding resilience and awareness, social capital, knowledge, and skill are respectively in the next ranks. The results of the Kruskal-Wallis test showed that there is a significant difference between the eight regions in Kermanshah metropolis in terms of all resilience indicators and that the status of the eight regions are not at the same level. Among the indicators, the highest inequality is related to the awareness index and the lowest is related to the social capital index. In general, the spatial analysis of resilience in Kermanshah city is average and there are differences between regions.

**Keywords:** Spatial Analysis, Social Resilience, Earthquake, Urban Areas, Kermanshah City

[*] .Corresponding author: Hossain Nazmfar Email: nazmfar@uma.ac.ir Tel:+989143019909

**How to cite this Article:** Mohammadi, CH., Nazmfar, N., & Saraskanroud, S. A. (2024). Spatial analysis of resilience of urban areas against earthquak (Case study: Kermanshah City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 109-132.
**DOI: 10.22067/geoeh.2023.80149.1317**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.80149.1317
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۱۳۲-۱۰۹**

مقاله پژوهشی

# تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله
# (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)

**چنور محمدی- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران**
**حسین نظم‌فر[1] - استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران**
**صیاد اصغری سراسکانرود- استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴**

**چکیده**

گسترش جمعیت شهرنشینی به بیش از دو سوم جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ ازیک‌طرف و پیش‌بینی رشد ریسک مخاطرات طبیعی در آینده از طرف دیگر، لزوم توجه مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری را به مسئله تاب‌آوری بیشتر جوامع در مواجهه با مخاطرات طبیعی به نمایش می‌گذارد. ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر، تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله در شهر کرمانشاه است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و به لحاظ روش انجام توصیفی - تحلیلی است. جامعه آماری پژوهش شهروندان شهر کرمانشاه است که با استفاده از فرمول کوکران ۳۸۵ نفر به‌عنوان نمونه آماری انتخاب گردید. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسشنامه صورت گرفته است و از روش‌های توصیف فراوانی ابعاد و گویه‌ها و آزمون‌های تی تک نمونه‌ای، فریدمن و کروسکال والیس و روش CV جهت تحلیل داده‌ها استفاده شده است. یافته‌های نشان می‌دهد؛ تاب‌آوری شهر کرمانشاه در همه شاخص‌ها (آگاهی،

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۴۳۰۱۹۹۰۹ Email: nazmfar@uma.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
محمدی، چنور، نظم‌فر، حسین، اصغری سراسکانرود، صیاد؛ ۱۴۰۳. تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۱۳۲-۱۰۹
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.80149.1317

دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی) در حد متوسط است، همچنین شاخص نگرش بیشترین اهمیت را در تاب‌آوری داشته است و شاخص‌های؛ آگاهی، سرمایه اجتماعی، دانش و مهارت در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج آزمون کروسکال والیس هم نشان می‌دهد، تفاوت معنادار بین مناطق هشت‌گانه در کلانشهر کرمانشاه از لحاظ کل شاخص‌های تاب‌آوری وجود دارد و اینکه وضعیت مناطق هشت‌گانه در یک سطح نمی‌باشند. در بین شاخص‌ها بیشترین نابرابری مربوط به شاخص آگاهی و کمترین مربوط به شاخص سرمایه اجتماعی است. در کل تحلیل فضایی تاب‌آوری در شهر کرمانشاه در حد متوسط و در بین مناطق تفاوت وجود دارد.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل فضایی، تاب‌آوری اجتماعی، زلزله، مناطق شهری، شهر کرمانشاه.

**۱- مقدمه**

گسترش شهرنشینی و افزایش تدریجی تعداد شهرهای بزرگ منجر به پذیرش نقش‌ها و عملکردهای متعدد شده است یکی از موضوع‌های مهمی که بیشتر شهرهای بزرگ با آن روبرو هستند موضوع حوادث طبیعی است. شهرها به‌عنوان پیچیده‌ترین ساخته دست بشر با ریسک‌های گسترده‌ای هم به دلیل دامنه وسیع مخاطرات و همچنین به علت آسیب‌پذیری چندگانه‌شان مواجه هستند (**منوریان و همکاران، ۱۳۹۷**). وقوع سوانح طبیعی مانند زلزله در حوزه‌های شهری که پای جوامع انسانی و زیرساخت‌های بشری به میان می‌آید، اغلب به بحران‌های طبیعی تبدیل می‌شود که شامل ویرانی‌های کالبدی و اختلال عملکرد شهری است، با توجه به اینکه وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله در سکونتگاه‌های شهری اغلب تأثیرات ویرانگری بر جای می-گذارد (**اصلانی و همکاران، ۱۳۹۷**)، هر یک از سیستم‌های شهری زمانی که نتوانند با تغییرات و شرایط بحرانی خود را وفق دهند، بسیار آسیب‌پذیر می‌شوند. ازاین‌رو، در دهه‌های اخیر، رویکردهای مقابله با بلایای طبیعی مفهوم جدیدی را تحت عنوان تاب‌آوری شهری برای آمادگی هر چه بیشتر در برابر بلایا مطرح کرده است (**کریمیان بستانی و همکاران، ۱٤۰۰**)، به‌منظور مدیریت این مخاطرهٔ محیطی، تاب‌آوری این ظرفیت را دارد که در چرخه مدیریت خطرپذیری در مراحل قبل، حین و پس از زلزله وارد شود (**اصلانی و همکاران، ۱۳۹۷**). یکی از انواع تاب‌آوری؛ تاب‌آوری اجتماعی است، اهمیت تاب‌آوری اجتماعی بدان سبب است که در هنگام بروز یک سانحه و پس از آن، نقش اجتماع ساکن در محیط، بسیار زیاد و تأثیرگذار است. هر اندازه که ابعاد کالبدی و مدیریتی یک محیط آمادگی رویارویی با خطر را داشته باشند تا زمانی که ساکنین آن محیط آماده نباشند، احتمال تداوم آشوب و هرج‌ومرج وجود خواهد داشت. اینکه افراد یک جامعه در برابر بروز بلا، چه واکنشی از خود نشان می‌دهند، نیازمند بررسی است، چنانچه فرد نتواند سانحه رخ داده را به‌عنوان رویدادی که اتفاق افتاده، قبول کند و خود را با شرایط موجود هماهنگ کند، عملاً دیگر تدابیر کالبدی و

مدیریتی چندان کارا نخواهد بود (**نیکمردنمین و همکاران، ۱۳۹۳**)؛ بنابراین خصوصیات اجتماعی ساکنان یک منطقه می‌تواند آن را نسبت به سایر مناطق آسیب‌پذیرتر کند (**صالحی و همکاران، ۱۳۹۰**). به هنگام وقوع زلزله به علت ناپایداری فضاهای شهری در برابر زلزله و عدم آمادگی کافی مردم، در مدت‌زمان کوتاهی، آسیب‌های فیزیکی گوناگونی دیده می‌شود که خود سبب ایجاد آسیب‌های جانی، مالی و عملکردی تابعی از میزان آسیب عناصر و فضاهای شهری و ارزش عملکردی آنان است و درنهایت آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی و از کار افتادن سیستم شهری می‌شود (**مطهری و بهتاش: ۱۳۹٤**). از موضوعات مطرح در برنامه-ریزی شهری تحلیل فضایی، تاب‌آوری شهرها در مواجهه با مخاطرات طبیعی است واکاوی مدیریت مخاطرات محیطی در ایران، گویای ناکامی نسبی آثار زیانبار و پیامدهای آن است (**رئیسیان و همکاران، ۱۳۹۹**). در کشور ایران علیرغم تجارب تلخ گذشته ناشی از خسارات زلزله‌ای پیشین تنها اقدامات اندکی در راستای آمادگی شهروندان پیش از بحران صورت گرفته است. تجربیات به دست آمده از وقوع زلزله‌های اخیر بیانگر آن است که برای کاهش مخاطرات سوانح و مهار بحران زلزله لازم است توانمندسازی شهروندان در ابعاد اجتماعی مدنظر قرار گیرد. توجه به تقویت توانایی شهروندان در ابعاد مختلف درواقع زمینه‌ساز مشارکت آن‌ها در مراحل گوناگون بحران خواهد بود که خود عامل مهمی در جهت کاهش تأثیرات مخرب زلزله و افزایش تاب‌آوری جامعه خواهد بود (**منوریان و همکاران، ۱۳۹۷**)، آمار نشان می‌دهد، اغلب مناطق استان کرمانشاه از نظر زلزله‌خیزی فعال بوده و هرچند سال یک بار زلزله‌های مخرب، بخش‌های وسیعی از این استان را تخریب نموده و خسارات جانی و مالی فراوانی، به بار آورده است. سابقه تاریخی وقوع زمین-لرزه در زاگرس، گویای آن است که استان کرمانشاه از زمان‌های قدیم در معرض زمین‌لرزه‌های شدید قرار داشته و در طول تاریخ بارها شاهد خرابی‌های فراوانی بوده است. آخرین گواه بر این ادعا زلزله شدید در آبان ماه ۱۳۹٦ با بزرگی گشتاوری۷/۳ ریشتر در شهرستان سرپل‌ذهاب و برخی شهرهای اطراف آن است که موجب خسارات مالی و تلفات جانی قابل‌توجهی در نواحی روستایی و شهری کرمانشاه و به‌ویژه در شهر سرپل‌ذهاب و روستاهای مجاور آن شد و بالغبر ٦۰۰ نفر کشته و بیش از ۱۲ هزار مصدوم به جا گذاشت. این زلزله به هفت شهرستان و بیش از دو هزار روستای استان کرمانشاه خسارت وارد کرده است. حدود ۱۰ ماه بعد از رخداد این زلزله در تاریخ ٤ شهریور ۱۳۹۷، زلزله‌ای دیگر با بزرگی گشتاوری ٦ ریشتر شهر تازه آباد و روستاهای اطراف آن را لرزاند (**محمدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۹**). ازآنجاکه وقوع مخاطراتی مانند زلزله همواره امکان‌پذیر است، فقط از طریق برنامه‌ریزی صحیح و استفاده از شیوه‌ها و ابعاد جدید مدیریتی می‌توان از پیامدهای گوناگون و آسیب‌ها و خسارت‌های ناشی از آن‌ها کاست (**پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۰**). با توجه به اهمیت تاب‌آوری در برابر مخاطره طبیعی زلزله پژوهش‌هایی دراین‌باره صورت گرفته است که به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود جدول (۱).

**جدول ۱- پیشینه پژوهش**

| نویسنده و سال | عنوان و نتیجه |
|---|---|
| گومز باگتون و همکاران[1] (۲۰۱۲) | در پژوهش خود دانش بوم‌شناختی سنتی و تاب‌آوری جامعه در برابر افراط‌های محیطی: مطالعه موردی دونانا، جنوب غربی اسپانیا را موردبررسی قرار دادند در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که دانش بومی و سیستم تسهیم دانش می‌توانند نقشی حیاتی در ارتقای سطح تاب‌آوری اجتماعی – زیست‌محیطی داشته باشند. |
| تورنلی و همکاران[2] (۲۰۱۵) | به دنبال وقوع زلزله‌های ویرانگر سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ در شش منطقه کانتربری نیوزیلند تحقیقاتی را انجام دادند. معیارهای انتخاب این جوامع شامل میزان تأثیر زلزله و تنوع اجتماعی و اقتصادی و قومی آنان بود. نتایج نشان می‌دهد که جوامع دارای زیرساخت‌های اجتماعی پس از وقوع زلزله، بهتر می‌توانند خود را با شرایط سازگار کنند. |
| پاتل و گلیسون[3] (۲۰۱۸) | به ارتباط بین انسجام اجتماعی و تاب‌آوری جامعه در دو محله فقیرنشین شهری پورت پرنس، هائیتی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد از بین متغیرهای مورد آزمایش، انسجام اجتماعی بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری جامعه دارد و ارتباط آماری بین این دو را نشان می‌دهد. |
| پاندی و همکاران[4] (۲۰۲۱) | به نقش سرمایه اجتماعی در تاب‌آوری در برابر بلایا در جوامع دوردست پس از زلزله ۲۰۱۵ نپال پرداختند. سرمایه اجتماعی به‌طور گسترده به‌عنوان یک عنصر کلیدی در بهبود و تاب‌آوری در برابر بلایا در نظر گرفته می‌شود. |
| دیوی و همکاران[5] (۲۰۲۱) | به ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی در کاهش خطر احتمالی زلزله در سورابایا پرداختند. سورابایا دارای خطر بالقوه زلزله است، ۲۲ متغیر با بررسی ادبیات و قضاوت کارشناسان به دست آمد که ۱۱ متغیر برای آسیب‌پذیری اجتماعی و ۱۱ متغیر برای آمادگی است. ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی دارای ارزش شاخص ۲/۲۷ است، درحالی‌که آمادگی دارای ارزش شاخص ۱/۹۹ است. مقدار شاخص نشان می‌دهد که هر دوی این شاخص‌ها در رده پایین تا متوسط قرار دارند. |
| **بسطامی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷)** | به تبیین و تحلیل تاب‌آوری اجتماعی برای مقابله با سوانح طبیعی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تاب آوری اجتماعی به جای یک وضعیت معین یا ویژگی‌های یک نهاد و موجودیت اجتماعی، به‌عنوان یک فرآیند پویا درک می‌شود که در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، استراتژی‌ها و برنامه‌های مختلفی برای مقابله با فاجعه دارد. در تاب‌آوری اجتماعی افراد در زمان و مکان زیست‌محیطی، محیط اجتماعی و نهادی خاص خود مطالعه می‌شوند. |
| **شماعی و میرزازاده (۱۳۹۸)** | به تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهر تبریز در برابر زلزله پرداختند. با توجه به یافته‌های پژوهش و مقدار f بدست آمده (۲/۲۹٤) و سطح معنی‌داری بدست آمده (۰/۰۲۸) با درجه آزادی (٦۰/٦) در سطح ۰/۰۵ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های این مناطق وجود دارد. منطقه ۹ با بالاترین میانگین (٦٤) دارای تاب‌آوری بسیار بالا و مناطق چهار و هفت با میانگین‌های (۵۰/۲۸ و ٤۹/۸۵) دارای کمترین تاب‌آوری هستند. |
| **ایزدی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹)** | تحلیل عوامل مؤثر بر افزایش تاب‌آوری اجتماعی شهرها (مطالعه موردی: شهر نجف‌آباد) پرداختند. طبق نتایج بدست آمده تأثیرگذارترین شاخص در ارتقای سطح تاب‌آوری اجتماعی در برابر مخاطرات طبیعی شهر نجف‌آباد، شاخص سرمایه اجتماعی با ضریب مسیر۰/۸۲ است. |
| **رجایی و همکاران (۱٤۰۰)** | به تحلیل فضایی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد منطقه یک شهرداری تهران در دو بعد اجتماعی و زیرساختی دارای تاب‌آوری نسبتاً مناسب و در دو بعد نهادی و |

1 Gómez Baggethun et al
2 Thornley
3 Patel & Gleason
4 Panday et al
5 Dewi et al

| | |
|---|---|
| | اقتصادی دارای تاب‌آوری نامناسبی است. علاوه بر این، نتایج تحلیل در سطح محلات نشان می‌دهد که محلات دربند، زعفرانیه، محمودیه، اراج، چیذر، رستم‌آباد، از گل، شهرک گلها، شهرک شهید محلاتی، امامزاده قاسم و شهرک نفت در شرایط نامناسب در ابعاد ذهنی و عینی تاب‌آوری می‌باشند. |
| امیری و همکاران (۱٤۰۱) | شناسایی مؤلفه‌های اثرگذار بر افزایش میزان تاب‌آوری اقتصادی و اجتماعی شهری در مواجهه با بحران زلزله شهرستان بروجرد پرداختند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در میان زیرشاخص‌های مربوط به ابعاد تاب‌آوری اجتماعی، زیرشاخص دسترسی به امکانات رفاهی دارای کمترین میانگین (۳/۰۲) و زیرشاخص سرمایه اجتماعی دارای بیشترین میانگین (۳/٤۹) بوده است. همچنین در میان زیرشاخص‌های مربوط به تاب‌آوری اقتصادی، زیرشاخص توانایی جبران خسارت با میانگین (۲/۸۳) کمترین و توانایی بازگشت به شرایط مناسب بیشترین میانگین (۳/۹۷) را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج تحلیل رگرسیون نیز با توجه به میزان بالای (۹۱.۰۳)F و سطح معناداری زیر ۰.۰۵ درصد معنادار است. همچنین نتایج T دو نمونه‌ای مستقل برای مقایسه نظرات کارشناسان و مردم در مورد ابعاد تاب‌آوری اجتماعی بیانگر آن است که تفاوتی میان نظرات این دو دسته مشاهده نمی‌شود؛ اما در مورد برخی زیر متغیرهای اقتصادی (میزان یا شدت خسارت، توانایی جبران خسارت و مؤلفه کلی بعد تاب‌آوری اقتصادی) نظر کارشناسان و مردم متفاوت است. |

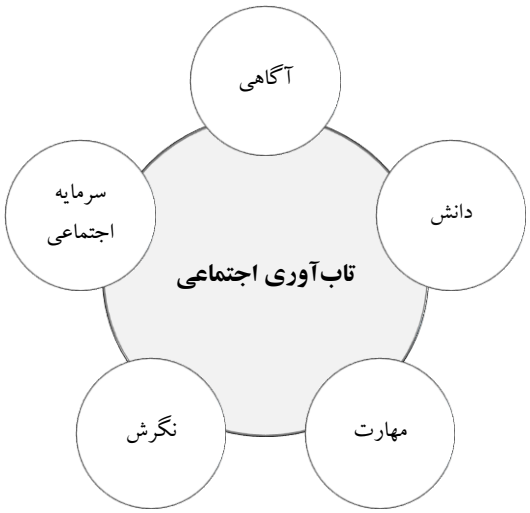
ازجمله نوآوری‌های این پژوهش نسبت به پژوهش‌های دیگر، محدوده مکانی این پژوهش است (در جغرافیا مطالعه مکان اهمیت فراوانی دارد) شهر کرمانشاه به‌عنوان یک شهر با خطر بالا زلزله و قرار گرفتن در خط گسل، نیازمند مطالعات زیادی درباره تاب‌آوری زلزله است. درحالی‌که کمترین پژوهش دراین‌باره صورت گرفته است در این پژوهش وضعیت تاب‌آوری کلانشهر کرمانشاه به تفکیک تمامی مؤلفه‌ها و به تفکیک مناطق موردبررسی قرار گرفته است. همچنین مقطع زمانی جدید این پژوهش (سال ۱٤۰۱)، استفاده از سه آزمون آماری و همچنین روش ضریب پراکندگی و تحلیل فضایی تاب‌آوری با استفاده نقشه در محیط نرم‌افزار GIS، تفاوت‌های این پژوهش نسبت پژوهش‌های دیگر است.

در طی دهه‌های گذشته مردم بسیار زیادی در جهان تحت تأثیر مخاطرات طبیعی گوناگون قرار گرفته‌اند. روزانه پدیده‌های طبیعی همچون سونامی، رانش زمین، سیل، زلزله و ... در مناطق مختلف جهان رخ می‌دهند. گسترش جمعیت شهرنشینی به بیش از دو سوم جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ از یک طرف و پیش‌بینی رشد ریسک مخاطرات طبیعی در آینده از طرف دیگر، لزوم توجه مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری را به مسئله تاب‌آوری بیشتر جوامع در مواجهه با مخاطرات طبیعی به نمایش می‌گذارد (**رئیسیان و همکاران، ۱۳۹۹**: ۳۸٤). دهه ۱۹٤۰، اصطلاح تاب‌آوری برای روانشناسی اجتماعی و روانپزشکی کاربرد یافت و پس از سال ۱۹۷۳ و نظریات هولینگ این مفهوم گسترش یافت (ترکولجا[1]، ۲۰۱۵). تاب‌آوری اجتماعی در راستای تحقق پایداری اجتماعی در برابر سوانح، از یک سو بر شکل‌گیری و حفظ گروه‌های اجتماعی و جوامع، از سوی دیگر در فرایند بازتوانی به سوانح از طریق ارتقای سرمایه‌ی اجتماعی تأکید می‌ورزد که می‌تواند

1 Trkulja

(**مشک‌ساز و همکاران، ۱۳۹۸**) و به ارتقای حس دل بستگی به مکان، حس جامعه محلی، افزایش مشارکت ساکنین در امر بازسازی و شکل‌گیری پیوندهای اجتماعی کمک می‌کند و امر بازتوانی و بازسازی جامعه محلی با حفظ نظام‌های اجتماعی موجود را در زمان سانحه و نیز در یک جامعه محلی بعد از سانحه تسهیل می‌کند. تلاش برای تاب‌آوری اجتماعی می‌تواند با ارتقای سطح زندگی، از طریق افزایش میزان درآمد، تحصیلات، مراقبت‌های پزشکی، سلامت، تأمین سکونت، اشتغال، حقوق قانونی، ایمنی در برابر جرم و جنایت، وجود اخلاقیات در جامعه محلی، تراکم جمعیتی مطلوب و مقاومت بناها در برابر مخاطرات و سوانح و بیماری‌های کیفیت زندگی یا قابلیت زندگی در جوامع محلی را افزایش دهد (**لک، ۱۳۹۲**). پیش-بینی وقوع و حذف برخی از بلایای طبیعی ازجمله زلزله امکان‌پذیر نیست، بااین‌وجود مفهوم کاهش آثار مخاطرات شهری با فهم این مطلب که اکثر بلایا غیرمنتظره نیستند شروع می‌گردد (**حیدریان و همکاران، ۱۳۹٦**). کاهش خطر یکی از جدیدترین حوزه‌های مطالعه در زمینه مخاطرات و بلایای طبیعی است و اصطلاحی فنی در زمینه‌ی کاهش احتمال خطر پیش از وقوع بلایا است که برای کاهش یا حذف آسیب-پذیری مردم و دارایی‌های آن‌ها از بلایای طبیعی و کاهش آثار این آسیب‌پذیری به کار می‌رود (**حیدریان و همکاران، ۱۳۹٦**). شکل ۱ مدل مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد. با توجه به وجود گسل و قرار گرفتن شهر کرمانشاه در معرض مخاطره طبیعی زلزله، هدف پژوهش تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهری در برابر زلزله **در شهر کرمانشاه** است و با توجه به هدف، پژوهش **به دنبال پاسخگویی به سؤالات زیر** است:

- وضعیت تاب‌آوری در شهر کرمانشاه چگونه است.
- کدام شاخص بیشترین تأثیر را در تاب‌آوری شهر کرمانشاه داشته است.
- کدام شاخص دارای بیشترین نابرابری را در شهر کرمانشاه است.




**شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش**

## ۲- مواد و روش‌ها

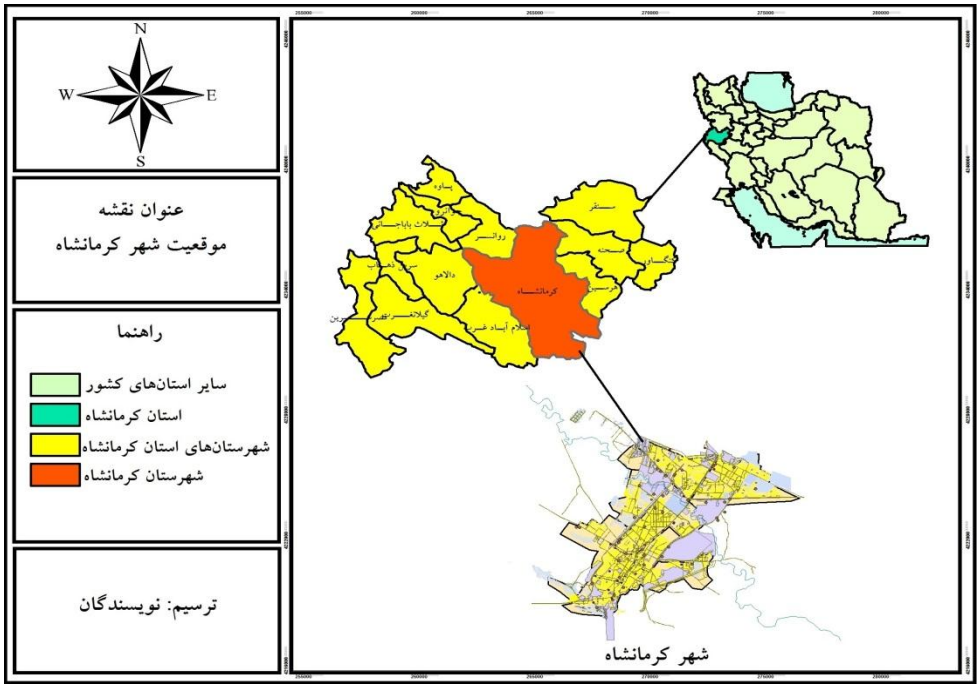
### ۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

استان کرمانشاه با وسعت حدود ۲٤٦٤۰ کیلومترمربع به مرکزیت شهر کرمانشاه در میانه ضلع غربی کشور بین ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ٤۵ درجه و ۲٦ دقیقه تا ٦۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته و از شمال به استان کردستان از جنوب به استان لرستان و ایلام از شرق به استان همدان و از مغرب به کشور عراق محدود شده است (**شهبازی و همکاران، ۱٤۰۰**). شهر کرمانشاه در نیمه شرقی استان کرمانشاه، بین ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ٤۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۲). ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا ۱۳۲۰ متر است و از شمال به ارتفاعات طاق‌بستان اوپراو و از جنوب به ارتفاعات کوه سفید محدود می‌گردد (**شاهینی‌فر و چاره‌جو، ۱۳۹۷**). مساحت کل شهر (حریم قانونی) حدود ده هزار هکتار (**صاحبی و همکاران، ۱٤۰۰**). مساحت محدوده مشخص شده مربوط به شهرداری شهر کرمانشاه ۸۳۸۷ هکتار است (**شاهینی‌فر و چاره‌جو، ۱۳۹۷**). کرمانشاه نهمین کلانشهر ایران، دومین شهر بزرگ و پرجمعیت منطقه غرب و شمال غربی کشور (پس از شهر تبریز) و بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه است. این شهر همانند سایر شهرهای کشور تحولات جمعیتی و کالبدی زیادی به خود دیده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). به‌طوری‌که جمعیت آن از ۱۲۵٤۳۹ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۹٤٦٦۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است. درنتیجه جمعیت شهری در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۳۵ بیش از۵/۷ برابر شده است (**دارابی و همکاران، ۱٤۰۱**).

**جدول ۲- جمعیت و مساحت شهر کرمانشاه به تفکیک مناطق هشت‌گانه شهرداری**

| منطقه | منطقه یک | منطقه دو | منطقه سه | منطقه چهار |
|---|---|---|---|---|
| تعداد جمعیت | ۹۳۳۷٦ | ۱۲۰۳۸۱ | ۱٦٦۱۹۲ | ۷٥٤۸٦ |
| درصد جمعیت | ۹/۹ | ۱۲/۷ | ۱۷/٥ | ۸ |
| مساحت (هکتار) | ۱۲۷۰ | ۸٤۷ | ۱٤۷۰ | ۹۲٤ |
| درصد مساحت به کل | ۱٥/۱ | ۱۰/۱ | ۱۷/٥ | ۱۱ |
| تراکم نفر در هکتار | ۷۳/٥ | ۱٤۲/۱ | ۱۱۳ | ۸۱/۷ |
| تعداد نمونه | ۳۸ | ٤۹ | ٦۸ | ۳۱ |
| منطقه | منطقه پنج | منطقه شش | منطقه هفت | منطقه هشت |
| تعداد جمعیت | ۱۷۳۸۳۷ | ۹۳۳۷۲ | ۱۳۱٤۲۱ | ۹۲٥۸٦ |
| درصد جمعیت | ۱۸/۳ | ۹/۹ | ۱۳/۹ | ۹/۸ |
| مساحت (هکتار) | ۱۲٥۸ | ٥۹۷ | ۱٤۱٦ | ٦۰٥ |
| درصد مساحت به کل | ۱٥ | ۷/۱ | ۱٦/۹ | ۷/۲ |
| تراکم نفر در هکتار | ۱۳۸/۲ | ۱٥٦/٤ | ۹۲/۸ | ۱٥۳ |
| تعداد نمونه | ۷۱ | ۳۸ | ٥۳ | ۳۷ |

منبع: شاهینی‌فر و چاره‌جو، ۱۳۹۷




**شکل ۲- محدوده موردمطالعه**

### ۲-۲- روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و به لحاظ روش انجام توصیفی - تحلیلی است. جامعه آماری آن شهروندان شهر کرمانشاه است که با استفاده از فرمول کوکران با سطح خطای ۵ درصد ۳۸۵ نفر به‌عنوان نمونه آماری انتخاب گردید. نمونه‌گیری به روش تصادفی طبقه‌بندی شده بود که بر اساس جمعیت هر منطقه است. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسشنامه حاوی سؤالاتی در مورد شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی؛ شامل پنج شاخص، آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی که (پرسشنامه استفاده شده توسط دکتر رضایی ۱۳۸۹) سؤالات در قالب طیف لیکرت؛ خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طراحی شده‌اند. گزینه خیلی زیاد دارای بالاترین امتیاز (۵) و گزینه خیلی کم دارای پایین‌ترین امتیاز (۱) است. برای پایایی هم از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است، میزان پایایی با استفاده از آلفای کرونباخ ۰/۷۹ به دست آمده نشان‌دهندهٔ پایایی خوب پرسشنامه است. برای تجزیه‌وتحلیل پرسشنامه از نرم‌افزار SPSS (توصیف فراوانی ابعاد و گویه‌ها و آزمون‌های تی تک نمونه‌ای و فریدمن، کروسکال والیس)، روش CV و جهت تحلیل فضایی تاب‌آوری از نرم‌افزارGIS استفاده شده است.

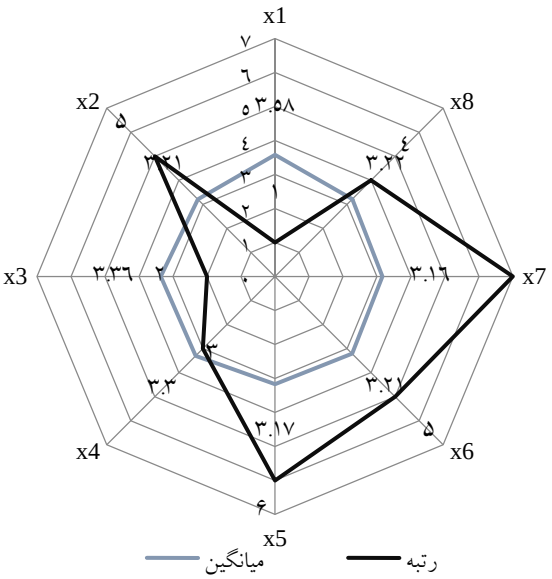
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- وضعیت شهر کرمانشاه از منظر مؤلفه‌های تاب‌آوری زلزله

بررسی وضعیت شاخص آگاهی در جدول (۳) و شکل (۳) نشان می‌دهد؛ که گویه‌ی میزان آگاهی شما از زلزله‌خیز بودن و خطر زلزله در شهر کرمانشاه بیشترین میزان میانگین را دارد و گویه آگاهی از اقداماتی که برای آمادگی در برابر بلای طبیعی لازم هست کمترین میزان میانگین را دارد. در کل وضعیت تاب‌آوری کل مؤلفه‌ها شاخص آگاهی در حد متوسط است.

**جدول ۳- وضعیت تاب‌آوری شاخص آگاهی در شهر کرمانشاه**

| مؤلفه‌های شاخص آگاهی | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | میانگین | رتبه | تاب-آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_1$ میزان آگاهی شما از زلزله‌خیز بودن و خطر زلزله در شهر کرمانشاه | ۲٤/۷ | ۲۸/۸ | ۳۱/۷ | ۹/۹ | ٤/۹ | ۳/۵۸ | ۱ | متوسط |
| $X_2$ آگاهی از شرکت در دوره‌های آموزشی در مقابل زلزله | ۱٦/۱ | ۲۳/۱ | ۳۷/۷ | ۱۲/۲ | ۱۰/۹ | ۳/۲۱ | ۵ | متوسط |
| $X_3$ آگاهی از مقاومت منزل مسکونی | ۲۱/۰ | ۲۳/۹ | ۳٤/۰ | ۱۱/۷ | ۹/٤ | ۳/۳٦ | ۲ | متوسط |
| $X_4$ آگاهی از ضوابط و معیارهای ایمنی مسکن | ۱۸/۷ | ۲۰/۰ | ۳۹/۲ | ۱٦/٤ | ۵/۷ | ۳/۳۰ | ۳ | متوسط |
| $X_5$ آگاهی از تهیه و اجرای طرح‌های مدیریت بحران زلزله در سطح محله | ۱۱/٤ | ۱۸/۲ | ۵۱/٤ | ۱۳/۵ | ۵/۵ | ۳/۱۷ | ٦ | متوسط |
| $X_6$ آگاهی از وجود گروه‌های امداد محله‌ای برای مقابله با زلزله | ۱۵/۳ | ۲۱/٦ | ۳۸/۷ | ۱۷/٦ | ٦/۸ | ۳/۲۱ | ۵ | متوسط |
| $X_7$ آگاهی از اقداماتی که برای آمادگی در برابر بلای طبیعی لازم هست | ۱٤/۰ | ۲۰/۵ | ۳۷/٤ | ۲۳/٦ | ٤/۵ | ۳/۱٦ | ۷ | متوسط |
| $X_8$ آگاهی از واکنش‌ها و نحوه رفتار مناسب در زمان وقوع بلای طبیعی و غیره | ۱۵/٦ | ۲٤/۱ | ۳٤/۰ | ۱۹/۰ | ۷/۳ | ۳/۲۲ | ٤ | متوسط |




**شکل ۳- وضعیت تاب‌آوری شاخص آگاهی در شهر کرمانشاه**

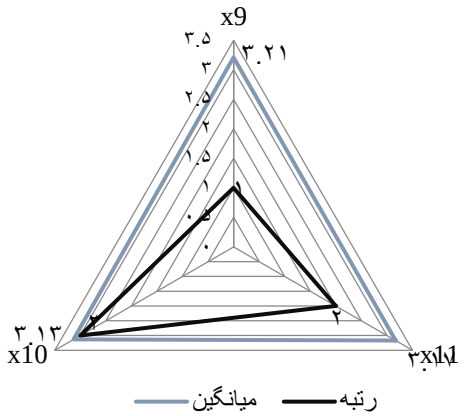
بررسی وضعیت شاخص دانش در جدول (٤) و شکل (٤) نشان می‌دهد؛ که تاکنون در مورد زلزله و خسارت‌های ناشی از آن چقدر مطالعه کرده‌اید، بیشترین میزان میانگین را دارد و گویه چه تعداد کتاب مرتبط

با موضوع زلزله و حوادث طبیعی در منزل ما دارید کمترین میزان میانگین را دارد. در این شاخص نیز تاب-آوری کل مؤلفه‌ها در حد متوسط است.

**جدول ٤- وضعیت تاب‌آوری شاخص دانش در شهر کرمانشاه**

| مؤلفه‌های شاخص دانش | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | میانگین | رتبه | تاب‌آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X۹ تاکنون در مورد زلزله و خسارت‌های ناشی از آن چقدر مطالعه کرده‌اید | ١٠/٦ | ٢٩/٩ | ٣٩/٠ | ١٠/٩ | ٩/٦ | ٣/٢١ | ١ | متوسط |
| X١٠ چه تعداد کتاب مرتبط با موضوع زلزله و حوادث طبیعی در منزل ما دارید | ١٣/٠ | ٢٠/٥ | ٤٢/٦ | ١٣/٠ | ١٠/٩ | ٣/١٣ | ٣ | متوسط |
| X١١ در زمینه زلزله و ایمنی در برابر آن چقدر از دیگران (دوستان، اقوام، همکاران ) تجربه –کسب کرده‌اید | ١١/٤ | ٢٣/١ | ٤٤/٩ | ١٢/٢ | ٨/٤ | ٣/١٧ | ٢ | متوسط |

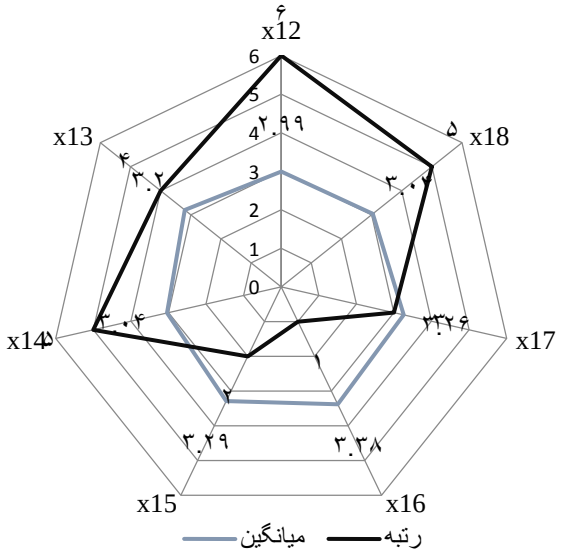
منبع: یافته‌های پژوهش




بررسی وضعیت شاخص مهارت در جدول (۵) و شکل (۵) نشان می‌دهد؛ که بیشترین فراوانی مربوط به گویه بستن منابع اصلی آب، گاز و برق و کمترین میانگین را مؤلفه ارائه کمک‌های اولیه (تزریقات، پانسمان، تنفس مصنوعی، شکسته‌بندی، انتقال مصدومین و...) به خود اختصاص داده است و تاب‌آوری آن کمتر از مقدار متوسط است، همچنین تاب‌آوری بقیه مؤلفه‌ها در حد متوسط است.

**جدول ۵- وضعیت تاب‌آوری شاخص مهارت در شهر کرمانشاه**

| مؤلفه‌های شاخص مهارت | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | میانگین | رتبه | تاب-آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X١٢ ارائه کمک‌های اولیه (تزریقات، پانسمان، تنفس مصنوعی، شکسته‌بندی، انتقال مصدومین و...) | ١٢/٤ | ١٧/٧ | ٣٧/٤ | ٢١/٦ | ١٠/٩ | ٢/٩٩ | ٦ | کم |
| X١٣ تمرین برای مواقع زلزله و بحرانی شناسایی مکان‌های امن منزل، مکان‌های اسکان موقت محله، برپایی چادر اسکان موقت و...) | ٩/٩ | ١٦/١ | ٤٦/٨ | ٢١/٠ | ٦/٢ | ٣/٢٠ | ٤ | متوسط |
| X١٤ کار با کپسول آتش‌نشانی | ١٣/٧ | ١٦/٩ | ٣٩/٥ | ١٩/٥ | ١٠/٤ | ٣/٠٤ | ٥ | متوسط |
| X١٥ نحوه قرار دادن و چیدمان اثاثیه منزل جهت کاهش خسارت | ١٤/٠ | ٢٩/٩ | ٣٤/٨ | ١٣/٢ | ٨/١ | ٣/٢٩ | ٢ | متوسط |
| X١٦ بستن منابع اصلی آب، گاز و برق | ١٥/٣ | ٣٨/٤ | ٢٢/١ | ١٧/٤ | ٦/٨ | ٣/٣٨ | ١ | متوسط |
| X١٧ حفظ شماره تلفن‌های ضروری مثل اورژانس و آتش‌نشانی | ٦/٨ | ٣٤/٣ | ٤٢/٦ | ١١/٤ | ٤/٩ | ٣/٢٦ | ٣ | متوسط |
| X١٨ حفظ آرامش روحی و روانی در هنگام و بعد از زلزله | ١١/٢ | ٢٦/٥ | ٣٢/٢ | ١٥/٨ | ١٤/٣ | ٣/٠٤ | ٥ | متوسط |



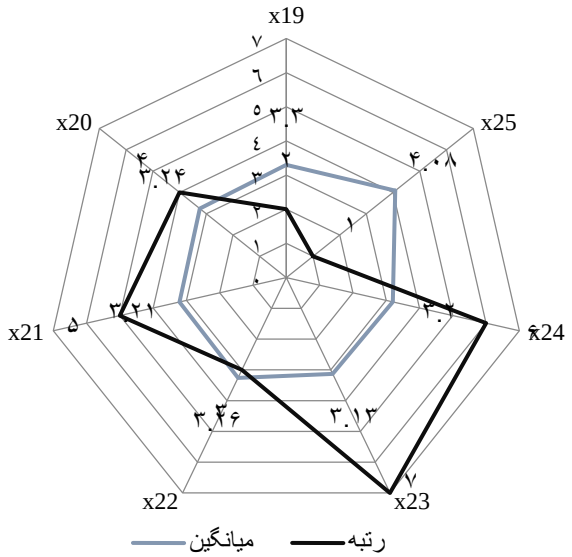

**شکل ۵- وضعیت تاب‌آوری شاخص مهارت در شهر کرمانشاه**

بررسی وضعیت شاخص نگرش در جدول (٦) و شکل (٦) نشان می‌دهد؛ که بیشترین فراوانی مربوط به گویه زلزله از آن دسته مخاطرات طبیعی است که امکان پیش‌بینی دقیق آن وجود ندارد که تاب‌آوری آن زیاد است و گویه بهترین راه برای مقابله با زلزله در کرمانشاه رفتن به سایر شهرهاست کمترین میانگین را به خود اختصاص داده است همچنین تاب‌آوری بقیه مؤلفه‌ها در حد متوسط است.

**جدول ٦- وضعیت تاب‌آوری شاخص نگرش در شهر کرمانشاه**

| مؤلفه‌های شاخص نگرش | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | میانگین | رتبه | تاب‌آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X۱۹ همواره خطر زلزله در کمین است و باید در مقابل آن کاری انجام داد | ۱۷/۹ | ۲۳/٤ | ۳٦/۹ | ۱٤/۸ | ۷/۰ | ۳/۳۰ | ۲ | متوسط |
| X۲۰ بعید است که در این سال‌ها در کرمانشاه زلزله‌ای اتفاق بیفتد | ۱٤/۳ | ۱۵/۸ | ۵٤/۸ | ۹/٦ | ۵/۵ | ۳/۲٤ | ٤ | متوسط |
| X۲۱ هنگام خرید یا اجاره خانه به مقاومت آن در برابر زلزله توجه می‌کنم و حتماً آن را در نظر می‌گیرد | ۱۰/۹ | ۳۱/٤ | ۳٤/۸ | ۱۳/۳ | ۹/٦ | ۳/۲۱ | ۵ | متوسط |
| X۲۲ همین‌که خانه و سرپناهی در کرمانشاه داشته باشیم برایم کافیست و به مقاوم بودن آن در برابر زلزله فکر نمی‌کنیم | ۷/۳ | ۳۹/۵ | ۳۰/۱ | ۱۸/۲ | ٤/۹ | ۳/۲٦ | ۳ | متوسط |
| X۲۳ بهترین راه برای مقابله با زلزله در کرمانشاه رفتن به سایر شهرهاست | ۷/۸ | ۲٦/۰ | ٤۳/٤ | ۱۷/٤ | ۵/۵ | ۳/۱۳ | ۷ | متوسط |
| X۲۳ مسائل و مشکلاتی مهم‌تر و ضروری‌تر از ایمن بودن در برابر زلزله دارم که باید اول به آن‌ها رسیدگی کنم | ۱۲/۵ | ۳٤/۵ | ۲٦/۰ | ۱٤/۳ | ۱۲/۷ | ۳/۲۰ | ٦ | متوسط |
| X۲۵ زلزله از آن دسته مخاطرات طبیعی است که امکان پیش‌بینی دقیق آن وجود ندارد | ٤٦/۰ | ۳۲/۷ | ۸/۸ | ۷/۸ | ٤/۷ | ٤/۰۸ | ۱ | زیاد |

منبع: یافته‌های پژوهش



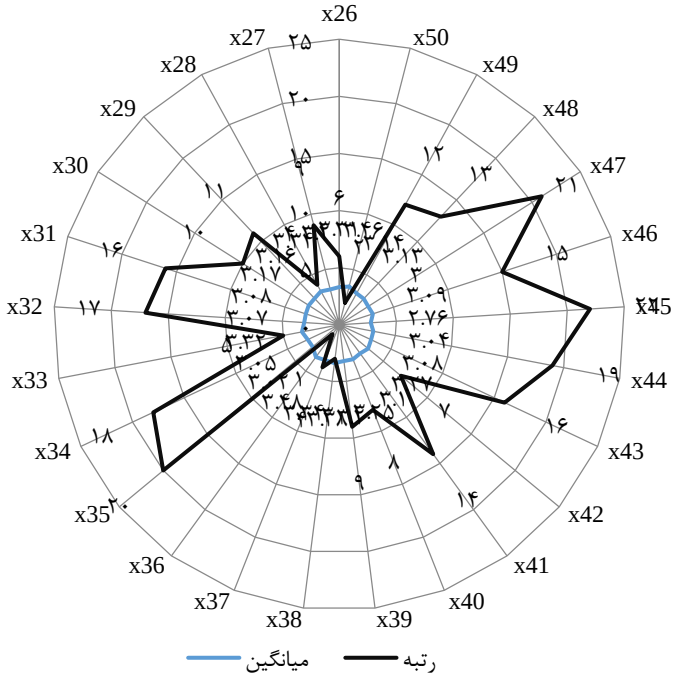

**شکل ٦- وضعیت تاب‌آوری شاخص نگرش در شهر کرمانشاه**

بررسی وضعیت شاخص سرمایه اجتماعی در جدول (۷) و شکل (۷) نشان می‌دهد؛ که بیشترین فراوانی مربوط به گویه حاضرم به‌صورت داوطلبانه در فعالیت‌هایی مثل گروه‌های امداد، مراسم مذهبی، اعیاد و جشن‌ها در محله همکاری کنیم و گویه من در زمان وقوع زلزله می‌توانم به‌نوعی آرامش خودم را حفظ کنم کمترین میانگین را به خود اختصاص داده است و تاب‌آوری آن کم است بقیه مؤلفه‌ها تاب‌آوری آن‌ها متوسط است.

## جدول ۷- وضعیت تاب‌آوری شاخص سرمایه اجتماعی در شهر کرمانشاه

| مؤلفه‌های شاخص سرمایه اجتماعی | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | خیلی کم | میانگین | رتبه | تاب‌آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X۲۶ بیشتر افرادی که در این محله زندگی می‌کنند را می‌شناسم | ٤/۲ | ۳۸/۲ | ٤۷/۳ | ٤/۹ | ٥/٤ | ۳/۳۱ | ٦ | متوسط |
| X۲۷ با همسایه‌هایم دوستی و ارتباط نزدیکی دارم | ٦/۰ | ۲۲/۳ | ٦۰/۸ | ۷/۸ | ۳/۱ | ۳/۲۰ | ۹ | متوسط |
| X۲۸ همسایگان من، بعضی از وسایل موردنیاز (مثل مواد خوراکی) را در مواقع ضروری به من قرض می‌دهند | ۱٤/۸ | ۲۰/٥ | ٥۰/۹ | ۱۰/۹ | ۲/۹ | ۳/۳٤ | ٤ | متوسط |
| X۲۹ افرادی که در همسایگی من هستند بیشتر به فکر خودشان هستند و در صورت لزوم به دیگران کمک می‌کنند | ٦/٥ | ۲۹/۱ | ٤۷/۳ | ۸/۳ | ۸/۸ | ۳/۱٦ | ۱۱ | متوسط |
| X۳۰ همسایه‌هایم آنقدر خوب هستند که وقتی نیستم، می‌توانیم کلید خانه‌ام را به آن‌ها بدهم | ۱۷/۱ | ۲۳/۱ | ۳۱/٤ | ۱٦/٦ | ۱۱/۸ | ۳/۱۷ | ۱۰ | متوسط |
| X۳۱ به نهادها و نمایندگان محلی برای حل مشکل ساکنان محله اعتماد دارم | ۱٤/۰ | ۲۰/۸ | ۳٤/٥ | ۲۰/۳ | ۱۰/٤ | ۳/۰۸ | ۱٦ | متوسط |
| X۳۲ به اخبار و اطلاعات منتشر شده در مورد زلزله از سوی رسانه‌های رسمی (روزنامه‌های تلویزیون، رادیو) اعتماد دارم | ۱۲/۲ | ۲۰/۰ | ۳۷/۹ | ۲۱/۰ | ۸/۹ | ۳/۰۷ | ۱۷ | متوسط |
| X۳۳ به قوانینی که به حفظ نظم در جامعه کمک می‌کند اعتماد دارم | ۱۷/۹ | ۲۸/۱ | ۲۹/۸ | ۱٦/۱ | ۸/۱ | ۳/۳۲ | ٥ | متوسط |
| X۳۴ فکر می‌کنم تصمیم‌گیرندگان محلی (شورایاری و شهرداری)، نظرات شهروندان را تصمیم‌گیری-ها در نظر می‌گیرند | ۱۳/٥ | ۲۰/۸ | ۳٥/۱ | ۱۹/۰ | ۱۱/٦ | ۳/۰٥ | ۱۸ | متوسط |
| X۳٥ مردم محله در مورد کنترل و حل مسائل و مشکلات محله با هم همفکری می‌کنند | ۱۲/٥ | ۲۳/٦ | ۳۰/٦ | ۲۰/۰ | ۱۳/۳ | ۳/۰۲ | ۲۰ | متوسط |
| X۳٦ حاضرم به‌صورت داوطلبانه در فعالیت‌هایی مثل گروه‌های امداد، مراسم مذهبی، اعیاد و جشن‌ها در محله همکاری کنیم | ۲۰/۳ | ۲۷/۷ | ۳٦/٤ | ۱۱/۲ | ٤/٤ | ۳/٤۸ | ۱ | متوسط |
| X۳۷ مردم این محله در کارهای جمعی و عمومی مشارکت می‌کنند | ۲۲/۳ | ۲٥/٥ | ۲۷/۸ | ۱۲/۷ | ۱۱/۷ | ۳/۳٤ | ٤ | متوسط |
| X۳۸ در جلسات عمومی در مورد مسائل و مشکلات محله شرکت می‌کنم | ۱٤/۸ | ۲٤/۷ | ٤۸/۸ | ٦/۸ | ٤/۹ | ۳/۳۸ | ۳ | متوسط |
| X۳۹ اگر در محله ما مشکلی مثل کمبود آب یا بیماری پیش بیاید مردم برای حل آن با هم همکاری می‌کنند | ۱۲/۱ | ۲٦/٥ | ٤۰/۳ | ۱۱/۲ | ۹/۹ | ۳/۲۰ | ۹ | متوسط |
| X٤۰ می‌توانم با دیگران برای بهبود محل زندگیم همکاری کنیم | ۱٥/٦ | ۲۱/۳ | ٤۱/۰ | ۱٦/٤ | ٥/۷ | ۳/۲٥ | ۸ | متوسط |
| X٤۱ اگر مشکلی در زمان وقوع حوادث طبیعی در این محله به وجود بیاید می‌توانیم آن را حل کنیم | ۱٤/۰ | ۱۸/۲ | ۳۹/۰ | ۲۱/۳ | ۷/٥ | ۳/۱۰ | ۱٤ | متوسط |
| X٤۲ به سازمان‌های خیریه و فقیران در محله کمک (پول، غذا، پوشاک) می‌کنم | ۱۸/٤ | ۲۰/۰ | ۳۸/۳ | ۱۷/۱ | ٦/۲ | ۳/۲۷ | ۷ | متوسط |
| X٤۳ اگر کسی مشکلات را در مقابل مسئولان بیان کند، افراد دیگر با او همراهی می‌کنند | ۷/۰ | ۲٤/۹ | ٤۲/٦ | ۲۰/۳ | ٥/۲ | ۳/۰۸ | ۱٦ | متوسط |
| X٤٤ من آدم شاد و خوشبینی هستیم | ۱۲/۸ | ۲۷/۳ | ۲٦/۲ | ۱۹/۲ | ۱٤/٥ | ۳/۰٤ | ۱۹ | متوسط |
| X٤٥ من در زمان وقوع زلزله می‌توانم به‌نوعی آرامش خودم را حفظ کنم | **۱۲/۲** | **۱٦/۹** | **۲۸/۸** | **۱۸/٤** | **۲۳/۷** | **۲/۷٦** | ۲۲ | **کم** |
| X٤٦ من این قدرت و توانایی را دارم که با تصمیمات مهمی بتوانم مسیر زندگیم را عوض کنم | ۱۱/٤ | ۱۷/٤ | ٤٦/٥ | ۱۸/۲ | ٦/٥ | ۳/۰۹ | ۱٥ | متوسط |
| X٤۷ مردم محله درصورتی‌که مشکل یا خواسته‌ای داشته باشد، می‌توانند خواسته خود را به گوش مسئولان برسانند | ۱۰/٦ | ۲٤/۷ | ۲۸/۸ | ۲٦/۰ | ۹/۹ | ۳ | ۲۱ | متوسط |
| X٤۸ این محله مکان خوبی برای زندگی است | ۱۸/۲ | ۱۹/۲ | ۳۱/۲ | ۲۰/۰ | ۱۱/٤ | ۳/۱۳ | ۱۳ | متوسط |
| X٤۹ در این محله احساس راحتی می‌کنیم | ۱۱/۷ | ۲۰/٥ | ٤۳/۹ | ۱۷/۹ | ٦/۰ | ۳/۱٤ | ۱۲ | متوسط |
| X٥۰ انتظار دارم که در این محله برای زمانی طولانی زندگی کنم. | ۱۹/۲ | ۳۰/٤ | ۳۳/٤ | ۱۱/۲ | ٥/۸ | ۳/٤٦ | ۲ | متوسط |

منبع: یافته‌های پژوهش




**شکل ۷- وضعیت تاب‌آوری شاخص سرمایه اجتماعی در شهر کرمانشاه**

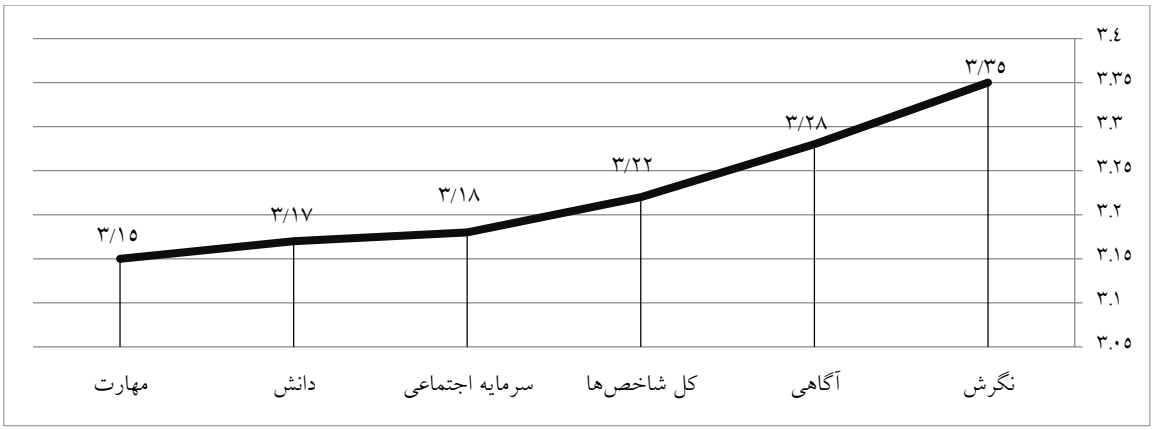
### ۳-۲- بررسی میزان رضایت از شاخص‌های تاب‌آوری در شهر کرمانشاه

برای تحلیل فضایی تاب‌آوری در شهر کرمانشاه عدد ۳ (حد متوسط) در نظر گرفته شده است. جدول (۸) و شکل (۸) نشان می‌دهد در همه شاخص‌ها (آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی) میانگین بیشتر از مقدار متوسط ۳ به دست آمده است که حد وسط طیف لیکرت است. همچنین در تمامی شاخص‌ها مقدار معناداری به دست آمده (۰/۰۰۰) کوچک‌تر از مقدار ۰/۰۵ است، بنابراین با اطمینان ۰/۹۵ وضعیت تاب‌آوری شاخص‌ها در حد متوسط است.

**جدول ۸- بررسی میزان رضایت از شاخص‌های تاب‌آوری در شهر کرمانشاه**

| شاخص | Test Value =3 | | | | | | میزان تاب‌آوری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین | مقدار t | درجه آزادی | سطح معناداری | فاصله اطمینان ۹۵درصد | | |
| | | | | | حد پائین | حد بالا | |
| آگاهی | ۳/۲۸ | ۱۲/۱۹۲ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۳ | ۰/۳۲ | متوسط |
| دانش | ۳/۱۷ | ۵/۱۷۳ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۰ | ۰/۲۳ | متوسط |
| مهارت | ۳/۱۵ | ۵/۹۳۹ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۰ | ۰/۲۰ | متوسط |
| نگرش | ۳/۳۵ | ۱٤/۸٤۳ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۳۰ | ۰/۳۹ | متوسط |
| سرمایه اجتماعی | ۳/۱۸ | ۱۲/٤۳٦ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۱۵ | ۰/۲۱ | متوسط |
| کل شاخص‌ها | ۳/۲۲ | ۱۸/۲۳۲ | ۳۸٤ | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۰ | ۰/۲۵ | متوسط |

یافته‌های پژوهش



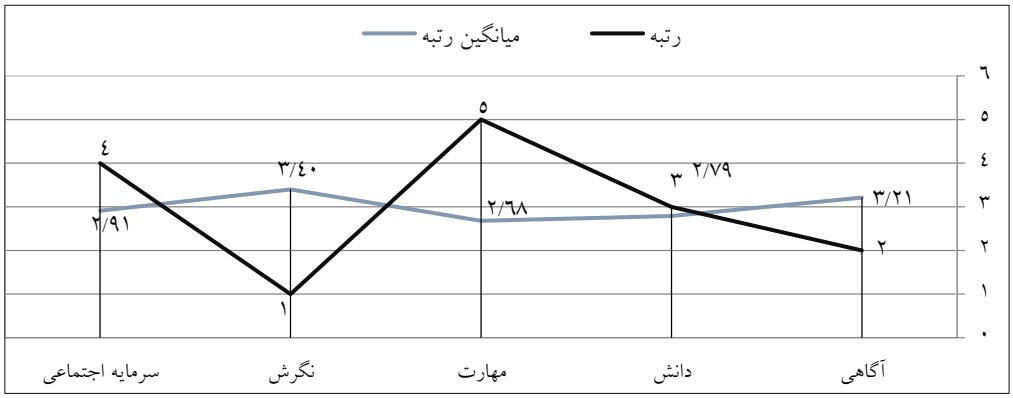

**شکل ۸- بررسی میزان رضایت از شاخص‌های تاب‌آوری در شهر کرمانشاه**

### ۳-۳- اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری با آزمون فریدمن

از آزمون فریدمن جهت اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس بیشترین درجه اهمیت آن‌ها استفاده می‌شود. اگر آماره آزمون کمتر از سطح معنی‌داری (۰/۰۵) باشد، شاخص‌ها دارای اهمیت متفاوت می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد، شاخص نگرش با میانگین رتبه (۳/٤۰) بیشترین اهمیت را در تاب‌آوری داشته است در رتبه بعدی شاخص آگاهی با میانگین رتبه (۳/۲۱)، شاخص سرمایه اجتماعی با میانگین رتبه (۲/۹۱)، شاخص دانش با میانگین رتبه (۲/۷۹) و شاخص مهارت با میانگین رتبه (۲/٦۸) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتیجه این آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقدار، کای اسکوئر محاسبه شده به میزان ۳۵۳/۱۲٦ با درجه آزادی ٦ در سطح ۰/۰۰۰ معنادار است. بدین معنی بین مؤلفه‌های شاخص تاب‌آوری تفاوت معناداری وجود دارد و رتبه و درنتیجه وضعیت این مؤلفه‌ها با یکدیگر متفاوت است هرکدام از این شاخص‌ها دارای اهمیت متفاوتی هستند جدول (۹) و شکل (۹).

**جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تاب‌آوری با آزمون فریدمن در شهر کرمانشاه**

| شاخص‌ها | تعداد | میانگین رتبه‌ای | رتبه |
|---|---|---|---|
| آگاهی | ۳۸۵ | ۳/۲۱ | ۲ |
| دانش | ۳۸۵ | ۲/۷۹ | ٤ |
| مهارت | ۳۸۵ | ۲/٦۸ | ٥ |
| نگرش | ۳۸۵ | ۳/٤۰ | ۱ |
| سرمایه اجتماعی | ۳۸۵ | ۲/۹۱ | ۳ |
| کای اسکوئر | ٥٥/۷۰۹ | | |
| درجه آزادی | ٤ | | |
| سطح معناداری | ۰/۰۰۰ | | |



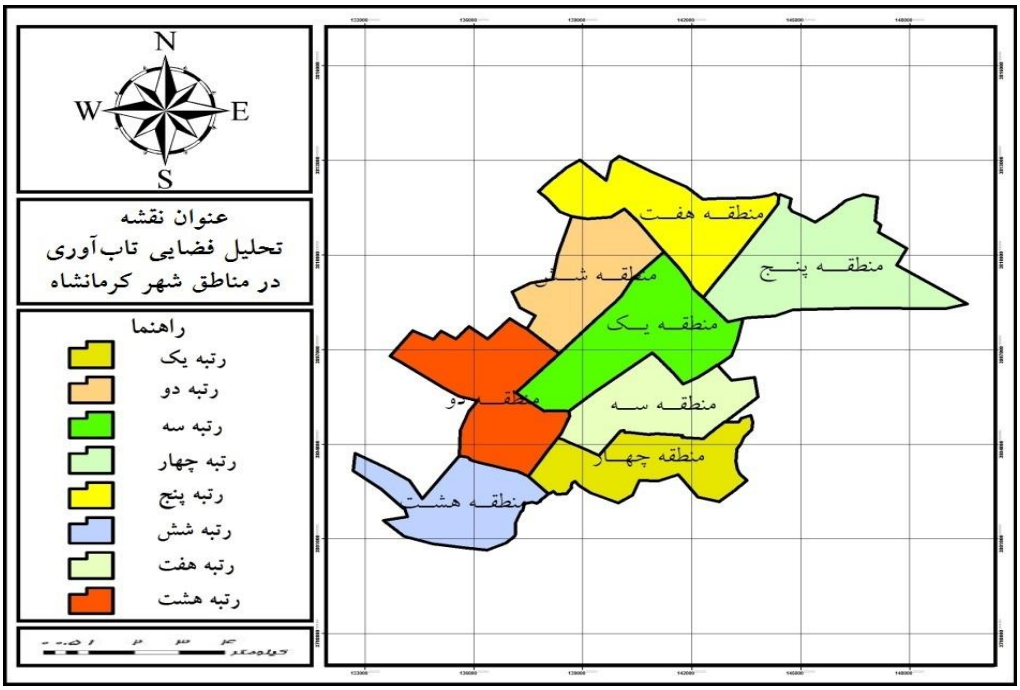

**شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تاب‌آوری با آزمون فریدمن در شهر کرمانشاه**

### ۳-٤- مقایسه مناطق هشت‌گانه شهر کرمانشاه از نظر شاخص‌های تاب‌آوری

جهت تحلیل فضایی تاب‌آوری در مناطق هشت‌گانه شهر کرمانشاه از آزمون کروسکال والیس استفاده شده است جدول (۱۰) و شکل (۱۰)، نتایج نشان دهنده تفاوت معنادار بین مناطق هشت‌گانه در شهر کرمانشاه از لحاظ کل شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی (آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی) وجود دارد. هرچند تحلیل فضایی تاب‌آوری همه شاخص‌ها در شهر کرمانشاه در حد متوسط است اما در تحلیل فضایی تاب‌آوری بین مناطق شهر کرمانشاه تفاوت وجود دارد و مناطق هشت‌گانه شهر کرمانشاه در یک سطح نمی‌باشند، به‌طوری‌که منطقه چهار بیشترین میزان تاب‌آوری را دارا است، منطقه شش در رتبه دوم، منطقه یک در رتبه سوم، منطقه پنج در رتبه چهارم، منطقه هفت در رتبه پنجم، منطقه هشت در رتبه ششم، منطقه سه در رتبه هفتم و نهایتاً منطقه دو در آخر قرار گرفته‌اند.

**جدول ۱۰- تحلیل فضایی تاب‌آوری در مناطق هشت‌گانه شهر کرمانشاه**

| مناطق | فراوانی | میانگین رتبه‌ای | رتبه |
|---|---|---|---|
| منطقه یک | ٤٤ | ۲۰٦/۰۷ | ۳ |
| منطقه دو | ٤٥ | ۱٤۹/۹۷ | ۸ |
| منطقه سه | ۳۲ | ۱۸٦/٦٦ | ۷ |
| منطقه چهار | ٤٥ | ۲٤٥/۸۷ | ۱ |
| منطقه پنج | ۳۸ | ۱۹۳/۰۸ | ٤ |
| منطقه شش | ٤۲ | ۲۰۸/۷٥ | ۲ |
| منطقه هفت | ۳۹ | ۱۹۱/٤۷ | ٥ |
| منطقه هشت | ۳۰ | ۱۹۰/۲۰ | ٦ |
| کروسکال والیس | ۱٥/۸٦٥ | | |
| درجه آزادی | ۷ | | |
| سطح معناداری | ۰/۰۲٦ | | |




**شکل ۱۰- تحلیل فضایی تاب‌آوری در مناطق هشت‌گانه شهر کرمانشاه بر اساس کل شاخص‌های**

### ۳-۵ ضریب پراکندگی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها در مناطق شهر کرمانشاه

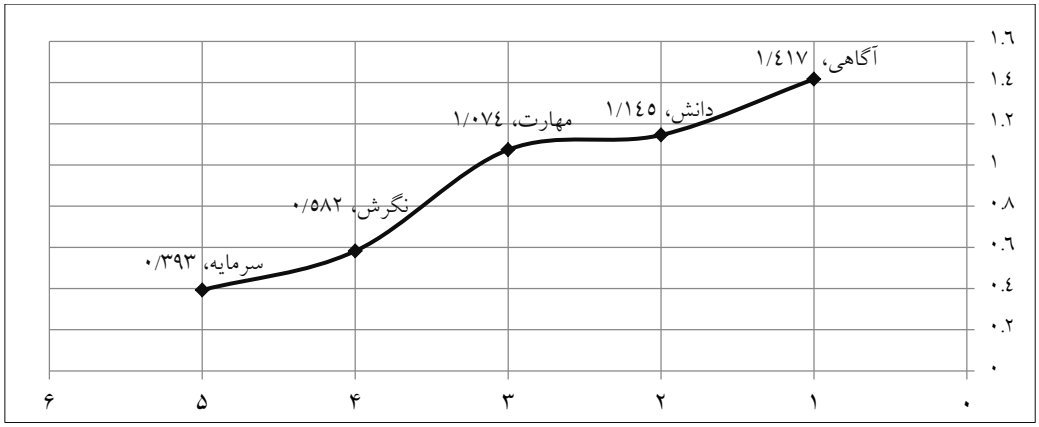
همچنین برای نحوه توزیع شاخص‌های تاب‌آوری در شهر کرمانشاه از ضریب پراکندگی (CV) استفاده شده است رابطه (۱):

$$cv = \frac{S}{M} \times ۱۰۰$$ رابطه (۱)

CV: ضریب پراکندگی؛ S: انحراف معیار شاخص؛ M: میانگین شاخص است (موسوی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۷۳)، نتایج این بررسی در جدول (۹ ) نشان می‌دهد، بیشترین نابرابری مربوط به مؤلفه میزان آگاهی شما از زلزله‌خیز بودن و خطر زلزله در شهر کرمانشاه با مقدار ٤/۱۷۲ و کمترین نابرابری مربوط به مؤلفه فکر می‌کنم تصمیم‌گیرندگان محلی (شورایاری و شهرداری)، نظرات شهروندان را تصمیم‌گیری‌ها در نظر می‌گیرند با مقدار ۰/٦۷۲ است، همچنین بررسی شاخص‌ها نشان می‌دهد، بیشترین نابرابری مربوط به شاخص آگاهی با مقدار ۱/٤۱۷ و کمترین مربوط به شاخص سرمایه اجتماعی با مقدار ۰/۳۹۳ است جدول (۱۱) و شکل (۱۱).

**جدول ۱۱- میزان ضریب پراکندگی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها تاب‌آوری در شهر کرمانشاه**

| مؤلفه | $X_{۱}$ | $X_{۲}$ | $X_{۳}$ | $X_{٤}$ | $X_{٥}$ | $X_{٦}$ | $X_{۷}$ | $X_{۸}$ | $X_{۹}$ | $X_{۱۰}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CV | ٤/۱۷۲ | ۳/٦۸۷ | ۳/۲٥٤ | ۳/٤٦۳ | ۳/۰۸۸ | ۲/۳۸٤ | ۱/٥۷٥ | ۱/٤۹۲ | ۱/۲۹۰ | ۲/۰۰۹ |
| مؤلفه | $X_{۱۱}$ | $X_{۱۲}$ | $X_{۱۳}$ | $X_{۱۴}$ | $X_{۱۵}$ | $X_{۱۶}$ | $X_{۱۷}$ | $X_{۱۸}$ | $X_{۱۹}$ | $X_{۲۰}$ |
| CV | ۲/٦۷٦ | ۱/۹٥٥ | ۲/۹٦٦ | ۰/۸٤۹ | ۲/۱۷٤ | ۲/۳۱٤ | ۳/۷٤۸ | ۱/۲٦۷ | ۳/۱۰۷ | ۱/۹۷۸ |
| مؤلفه | $X_{۲۱}$ | $X_{۲۲}$ | $X_{۲۳}$ | $X_{۲۴}$ | $X_{۲۵}$ | $X_{۲۶}$ | $X_{۲۷}$ | $X_{۲۸}$ | $X_{۲۹}$ | $X_{۳۰}$ |
| CV | ۲/٥۸٤ | ۲/٥۸٦ | ۱/٦۰۹ | ۱/٥۰۲ | ۱/۰۳٥ | ۱/۰۸۱ | ۱/۳۷٤ | ۲/۷۳٦ | ۱/۹۱۸ | ۱/٥۰۸ |
| مؤلفه | $X_{۳۱}$ | $X_{۳۲}$ | $X_{۳۳}$ | $X_{۳۴}$ | $X_{۳۵}$ | $X_{۳۶}$ | $X_{۳۷}$ | $X_{۳۸}$ | $X_{۳۹}$ | $X_{۴۰}$ |
| CV | ۱/۰۷۲ | ۰/۹۰۹ | ۱/۷٤٦ | ۰/٦۷۲ | ۰/۸۹۷ | ۱/۹٦۱ | ۱/۲۷۰ | ۱/۳۷۸ | ۰/۷٦۸ | ۱/۳۱٥ |
| مؤلفه | $X_{۴۱}$ | $X_{۴۲}$ | $X_{۴۳}$ | $X_{۴۴}$ | $X_{۴۵}$ | $X_{۴۶}$ | $X_{۴۷}$ | $X_{۴۸}$ | $X_{۴۹}$ | $X_{۵۰}$ |
| CV | ۲/۰۰۷ | ۱/۷٦۸ | ۱/۲٦۱ | ۰/۸۸۰ | ۲/٤۷۱ | ۱/۱۲۲ | ۱/۹۹۲ | ۱/۱۳۳ | ۱/۰۱۷ | ۲/۰٥۸ |
| شاخص | آگاهی | | دانش | | مهارت | | نگرش | | سرمایه اجتماعی | |
| CV | ۱/٤۱۷ | | ۱/۱٤٥ | | ۱/۰۷٤ | | ۰/٥۸۲ | | ۰/۳۹۳ | |




**شکل ۱۱- میزان ضریب پراکندگی شاخص‌ها تاب‌آوری در شهر کرمانشاه**

**٤- جمع‌بندی**

تقویت توانایی شهروندان در ابعاد مختلف در واقع زمینه‌ساز مشارکت آن‌ها در مراحل گوناگون بحران خواهد بود که خود عامل مهمی در جهت کاهش تأثیرات مخرب زلزله و افزایش تاب‌آوری جامعه خواهد بود. ازآنجاکه وقوع مخاطراتی مانند زلزله همواره امکان‌پذیر است، فقط از طریق برنامه‌ریزی صحیح و استفاده از شیوه‌ها و ابعاد جدید مدیریتی می‌توان از پیامدهای گوناگون و آسیب‌ها و خسارت‌های ناشی از آن‌ها کاست. با توجه به وجود گسل و قرار گرفتن شهر کرمانشاه در معرض مخاطره طبیعی زلزله، هدف پژوهش تحلیل فضایی تاب‌آوری در مناطق شهری شهر کرمانشاه است **که ۳۸۵** نفر به‌عنوان نمونه آماری انتخاب گردید. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسشنامه حاوی سؤالاتی در مورد شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی؛ شامل پنج شاخص، آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی است. برای تجزیه‌وتحلیل پرسشنامه و پاسخ به سؤال‌های پژوهش از روش‌های توصیف فراوانی ابعاد و گویه‌ها، آزمون‌های تی تک نمونه‌ای و فریدمن، کروسکال والیس و روش ضریب پراکندگی استفاده شده است.

در پاسخ به سؤال به وضعیت تاب‌آوری در شهر کرمانشاه چگونه است.

نتایج نشان می‌دهد در همه شاخص‌ها (آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و سرمایه اجتماعی) میانگین بیشتر از مقدار متوسط ۳ به دست آمده است و تاب‌آوری آن‌ها متوسط است.

در پاسخ به سؤال کدام شاخص بیشترین تأثیر را در تاب‌آوری شهر کرمانشاه داشته است.

نتایج نشان می‌دهد، شاخص نگرش با میانگین رتبه (۳/٤۰) بیشترین اهمیت را در تاب‌آوری داشته است در رتبه بعدی شاخص آگاهی با میانگین رتبه (۳/۲۱)، شاخص سرمایه اجتماعی با میانگین رتبه (۲/۹۱)، شاخص دانش با میانگین رتبه (۲/۷۹) و شاخص مهارت با میانگین رتبه (۲/٦۸) در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

همچنین در پاسخ به سؤال کدام شاخص دارای بیشترین نابرابری را در شهر کرمانشاه است.

با توجه به نتایج بیشترین نابرابری مربوط به شاخص آگاهی با مقدار ۱/٤۱۷ و کمترین مربوط به شاخص سرمایه اجتماعی با مقدار ۰/۳۹۳ است.

ازجمله تفاوت‌های پژوهش حاضر در مقایسه با پیشینه، به تفاوت جامعهٔ هدف و تمرکز خاص این پژوهش بر وضعیت تاب‌آوری اجتماعی در شهر کرمانشاه به تفکیک مؤلفه‌ها و مناطق، همچنین مشخص شدن بیشترین نابرابری در توزیع مؤلفه و شاخص‌ها و اولویت‌بندی شاخص‌ها با بیشترین درجه اهمیت از دیگرِ تفاوت‌های این پژوهش با پژوهش‌های یاد شده است.

این پژوهش با پژوهش **شماعی و میرزازاده ۱۳۹۸**، تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهر تبریز در برابر زلزله، همسو است. همچنین نتایج پژوهش‌های، گومز باگتون و همکاران ۲۰۱۲، در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که دانش بومی و سیستم تسهیم دانش می‌توانند نقشی حیاتی در ارتقای سطح تاب‌آوری اجتماعی – زیست‌محیطی داشته باشند. تورنلی و همکاران ۲۰۱۵، با توجه به نتایج این پژوهش جوامع دارای زیرساخت‌های اجتماعی پس از وقوع زلزله، بهتر می‌توانند خود را با شرایط سازگار کنند. پاندی و همکاران ۱۲۰۱، سرمایه اجتماعی به‌طور گسترده به‌عنوان یک عنصر کلیدی در بهبود و تاب‌آوری در برابر بلایا در نظر گرفته می‌شود، تأیید می‌کند.

زلزله از آن دسته مخاطرات طبیعی است که زمان دقیق وقوع آن مشخص نیست اما گر اتفاق بیفتد مسائل و مشکلات زیادی را به همراه دارد، مواردی ازجمله ساخت‌وساز در حریم گسل‌ها، عدم مدیریت بحران، رعایت نکردن اصول و مقررات استاندارد در ساختمان‌سازی، فرسوده بودن ساختمان‌ها، تراکم زیاد و... باعث تشدید خسارات جانی و مالی می‌گردد.

در پایان راهکارهایی جهت بهبود وضعیت تاب‌آوری در برابر زلزله در شهر کرمانشاه ارائه می‌گردد:

- رعایت ضوابط و معیارهای ایمنی در ساخت‌وساز
- آگاهی کردن شهروندان از وجود گروه‌های امداد محله‌ای برای مواقع ضروری
- مطالعه در مورد زلزله و خسارت‌های ناشی از آن
- حفظ شماره تلفن‌های ضروری مثل اورژانس و آتش‌نشانی برای مواقع ضروری
- شناسایی مکان‌های امن منزل، مکان‌های اسکان موقت برای مواقع ضروری
- مشارکت در کارهای جمعی مربوط به محله
- آگاه کردن افراد از اصول و روش‌های مقابله با مخاطرهٔ زلزله.

## کتابنامه


- اصلانی، فرشته؛ امینی حسینی، کامبد و فلاحی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. چارچوب تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی محله در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله کشاورز واقع در منطقه ٦ تهران). *مدیریت مخاطرات محیطی* (دانش مخاطرات سابق). دوره ٥. شماره ٤. صص ٤٣٣-٤١٧.

https://doi.org/10.22059/jhsci.2019.278000.455

- امیری، علی؛ زارعی، حسین؛ مسعودی‌راد، ماندانا و حاتمی‌نژاد، حسین؛ ١٤٠١. شناسایی مؤلفه‌های اثرگذار بر افزایش میزان تاب‌آوری اقتصادی و اجتماعی شهری در مواجهه با بحران زلزله مطالعه موردی: شهرستان بروجرد. *فصل‌نامه آمایش محیط*. دوره ١٥. شماره ٥٧. صص ٢١٠-١٨٩. https://doi.org/20.1001.1.2676783.1401.15.57.10.1

- ایزدی نجف‌آبادی، راضیه؛ خادم‌الحسینی، احمد؛ صابری، حمید و اذانی، مهری؛ ۱۳۹۹. تحلیل عوامل مؤثر بر افزایش تاب‌آوری اجتماعی شهرها (مطالعه موردی: شهر نجف‌آباد). *دوفصلنامه جغرافیای اجتماعی شهری*. دوره ۷. شماره ۲. صص ۱۱۲-۷۷. https://jusg.uk.ac.ir/article_2692.html

- بسطامی‌نیا، امیر؛ رضائی، محمدرضا و سرائی، محمدحسین؛ ۱۳۹۷. تبیین و تحلیل تاب‌آوری اجتماعی برای مقابله با سوانح طبیعی. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. دوره ۸. شماره۳. صص٢٢٤- ٢٠٩.

https://dpmk.ir/article-1-201-fa.html

- پورطاهری، مهدی؛ سجاسی قیداری، حمداله و صادقلو، طاهره؛ ۱۳۹۰. ارزیابی تطبیقی روش‌های رتبه‌بندی تکنیک مخاطرات محیطی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: استان زنجان). *پژوهش‌های روستایی*. سال دوم. شماره سوم. صص ٥٤- ٣١.

https://jrur.ut.ac.ir/article_23686.html

- حیدریان، شیدا؛ رحیمی، محمود؛ فتح‌الهی، ثریا و غفوری، سیروان؛ ۱۳۹٦. تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی (نمونه موردی: محله فرحزاد تهران). *فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*. سال دهم. شماره اول. صص ٢٦٠-٢٤٥.

https://sanad.iau.ir/journal/geography/Article/537346?jid=537346

- دارابی، هژیر؛ عزت پناه، بختیار و حسین‌زاده دلیر، کریم؛ ١٤٠١. تحلیل فضایی ابعاد مسکن پایدار شهری مبتنی بر رویکرد اقتصاد سیاسی فضا مطالعه موردی: شهر کرمانشاه. *فصلنامه شهر پایدار*. دوره ٥. شماره ١. صص ٧٩-٥٩.

https://doi.org/10.22034/JSC.2022.307600.1551

- رضایی، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. *تبیین تاب‌آوری اجتماعات شهری به‌منظور کاهش اثرات سوانح طبیعی (زلزله)؛ مطالعه موردی: کلانشهر تهران*. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. اساتید راهنما دکتر مجتبی رفیعیان و دکتر علی عسکری. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.

- رجایی، سید عباس؛ منصوریان، حسین و سلطانی، مرضیه؛ ١٤٠٠. تحلیل فضایی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران. *فصلنامه شهر پایدار*. دوره ٤. شماره ١. صص١٣-١.

https://doi.org/10.22034/JSC.2020.225370.1221

- رئیسیان، میثم؛ ایلانلو، مریم؛ ابراهیمی، لیلا؛ بزرگمهر، کیا؛ ۱۳۹۹. تحلیل جامع تاب‌آوری شهری در مواجهه با خطر وقوع زلزله (مطالعه موردی، شهر ساری)، *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*. دوره ۷. شماره ٤. صص ٤٠٠-٣٨٣. https://doi.org/10.22059/JHSCI.2021.312902.608
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷
- شهبازی، یحیی؛ پورشیخیانه، علیرضا؛ اصغری، حسین؛ امیر انتخابی، شهرام و شهماری، رفعت؛ ١٤٠٠. برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در نوسازی و بازسازی بافت‌های فرسوده شهر کرمانشاه. *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*. سال چهاردهم. شماره اول. صص ١٠٠-٨٣. https://doi.org/20.1001.1.66972251.1400.14.1.5.7
- شاهینی‌فر، مصطفی و چاره‌جو، فرزین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های مؤثر در تحقق حکمروایی خوب شهری در کلانشهرها مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). *مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری*. سال پنجم. شماره ۲. صص ۲۱۹-۲۰۱. https://doi.org/10.22067/gusd.v5i2.74554
- شماعی، علی و میرزازاده، حجت؛ ۱۳۹۸. تحلیل فضایی تاب‌آوری مناطق شهر تبریز در برابر زلزله. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. دوره هشتم. شماره بیستم. صص٢٦٦-٢٤٥.
https://doi.org/10.22111/JNEH.2019.25449.1415
- صالحی، اسماعیل؛ آقابابایی، محمد تقی؛ سرمدی، هاجر، فرزاد بهتاش، محمدرضا؛۱۳۹۰. بررسی میزان تاب‌آوری محیطی با استفاده از مدل شبکه علیت، *مجله محیط‌شناسی*. دوره ۳۷. شماره ۵۹. صص ۱۱۲ - ۹۹.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.10258620.1390.37.59.10.2
- صاحبی، مصطفی؛ فراهانی، مریم و مطهری، سعید؛ ١٤٠٠. بررسی وضعیت زیست‌پذیری شهری در مناطق شهری از دیدگاه شهروندان (مطالعه موردی: مناطق هشت‌گانه کلان‌شهر کرمانشاه). *فصلنامه کارافن*. دوره ۱۸. شماره۱. صص ۷۵-۵۹. https://doi.org/10.48301/kssa.2021.129163
- کریمیان بستانی، مریم؛ پودینه، سجاد؛ صادق بختیاری، مرتضی و سرابندی، زهرا؛ ١٤٠٠. سنجش میزان تاب‌آوری اجتماعی در بافت فرسوده شهرها با رویکرد آینده‌پژوهی مطالعه موردی: شهر زابل. *فصلنامه آینده‌پژوهی شهری*. دوره ۱. شماره ۲. صص ۱۹-۱. https://doi.org/10.30495/uf.2022.1945714.1010
- لک، آزاده؛ ۱۳۹۲. طراحی شهری تاب‌آور. *مجله صفه*. دوره ۲۳. شماره ۱. صص ١٠٤ – ۹۱.
https://doi.org/20.1001.1.1683870.1392.23.1.6.8
- مطهری، زینب‌السادات و بهتاش، فرزاد؛ ١٣٩٤. تبیین اجتماع‌محوری در مدیریت بحران با تاکید بر زلزله. گزارش شماره ۳۰۷. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.
- مشک‌ساز، پریسا؛ پیوسته‌گر، یعقوب و شمس‌الدینی، علی؛ ۱۳۹۸. ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی منطقه ۳ شهرداری شیراز در برابر زلزله. *فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*. دوره ١٤. شماره ٤ پیاپی (٤٩). صص ١١٤٧- ١١٣٣. https://doi.org/ 20.1001.1.25385968.1398.14.4.18.3
- محمدی‌فر، یوسف؛ اعظمی، محسن و فیض‌آقایی، پریا؛ ۱۳۹۹. طراحی مدل بومی مدیریت بحران سوانح گسترده طبیعی (موردمطالعه: زلزله کرمانشاه). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. دورهٔ دهم. شمارهٔ دو. صص١٨٦- ١٧٧. https://doi.org/ 20.1001.1.23225955.1399.10.2.6.4

- منوریان، عباس؛ امیری، مجتبی و مهرکلی، سیمین؛ ۱۳۹۷. شناسایی مولفه‌های اثرگذار بـر افـزایش میـزان تـاب‌آوری اجتماعی محلات آسیب‌پذیر و دارای بافت فرسوده در مواجهه با حوادث طبیعی شـهر مـوردی: تهـران). *فصـلنامه مطالعات مدیریت شهری*. سال دهم. شماره سی و چهارم. صص ۲۶-۱۳.

https://sanad.iau.ir/journal/ums/Article/13165?jid=13165

- موسوی، میرنجف؛ سجاد امیدوارفر؛ ارباب حسین‌زاده و نیما بـایرام‌زاده؛ ۱٤۰۱. تحلیـل عـدالت فضـایی در توزیـع کاربری‌های خدماتی در مناطق شهری (نمونه موردی: مناطق ۵گانه - ارومیه). *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*. سال یازدهم. شماره چهل و سه. صص ۱۷۷-۱٦۲.

https://sanad.iau.ir/journal/ges/Article/691454?jid=691454&lang=en

- نیکمردنمین، سارا؛ برک‌پور، ناصر و عبدالهی، مجید؛ ۱۳۹۳. کاهش خطـرات زلزلـه بـا تأکیـد بـر عوامـل اجتمـاعی رویکرد تاب‌آوری نمونه موردی: منطقه ۲۲ تهران. *فصلنامه مدیریت شهری*. دوره ۱۳. شماره ۳۷. صص ۳٤ - ۱۹.

https://www.sid.ir/paper/92273/fa

- Dewi, M. A. A., Rohman, M. A., & Santoso, E. B., 2021. Social Resilience Assessment in Reducing Potential Risk of Earthquake in Surabaya. IPTEK Journal of Proceedings Series, (3), 255-263. http://dx.doi.org/10.12962/j23546026.y2020i3.11220.
- Gómez-Baggethun, E., Reyes-García, V., Olsson, P., & Montes, C.,2012. Traditional ecological knowledge and community resilience to environmental extremes: A case study in Doñana, SW Spain. Global Environmental Change, 22(3), 640-650. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.02.005.
- Panday, S., Rushton, S., Karki, J., Balen, J., & Barnes, A., 2021. The role of social capital in disaster resilience in remote communities after the 2015 Nepal earthquake. International Journal of Disaster Risk Reduction, 55, 102112. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102112.
- Patel, R. B., & Gleason, K. M., 2018. The association between social cohesion and community resilience in two urban slums of Port au Prince, Haiti. International Journal of Disaster Risk Reduction, 27, 161-167. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.10.003.
- Trkulja, Tanja., 2015. SOCIAL Resilience as a Theoretical Approach to Social Sustainability. Defendology, 36, 47- 60. https://doi.org/10.7251/DEFEN1501004T.
- Thornley, L., Ball, J., Signal, L., Lawson-Te Aho, K., Rawson, E., 2015. Building community resilience: learning from the Canterbury earthquakes, New Zealand Journal of Social Sciences Online, 10(1). https://doi.org/10.1080/1177083X.2014.934846.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.133-150 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.79118.1287 Open access

# Seismic Hazard Assessment of Badakhshan Region (Northeast Afghanistan)

**Khadijah Mohammadi[a], Ebrahim Moghimi[b], Mehdi Zare[c], Mojtaba Yamani[d] *, Masoud Mojerab[e]**

[a] *Ph.D in Geomorphological Hazards, Geography Colleg, University Of Tehran, Iran.*
[b] *Professor of Physical Geography,Geomorphology, Geography Colleg, University of Tehran, Iran.*
[c] *Professor of Eng Seismology IIEES, Tehran, Iran*
[d] *Professor in Geomorphology, Geography Colleg, University of Tehran, Iran.*
[e] *Assistant Professor, School of Mining Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran.*

***Received: 17 November 2022*** ***Revised: 14 January 2023*** ***Accepted: 17 May 2023***

**Abstract**

Badakhshan region, located in the northeast of Afghanistan, has a complex geology. A catalog from 2011-2021 was prepared using the data of the Middle Asia seismic catalog with updates (1909-2011) from the website of the American Geological Survey. Considering the last earthquake with a magnitude of 7.2 in 2015, the coefficients of b were calculated to the maximum value of 1.0 and the value of 7.9 on the surface and in the depth, the increase in the numerical values of *a* and *b* in the central half has been completely evident. The results indicated that the current trend is opposite to the direction of the main fault in North Badakhshan (north-south direction). The most frequent earthquakes M≥4 occurs at a depth of 150-70 km, earthquakes M≥5 at a depth of 150-300 km, and earthquakes ≥6 at a depth of 150-300 km occur in the east-west direction. This area is exactly where the Pamir Corridor plate meets the center of Badakhshan. This shows that at the end of the Pamir Corridor from east to west, ruptures are being created at depths of 0-150 km. Two east-west and east-south trends are evident. Regarding the shallow earthquakes related to the upper 50 km of the crust, the dominant mechanism is of the normal type, which indicates the stretching of the crust in this section. According to the deep mechanism of earthquakes, the direction of the tensile force is in the east-west direction. This issue further confirms the issue of continental collision and then subduction towards the south of Badakhshan. The innovation of this research is the identification of seismic trends that have rarely been researched in the studied area, and its application is identifying high-risk areas for construction.

**Keywords:** Hindu Kush, Morphotectonic, Fault, Badakhshan, Afghanistan

* . Corresponding author: Mojtaba Yamani Email: myamani@ut.ac.ir Tel:+989123197682

**How to cite this Article:** Mohammadi, K., Moghimi, E., Zare, M., Yamani, M., & Mojarab, M. (2024). Seismic Hazard Assessment of Badakhshan Region (Northeast Afghanistan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 133-150.
**DOI: 10.22067/geoeh.2023.79118.1287**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79118.1287
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۱۵۰-۱۳۳**

مقاله پژوهشی

# ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه بدخشان (شمال شرق افغانستان)

**خدیجه محمدی، دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.**
**ابراهیم مقیمی، استاد ژئومورفولوژی و مخاطره شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.**
**مهدی زارع، استاد زلزله‌شناسی مهندسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.**
**مجتبی یمانی[1]، استاد ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.**
**مسعود مجرب، استادیار مهندسی معدن، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۲/۲۷**

**چکیده**

منطقه بدخشان، در شمال شرق افغانستان دارای زمین‌شناسی پیچیده‌ای است. با استفاده از داده‌های کاتالوگ لرزه‌خیزی آسیای میانه با بروز رسانی (سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۰۹) از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا از سال ۲۰۱۱-۲۰۲۱ کاتالوگی تهیه گردید. با در نظر گرفتن آخرین زلزله با بزرگای ۷.۲ در سال ۲۰۱۵ ضرایب b به بیشترین مقدار ۱.۰ و a به مقدار ۷.۹ در سطح و عمق محاسبه گردید. افزایش مقادیر عددی a,b در نیمه مرکزی به‌طور کامل مشهود بوده است. نتایج حاکی از آن است روند حاضر، برخلاف راستای گسل اصلی شمال بدخشان (جهت شمالی- جنوبی) است. بیشترین فراوانی زلزله‌های ≤۴ در عمق ۷۰-۱۵۰ کیلومتر، زلزله‌های ≤۵ در عمق ۳۰۰-۱۵۰ کیلومتر و درنهایت زلزله‌های ≤۶ در عمق ۳۰۰-۱۵۰ کیلومتر در راستای شرقی غربی رخ می‌دهد. این منطقه دقیقاً برخورد صفحه دالان پامیر به مرکز بدخشان می‌باشد. این مهم

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۱۹۷۶۸۲ Email:myamani@ut.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
محمدی، خدیجه، مقیمی، ابراهیم، زارع، مهدی، یمانی، مجتبی، مجرب، مسعود؛ ۱۴۰۳. ارزیابی خطر لرزه‌ای منطقه بدخشان (شمال شرق افغانستان). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۱۵۰-۱۳۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79118.1287

نشان می‌دهد در منتهی الیه دالان پامیر از شرق به غرب گسیختگی‌هایی در عمق‌های ۰-۱۵۰ کیلومتر در حال ایجاد شدن هستند. دو روند شرقی-غربی و شرقی- جنوبی مشهود است. در خصوص زمین‌لرزه‌های کم‌عمق مربوط به ۵۰ کیلومتر بالایی پوسته، سازوکار غالب از نوع نرمال است که حکایت از کشش پوسته در این بخش دارد. جهت نیروی کششی با توجه به سازوکار ژرفی زمین‌لرزه‌ها، در امتداد شرقی-غربی است. همین مسئله، موضوع برخورد قاره‌ای و سپس فرورانش به سمت جنوب بدخشان را بیشتر تأیید می‌کند. نوآوری این پژوهش شناسایی روندهای لرزه‌ای است که در منطقه موردمطالعه به‌ندرت تحقیق شده است و کاربرد آن برای شناسایی نواحی پرخطر جهت ساخت‌وسازها می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها**: هندوکش، مورفوتکتونیک، بدخشان، افغانستان.

**۱- مقدمه**

به دلیل برخورد قاره به قاره رشته‌کوه‌های هندوکش و پامیر، گسل، درزه و چین‌خوردگی، فشار و کشش در این منطقه رخ داده است؛ در نتیجه ساختار زمین‌شناسی در منطقه بدخشان پیچیده است و شکل‌گیری آن از کامبرین تا هولوسن است (ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۵). کانون‌های لرزه‌ای در هندوکش شرقی در جنوب بدخشان بیشتر است (ساریکایا، ۲۰۱۲؛ شرودر[2]، ۲۰۱۲). منطقه پامیر-هندوکش یکی از فعال‌ترین مناطق روی کره زمین با لرزه‌خیزی و تغییر شکل بزرگ است و چشم‌اندازی برای ارزیابی برخورد قاره‌ای مرتبط با دو ناحیه فرورانش درون‌قاره‌ای با جهت‌های مختلف را نشان می‌دهد. داده‌های لرزه‌خیزی و توموگرافی لرزه‌ای یک دال شکل فرورانش شیب‌دار به سمت شمال در زیر هندوکش و دال فرورانش جنوب در زیر پامیر را نشان می‌دهد (یانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۲). نقشه لرزه‌خیزی منطقه نیز با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری تهیه شده از منابع مختلف تهیه شده است. لرزه‌خیزی در این منطقه الگوی مشخصی را نشان می‌دهد. (شهزاد[4] و همکاران، ۲۰۰۸). دو ناحیه لرزه‌خیز متمایز، اولی روند شیب‌دار در زیر هندوکش و دیگری گسترده در زیر پامیر می‌باشد. زمین‌لرزه‌های عمیق و متوسط عمدتاً در منطقه هندوکش توزیع می‌شوند که توسط گسل رانشی کنترل می‌شود، درحالی‌که پامیر تحت سلطه رژیم تنش امتداد لغز با زمین‌لرزه‌های کم‌عمق و متوسط است. منطقه‌ای که حداکثر محور تنش اصلی در جنوب پامیر عمودی است، درواقع دو سیستم فرورانش؛ که یک سیستم فرورانش دو طرفه است در منطقه هندوکش رخ داده است؛ فرورانش به سمت شمال صفحه هند

1 Zhang
2 Shroder
3 Yang
4 Shahzad

و فرورانش منطقه پامیر به سمت جنوب صفحه اوراسیا است. یک گسل احتمالی در منطقه بین هندوکش و پامیر استنباط می‌شود که جهت حرکت مخالف صفحات هند و اوراسیا دارد (یانگ و همکاران، ۲۰۲۲). کاتالوگی با گردآوری داده‌های مرکز لرزه‌نگاری بین‌المللی از ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ و سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۷ تهیه شد. این مطالعه نشان داده است که در طول دوره قبل از سال ۱۹٦۰، کاتالوگ‌ها ناقص بوده‌اند (رحمان و همکاران، ۲۰۲۱). ۱۹ ایستگاه جدید ماهواره‌ی ناوبری جهانی بین سال‌های ۲۰۱٤ و ۲۰۲۰ را در هندوکش (شمال شرقی افغانستان)، بعد از زلزله ۲۰۱۵ نصب شد. احتمال زلزله‌ای با بزرگای ٦.٤ در سال ۲۰۱٦ را بررسی شد (متزگر[1] و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس کاتالوگ زلزله به روز شده و همگن متشکل از ۲۹۰۹۷ رویداد 4< است. در پژوهشی از مدل پیش‌بینی حرکت زمین برای زلزله‌های کم‌عمق و عمیق استفاده شده است (واسیم[2] و همکاران، ۲۰۱۹). هدف از این پژوهش تهیه کاتالوگ لرزه‌خیزی از سال ۱۹۰۹–۲۰۲۱ میلادی، پهنه‌بندی مناطق پرخطر لرزه‌ای، سازوکار ژرفی زمین‌لرزه و تحلیل مناطق پرخطر می‌باشد.

**۲- مواد و روش مطالعه**

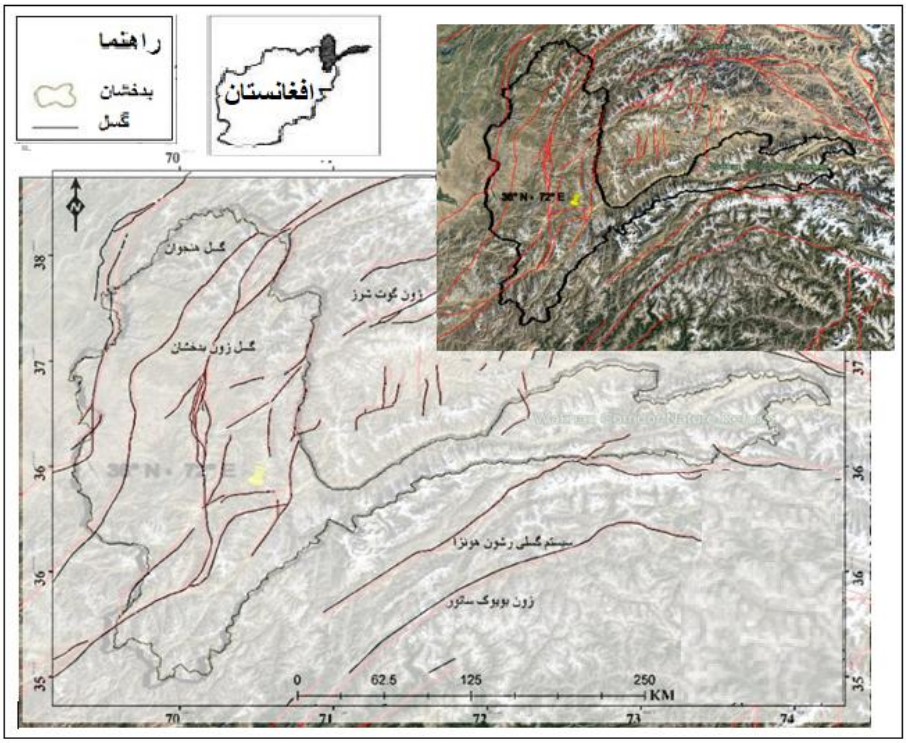
در این پژوهش، کلیه زمین‌لرزه‌های تاریخی و زمین‌لرزه‌های دستگاهی به همراه سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌هایی که در ارتباط با بدخشان به وقوع پیوسته‌اند، موردبررسی قرار گرفته است. داده‌های تاریخی از گزارش‌ها و کتاب تاریخی فیض محمد کاتب که در دیگر کاتالوگ‌ها آورده نشده بود و داده‌های تاریخی از مقالات امبرسیس گردآوری شد. همچنین داده‌های لرزه‌ای دستگاهی موردنیاز مطالعه، از کاتالوگ لرزه‌خیزی آسیای میانه[3] با بروز رسانی (سال‌های ۲۰۱۱–۲۰۲۱) از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا و دیگر مراجع معتبر جهانی حاصل گردید. در بخش لرزه‌زمین‌ساخت به ترتیب درباره پیشینه منطقه بررسی‌هایی انجام شد و نتیجه‌ای که به دست آمد، ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساخت بدخشان را نشان داد. نرم‌افزارهای مورداستفاده در این مطالعه: EZ frisk، گلوبال مپر[4]، جی آی اس می‌باشد. در ابتدا داده‌های لرزه‌خیزی دستگاهی توسط فرمول‌های مربوطه یکسان‌سازی شد. بدین معنا که بزرگاهای مورد تأیید هر سازمان و سایت همه به بزرگاهای Mw تبدیل شد، سپس برای مدل شدن وارد نرم‌افزار EZ frisk شدند. در مرحله بعد توسط، گلوبال مپر و جی آی اس به نقشه تبدیل شدند. درنهایت ضمن پایش کاتالوگ زمین‌لرزه‌های مرتبط با بدخشان، به تعیین الگوی تغییرات ضرایب لرزه‌خیزی گوتنبرگ–ریشتر شامل a,b پرداخته شده و سعی شد تا نقشه‌های هم پتانسیل این دو متغیر مهم و کلیدی تهیه گردد.

1 Metzger
2 Waseem
3 EMME
4 Global mapper

**۳- موقعیت منطقه موردمطالعه**

بدخشان یکی از استان‌های شمال شرقی افغانستان که در منطقه کوهستانی هندوکوش (لوک[1] و همکاران، ۱۹۹۵؛ ملورس[2] و همکاران، ۱۹۹۵) و پامیر (کوفنر[3] و همکاران، ۲۰۲۱) و بین طول جغرافیایی ۷۰ درجه و ٤ دقیقه و ۳٦ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱٦ ثانیه شمالی واقع شده است (شکل ۱)، از سطح دریا ۱،۸۰۰ متر ارتفاع دارد (گوربونووا[4] و همکاران، ۲۰۲۲). این استان در ٤۷۰ کیلومتری کابل واقع است. مساحت بدخشان بیش از ٤۷،٤۰۳ کیلومترمربع می‌باشد. حجم رسوبات کواترنری کم و عمدتاً محدود به بستر رودخانه‌هاست (درووزیزو[5] و همکاران ۲۰۰٦). ارتفاعات غالباً از مجموعه سنگ‌های آهکی، دولومیتی و در برخی موارد مجموعه سنگ‌هایی با درجه دگرگونی بالا چون گنیس تشکیل شده است. در منابع مختلف زون‌های تکتونیکی مختلف برای افغانستان در نظر گرفته شده ولی آنچه نظر نویسندگان را جلب کرد عبارتند از: ۱: زون‌های بند امیر۲: سوخاب ۳: بدخشان غربی ٤: بدخشان شرقی و٦: زون نورستان می‌باشد (متزگر[6]، 2020). زمین‌شناسی بدخشان از لحاظ ساختمانی بسیار درهم‌تنیده است و اساساً شامل توالی‌هایی از روندهای باریک سرزمین‌های شمال‌شرقی جنوب‌غربی خرده‌های قاره‌ای، به سن پالئوزویک تا ترشیری می‌باشد. از لحاظ تشکیلات زمین‌شناسی، در بدخشان سنگ‌هایی به سن پرکامبرین تا کوارترنری و در نقاط مختلف جغرافیایی با سن و جنس متفاوت به‌چشم می‌خورد. همچنین در کوه‌های هندوکش رسوبات یخچالی دوران چهارم نیز به چشم می‌خورد.

1 Lukk
2 Mellors
3 Kufner
4 Gorbunova
5 Darvoziev
6 Metzger




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و گسل‌های اصلی گستره موردمطالعه پژوهش**

**٤- یافته‌های تحقیق**

در این بخش به بحث در مورد روش و نتایج در منطقه موردنظر پرداخته شده است.

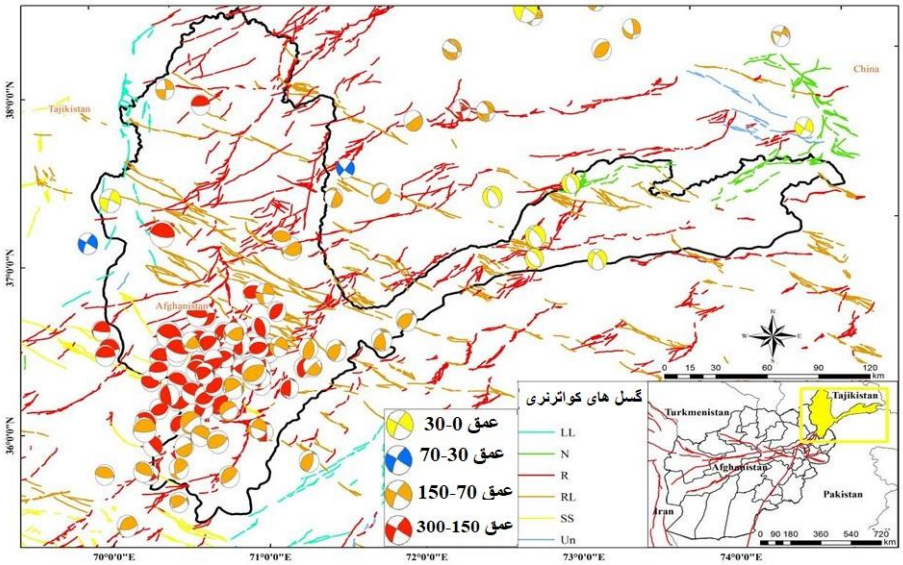
**۱-٤- ژرفای کانونی زمین‌لرزه‌های منطقه**

همان‌طور که جدول ۱ طبقه‌بندی و پراکندگی رخدادهای با بزرگای ٤-۸ در عمق‌های ۰-۷۰، ۷۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۷۰۰ کیلومتر، نشان می‌دهد؛ می‌توان اطلاعات شکل ۱ را که در رابطه با زون لرزه‌خیز بدخشان است این‌طور تحلیل کرد:

**جدول ۱- طبقه‌بندی و پراکندگی رخدادهای با بزرگای ٤-۸ در عمق‌های ۰-۷۰، ۷۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۷۰۰ کیلومتر**

| ردیف | بزرگا (Mw) | عمق (KM) | فراوانی | ردیف | بزرگا (Mw) | عمق (KM) | فراوانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0-70 | 1599 | | | 0-70 | 16 |
| | | 70-300 | 3749 | | | 70-300 | 50 |
| 1 | 4≤4.5 | 300-700 | 6 | 5 | 6 ≤6.5 | 300-700 | 0 |
| | | 0-70 | 1154 | | | 0-70 | 5 |
| | | 70-300 | 1782 | | | 70-300 | 13 |
| 2 | 4.5≤ 5 | 300-700 | 1 | 6 | 6.5 ≤7 | 300-700 | 0 |
| | | 0-70 | 286 | | | 0-70 | 2 |
| | | 70-300 | 306 | | | 70-300 | 7 |
| 3 | 5≤ 5.5 | 300-700 | 2 | 7 | 7 ≤7.5 | 300-700 | 0 |
| | | 0-70 | 94 | | | 0-70 | 1 |
| | | 70-300 | 98 | | | 70-300 | 4 |
| 4 | 5.5 ≤ 6 | 300-700 | 0 | 8 | 7.5≤8 | 300-700 | 1 |

کانون‌های بین اعماق ۱۵۰-۳۰۰ کیلومتر (روند سبز رنگ) و کانون‌های اعماق ۱۵۰-۷۰ کیلومتر (روند سبز آبی)، را می‌توان به‌عنوان لایه لرزه‌زا در نظر گرفت. در خط کنیک رشته‌کوه‌های پامیر و هندوکش مخروط افکنه‌هایی از نوع فعال دیده می‌شود. این مخروط افکنه‌ها در واقع مسیر بستر رودخانه‌های جوانی می‌باشد که به علت تأثیر تکتونیک فعال منطقه، در میان مخروط افکنه‌های قدیمی حفر شده است. البته اقلیم مرطوب منطقه از یک‌سو و نرخ بالای فرسایش و حمل توسط رودخانه‌های منطقه از سوی دیگر، سبب انتقال رسوبات کواترنر به دیگر مناطق پست شده تا مخروط افکنه‌ها در آن مناطق تشکیل شوند. ازاین‌رو مساحت تحت پوشش رسوبات کواترنری در این منطقه از درصد بسیار پایینی برخوردار است. در (شکل۲) به‌روشنی می‌توان مشاهده نمود که محدوده‌ای که کانون تجمع زمین‌لرزه‌ها معرفی شده بود، دارای سازوکار غالب معکوس است که عمق میانگین آن‌ها حدفاصل ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر می‌باشد. زمین‌لرزه‌های ۷۰ تا ۱۵۰ کیلومتری، به شکل یک نوار با امتداد شمال شرق جنوب قرب در جنوب بخش پر تراکم به چشم می‌خورد. در خصوص زمین‌لرزه‌های کم‌عمق مربوط به ۳۰ کیلومتر بالایی پوسته، سازوکار غالب از نوع نرمال است. چنین سازوکاری حکایت از کشش پوسته در این بخش دارد. جهت نیروی کششی به توجه به سازوکار ژرفی زمین‌لرزه‌ها، در امتداد شرقی-غربی است. همین مسئله، موضوع فرورانش را بیشتر تأیید می‌کند.

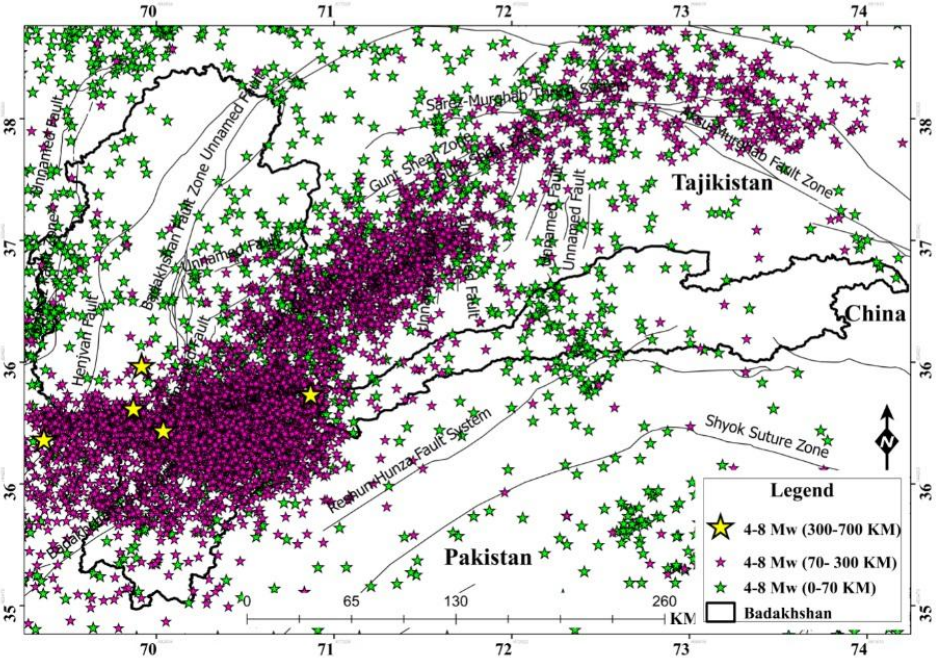



**شکل ۲- نقشه سازوکار ژرفی زمین‌لرزه‌های گستره موردمطالعه به تفکیک عمق**

### ۲-٤- کاتالوگ لرزه‌خیزی و روند زلزله‌ها

اکثر زمین‌لرزه‌هایی که پس از قرن ۱۹ در گستره منطقه موردمطالعه روی داده‌اند دارای بزرگای کم ولی پراکندگی زیاد که در عمق‌های زیاد تا ۲۷۰ کیلومتری می‌باشند. در این پژوهش سعی شده است که زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای M≤٤ معرفی شوند. با توجه به شکل ۳، و مشاهده پراکندگی زمین‌لرزه‌ها در گستره منطقه موردمطالعه متوجه تمرکز کانون‌های زلزله در مخالف راستا و جهت گسل اصلی چمن و شمال بدخشان (امتداد شمالی- جنوبی) در جبهه کوهستان پامیر-هندوکش خواهیم شد. منطقه پامیر - هندوکش در منطقه فعال و زلزله‌خیز قرار دارد. درحالی‌که تحقیقات زیادی در زمینه تولید کاتالوگ‌های لرزه‌ای (دانکیو[1] و همکاران، ۲۰۱۸) در این منطقه ادامه دارد، با این وجود تفسیر کاتالوگ‌ها با استفاده از معیارهای مختلف و با ویژگی‌های مختلف هنوز ناقص است (رحمان و همکاران). گزارش‌های مکتوب زمین‌لرزه‌های تاریخی (امبرسیس[2] و بیلهام[3]، ۲۰۱۱؛ بیلهام و امبرسیس، ۲۰۰۵)، افغانستان از ۷۳٤ میلادی تا به امروز کاتالوگی بیش از ۱۳۰۰ زمین‌لرزه در افغانستان را شرح می‌دهد که بیشتر در منطقه بدخشان رخ داده‌اند. با توجه به کاتالوگ لرزه‌خیزی آسیای میانه (۲۰۱۱- ۱۹۰۹)، با به‌روزرسانی ۲۰۱۱-۲۰۲۱، در نقشه زیر نشان داده شده است. طبق شکل لرزه‌خیزی منطقه روندی شمال شرقی- جنوب غربی دارد که در همین راستا بیشترین فراوانی زلزله-هایی با M≤٤ را داراست.

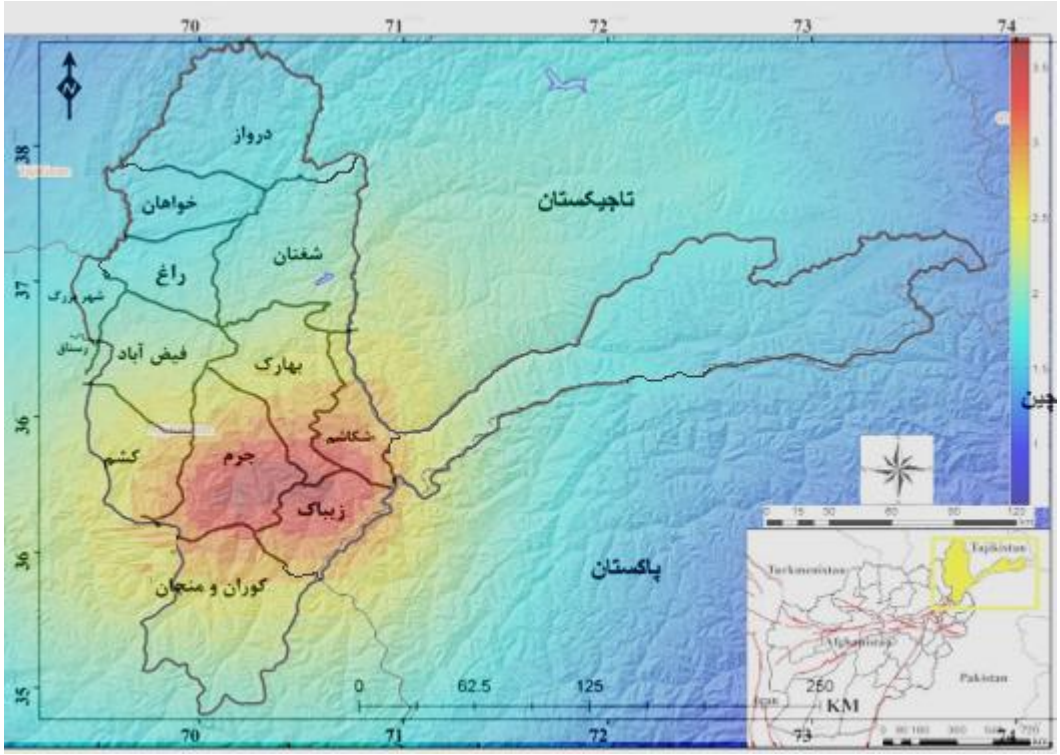
1 Danciu
2 Ambraseys
3 Bilham




**شکل ۳- پراکندگی رخدادهای با بزرگای ٤-۸ در عمق‌های ۰-۷۰، ۷۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۷۰۰ کیلومتر (سازمان زمین‌شناسی آمریکا)**

### ۳-٤- چگالی زمین‌لرزه‌ها و پهنه‌بندی خطر شهرستان

به‌منظور تهیه نقشه چگالی زمین‌لرزه‌های منطقه قبل و پس از رویداد ۲۰۱۵، ( در حدود ۷۰ کیلومتری مرکز بدخشان و عمق ۲۰۰ کیلومتری هندوکش)، فهرست زمین‌لرزه‌های گستره موردمطالعه در نرم‌افزار ZMap مورد پردازش قرار گرفته و درنهایت نتایج حاصل در (شکل ٤) نشان داده شده است. چگالی زمین‌لرزه‌ها برحسب تابع‌نمایی از تعداد رویداد در هر کیلومترمربع لحاظ شده است. بیشترین فراوانی زمین‌لرزه‌ها مربوط به انتهای دالان پامیر و صفحه بدخشان جنوبی می‌باشد. پایین بودن میزان چگالی زمین‌لرزه‌ها پیش از رویداد ۲۰۱۵ در بخش جنوب شرقی گسل به‌طور کامل مشهود است. این متغیر پس از رویداد ۲۰۱۵ به سطح بالاتری رسیده است. افزایش این متغیر رابطه مشخصی با بخش جنوب شرقی بدخشان از خود نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن چنین الگویی انتظار می‌رود زمین‌لرزه‌های بیشتری در بخش جنوب و جنوب شرقی منطقه در آینده به وقوع بپیوندد تا توازن میان‌چگالی زمین‌لرزه‌ها در هر دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی برقرار گردد.




**شکل ٤- چگالی زمین‌لرزه‌ها و پهنه‌بندی خطر برای شهرستان‌های گستره موردمطالعه**

با توجه به موقعیت قرارگیری شهرستان‌های بدخشان و چگالی لرزه‌خیزی طبقه‌بندی و پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای (گیاردینی[1] و همکاران، ۲۰۱۸؛ کامرانزاد و همکاران، ۲۰۲۰) منطقه به‌صورت زیر می‌باشد: الف: با خطر خیلی زیاد (جرم، زیباک، اشکاشم)؛ ب: با خطر زیاد (کشم، کوران و منجان، بهارک، فیض آباد)؛ ج: با خطر متوسط (رستاق، شهر بزرگ، راغ، شغنان، واخان)؛ د: با خطر کم (خواهان، درواز).

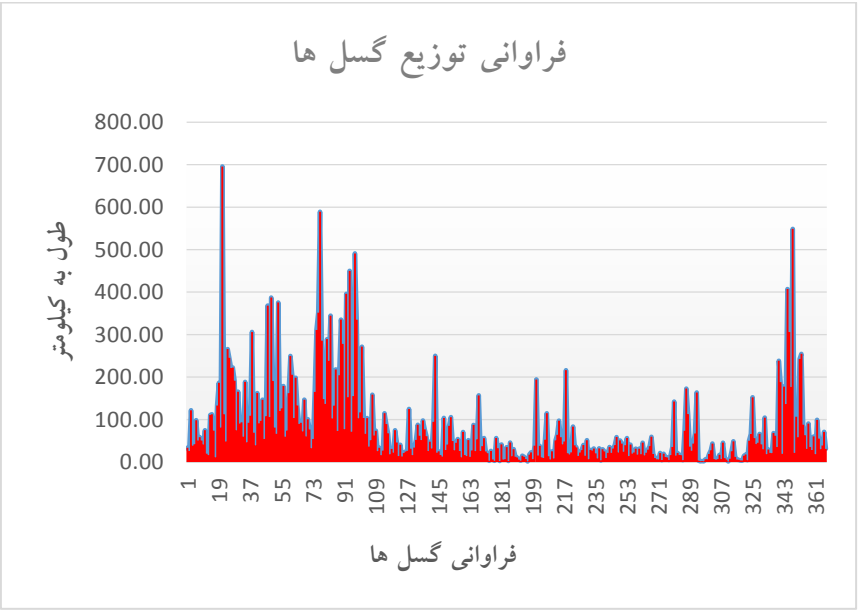
1 Giardini

**جدول ۱- فراوانی و عمق بزرگاهای ٤-۸ (۱۹۰۹-۲۰۲۱)، سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1]**

| | | | بزرگا (Mw) | | | | | | | | کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ٤.٥-٤ | ٥-٤.٥ | ٥.٥-٥ | ٦-٥.٥ | ٦.٥-٦ | ٧-٦.٥ | ٧.٥-٧ | ٨-٧.٥ | |
| عمق (کیلومتر) | ٥٠-٠ | تعداد | ٣٦٣ | ١١٧٦ | ٣٧٦ | ٦٧ | ١٣ | ٤ | ٢ | ٠ | ٢٠٠١ |
| | | درصد | ٪٤.٧ | ٪١٥.١ | ٪٤.٨ | ٪٠.٩ | ٪٠.٢ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٢٥.٧ |
| | ١٠٠-٥٠ | تعداد | ٢٠٩ | ٦٨٢ | ١٨٥ | ٢٢ | ١ | ٠ | ١ | ٠ | ١١٠٠ |
| | | درصد | ٪٢.٧ | ٪٨.٨ | ٪٢.٤ | ٪٠.٣ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪١٤.١ |
| | ١٥٠-١٠٠ | تعداد | ٤.٣٥ | ١٢.٣٥ | ٢.٤٢ | ٠.٢٤ | ٠.١١ | ١ | ٠ | ٠ | ١٩.٤٨ |
| | | درصد | ٪٥.٦ | ٪١٥.٨ | ٪٣.١ | ٪٠.٣ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٢٥.٠ |
| | ٢٠٠-١٥٠ | تعداد | ٣٣٠ | ٧٨٢ | ١١١ | ١٨ | ٦ | ٢ | ٠ | ١ | ١٢.٥٠ |
| | | درصد | ٪٤.٢ | ٪١٠.٠ | ٪١.٤ | ٪٠.٢ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪١٦.٠ |
| | ٢٥٠-٢٠٠ | تعداد | ٣٥٠ | ٨٢١ | ١٦٦ | ٣٥ | ٢٣ | ٧ | ٥ | ١ | ١٤.٠٨ |
| | | درصد | ٪٤.٥ | ٪١٠.٥ | ٪٢.١ | ٪٠.٤ | ٪٠.٣ | ٪٠.١ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪١٨.١ |
| | ٣٠٠-٢٥٠ | تعداد | ٠.٢٢ | ٠.٤٨ | ٠.٦ | .٢٠ | ١ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠.٧٩ |
| | | درصد | ٪٠.٣ | ٪٠.٦ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪١.٠ |
| | ٣٥٠-٣٠٠ | تعداد | ٢ | ٢ | ١ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ٥ |
| | | درصد | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.١ |
| | ٤٠٠-٣٥٠ | تعداد | ٠ | ١ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ١ |
| | | درصد | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ |
| | ٤٥٠-٤٠٠ | تعداد | ٠ | ٠ | ١ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ١ |
| | | درصد | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ | ٪٠.٠ |
| کل | | تعداد | ١٧.١١ | ٤٧.٤٧ | ١٠.٨٨ | ١.٦٨ | ٠.٥٥ | ٠.١٤ | ٨ | ٢ | ٧٧.٩٣ |
| | | درصد | ٪٢٢.٠ | ٪٦٠.٩ | ٪١٤.٠ | ٪٢.٢ | ٪٠.٧ | ٪٠.٢ | ٪٠.١ | ٪٠.٠ | ٪١٠٠.٠ |

1 USGS

در جدول۱ طبقه‌بندی عمق و بزرگا آورده شده است. بزرگا به ۸ کلاس و عمق به ۹ کلاس طبقه‌بندی شده است. در عمق ۰–۵۰ کیلومتر بیشترین میزان مربوط به زلزله‌های با بزرگای ٤.٥–٥، ۱۵٪بوده است. همچنین در عمق ۰–۵۰ زلزله‌ها۵۰ ۲۵.۷ درصد، عمق ۵۰–۱۰۰ زلزله‌ها ۱٤.۱ درصد، در عمق ۱۵۰ تا ۱۰۰ زلزله‌ها ۲۵ درصد، در عمق ۱۵۰–۲۰۰ زلزله‌ها ۱٦ درصد، در عمق ۲۰۰–۲۵۰ زلزله‌ها ۱۸.۱ درصد، در عمق ۲۵۰–۳۰۰ زلزله‌ها ۱۰ درصد، در عمق ۳۰۰–۳۵۰ زلزله‌ها ۰.۱ درصد، در عمق ۳۵۰–٤۰۰ زلزله‌ها ۰ درصد می‌باشد.




**شکل ۵- فراوانی توزیع گسل‌های منطقه**

در شکل ۵، گسل‌های با طول ۱۵–۱۱۳ کیلومتر بیشترین فراوانی و گسل‌های ۱۸۳–۳۲۸ کیلـومتر کمتـرین فراوانی را نشان می‌دهد. فراوانی گسل‌های با طول زیاد بین ۳۳۰–۳۵۰ نیز جز گسل‌های طویل می‌باشد.

### ٤-٤- متغیر لرزه‌خیزی a و b در سطح

ضرایب لرزه‌خیزی a,b که به ضرایب گوتنبرگ–ریشتر معروف هستند (نکراسووا[1] و همکاران، ۲۰۲۲)، از عوامل کلیدی در تعیین میزان و موقعیت تنش در یک منطقه به شمار می‌روند (چن[2] و همکاران، ۲۰۲۲). به همین منظور نقشه هم پتانسیل این دو متغیر در سطح زمین ترسیم شد. اگر استان بدخشان را به دو منطقه

1 Nekrasova
2 Chen

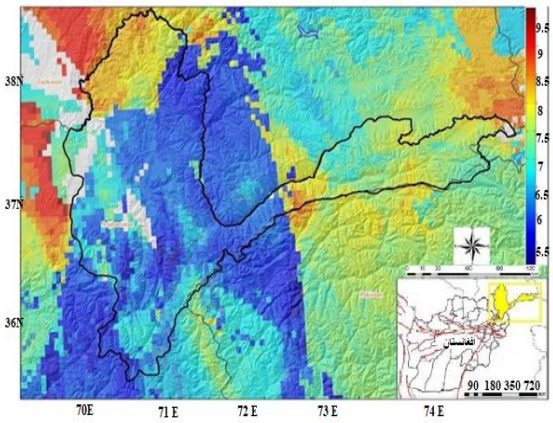
شمالی و جنوبی تقسیم کنیم، این میزان برای متغیر b در نیمه شمالی به بیشترین مقدار ۱.۰ و در نیمه جنوبی نیز تا ۷.۹ می‌رسد. افزایش مقادیر عددی a,b در نیمه مرکزی و جنوبی پس از رویداد ۲۰۱۵ به‌طور کامل مشهود است. همچنان که قبلاً گفته شد انتظار می‌رود در آینده، وقوع زمین‌لرزه‌ها در نیمه جنوبی بدخشان سبب بالا رفتن مقادیر مذکور گردد.

**۵-٤- متغیر لرزه‌خیزی a و b در عمق**

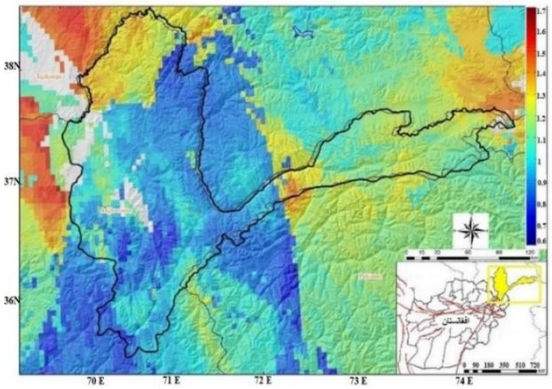
ضمن تحلیل فهرست زمین‌لرزه‌های گستره موردمطالعه پیش از رویداد ۲۰۱۵، مقادیر عددی a,b برای نیمه جنوبی گسل تقریباً صفر است؛ اما پس از رویداد ۲۰۱۵ زمین‌لرزه مذکور، این مقادیر برای نیمه شمالی گسل در بخش کم‌عمق تا حد زیادی افزایش یافته است؛ اما بخش‌های عمیق‌تر در نیمه شمال غربی، نواحی جنوب شرقی کم‌عمق و عمیق، از مقادیر عددی a,b پایینی برخوردارند و به همین سبب می‌توان پیش‌بینی نمود که مکان وقوع زمین‌لرزه آتی در همین بخش‌ها باشد.

زلزله‌های به وقوع پیوسته اخیر افغانستان نشان می‌دهند بسیاری از مناطق در این کشور تحت تنش‌های تکتونیکی فعال هستند و امکان وقوع زلزله در هر ناحیه وجود دارد. بررسی امکان وقوع زلزله در سال‌های اخیر با روش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای صورت گرفته ولی در برخی موارد روش‌های مختلف دیگری نیز ارائه شده‌اند که بر پایه تغییرات پارامترهای فیزیکی قبل از وقوع زلزله استوار هستند.

الگوهای عمق لرزه‌خیزی برای ترسیم مرزهای صفحه لرزه زمین ساختی بالقوه و شبکه گسلی مرتبط در مناطق درون صفحه‌ای آن‌ها قابل‌توجه است. تغییرات در ویژگی‌های لرزه‌خیزی با تغییرات مقدار b برای عمق تفکیک شده درک می‌شود. لرزه‌خیزی بین‌صفحه‌ای در خوشه‌های مختلف از اعماق کانونی کم‌عمق تا نیمه عمیق مشاهده می‌شود که منعکس‌کننده مناطق فعال لرزه‌ای لبه صفحه مربوطه است.




**شکل ٦- پراکندگی ضریب لرزه‌خیزی a**




**شکل ۷- پراکندگی ضریب لرزه‌خیزی b**

در تحقیقات متعددی نشان داده شده است که برخی پارامترها نظیر گرانش محلی (لی[1] و همکاران، ۲۰۲۲)، میدان مغناطیسی محلی (چتینا[2] و همکاران، ۲۰۲۲)، سطح آب زیرزمینی (نوسووا[3]، ۲۰۲۲، اسیم[4] و همکاران، 2022)، دمای آب زیر زمینی (احمد[5] و همکاران، ۲۰۲۲)، و مقاومت الکتریکی خاک قبل از وقوع زلزله دچار تغییر می‌شوند. علاوه بر این تحقیقات بسیاری به کمک تحلیل‌های آماری در راستای کسب اطلاعات مناسب از خطرات زلزله انجام یافته است (اسیم و همکاران، ۲۰۲۲، کاریچ[6] و همکاران، ۱۹۹۲). یکی از پارامترهای لرزه‌ای مهم در زمینه تحلیل خطر و برآورد احتمال وقوع زلزله پارامتر b رابطه گوتنبرگ–ریشتر می‌باشد (کورب، ۲۰۲۲). پارامتر b با سطح تنش منطقه رابطه دارد به‌طوری‌که با افزایش تنش در منطقه مقدار پارامتر b کاهش می‌یابد (بوفه[7]، ۱۹۷۰، کوزین[8]، ۱۹۸۸). برخی معتقدند که می‌توان از پارامتر b به‌عنوان شناساگر تنش در یک منطقه استفاده کرد (جکسون و مکنزی[9]، ۲۰۰۷). ازآنجایی‌که سطح تنش در منطقه با گذشت زمان تغییر می‌کند. می‌توان گفت که پارامتر b تابع زمان بوده و با گذشت آن تغییر می‌نماید. کاهش پارامتر b با زمان می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب جهت تحلیل خطر وقوع زلزله در یک بازه زمانی خاص مورداستفاده قرار گیرد (نووانین[10] و همکاران، ۲۰۰۵). تغییرات پارامتر b در مناطق پر تنش بخصوص قبل از وقوع زلزله‌های سهمگین بارها موردبررسی قرار گرفته است. تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهند که این پارامتر در مناطق پر تنش قبل از وقوع زلزله کاهش می‌یابد و این کاهش تا زمان وقوع زلزله ادامه دارد (گوتنبرگ[11]، ۱۹٤۷). افزایش دقت محاسبات در محاسبه‌ی پارامتر b نیازمند در دسترس بودن اطلاعات اولیه مناسب و کامل است که اصطلاحاً با لفظ غنی بودن کاتالوگ لرزه‌ای بیان می‌شود (پاچکو، ۱۹۹۲). درصورتی‌که تمام رخدادهای لرزه‌ای یک منطقه توسط سیستم‌های اندازه‌گیری کننده ثبت شوند و تعداد این رخدادها در حد مطلوبی باشد، می‌توان کاتالوگ را کامل در نظر گرفت. معمولاً هراندازه که دقت محاسبات پارامتر b بیشتر باشد می‌توان گفت که کاتالوگ دریک منطقه کامل بوده و نتایج نهایی قابل‌اطمینان‌تر می‌باشد. پس از تحلیل فهرست زمین‌لرزه‌های گستره موردمطالعه در نرم‌افزار Zmap، نقشه هم پتانسیل متغیر a,b در سطح زمین ترسیم شده است (شکل٦). در دو منطقه یکی در محل انحنای شرقی بدخشان و دیگری در نیمه شرقی غربی، مقادیر عددی a,b به نسبت بالا هستند (شکل‌های۷ و ٦). این میزان برای متغیر b در بخش اول

1 Li
2 Chetia
3 Nosova
4 Asim
5 Ahmad
6 Kariche
7 Bufe
8 Scholz
9 McKenzie
10 Nuannin
11 Gutenberg

به بیشترین مقدار ۱/۰ و در بخش دوم نیز تا ۰/۰۱ می‌رسد. در خصوص متغیر a نیز این مقادیر ۷.۹ و ٦.۹ هستند. افزایش مقادیر عددی a,b در نیمه مرکزی گسل (منطقه بدخشان) پس از رویداد ۲۰۱۵ به‌طور کامل مشهود است. انتظار می‌رود در آینده، وقوع زمین‌لرزه‌ها در نیمه شرقی و جنوب شرقی و جنوب غربی و جنوب بدخشان، سبب بالا رفتن مقادیر مذکور گردد. گفتنی است افزایش این دو متغیر در گوشه جنوبی منطقه موردمطالعه، در ارتباط با زمین‌لرزه‌های گسل نوزاد می‌باشد که پس از سال ۲۰۱۵ به وقوع پیوسته‌اند. اصل کلی که در مورد مناطقی با تکتونیک فعال وجود دارد، این است که اگر مقادیر a و b پایین باشند، در چنین مناطقی استعداد لرزه‌خیزی بالاست. با این مفهوم که می‌توان انتظار وقوع زمین‌لرزه آتی را در این مناطق داشت. در واقع استعداد لرزه‌خیزی و به‌بیان‌دیگر مکان‌یابی زمین‌لرزه‌های آتی، هدف اصلی بوده است؛ اما هر نظریه‌ای هرچند اثبات شده، نیازمند بررسی و واکاوی در دیگر مناطق است. به همین رو رویداد مهیب سال ۲۰۱۵ با بزرگای ۷.۲ به‌عنوان ملاک صحت سنجی، مدنظر قرار گرفت. در چنین شرایطی ابتدا تمامی تحلیل‌ها از سال ۱۹۰۹ تا پیش از وقوع رویداد ۲۰۱۵ انجام گرفت. انتظار این است که طبق نظریه پیش اشاره، زمین‌لرزه بعدی در یکی از موقعیت‌های پیش‌بینی شده به وقوع بپیوندد. به همین رو همان تحلیل‌ها برای سال‌های ۱۹۰۹ تا ۲۰۲۱ انجام گرفت و این بار نیز مناطق مستعد رویداد آتی شناسایی و معرفی شدند. اگر رویداد ۲۰۱۵ در یکی از مناطق بخش اول مطالعات قرار بگیرد، این نظریه در مورد منطقه بدخشان قابل استناد خواهد بود.

**۵- بحث و نتیجه‌گیری**

در این پژوهش گسل‌ها و فوکال مکانیسم ژرفای کانونی مشخص شد که مناطق مرکزی دارای مکانیسم غالب نرمال و شیب‌لغز بوده و بر اساس چگالی زمین‌لرزه و موقعیت شهرستان‌های جرم، زیباک و اشکاشم دارای بیشترین چگالی و جزو بیشترین خطر لرزه‌خیزی و آسیب می‌باشد. ضرایب a,b مقدار بالا و بزرگای زیاد را کم نشان داد. بزرگا و عمق به طبقاتی تقسیم شده که طبقات ۰-۵۰، ۱۰۰-۱۵۰ و ۲۰۰-۲۵۰ به ترتیب با درصدهای ۲۵.۷، ۲۵ و ۱۸.۱ در طبقه بزرگای ٤.۵-۵ ریشتر به دست آمد.

زمین‌لرزه‌ها در پامیر و بدخشان به‌گونه‌ای تقسیم‌شده‌اند که گویا در این پهنه ٤٤.۰۵۹ کیلومترمربعی، بیش از ده بلوک تکتونیکی و شکستگی وجود دارد. با توجه به روند کانون زلزله‌های تاریخی و دستگاهی از سال ۱۹۰۹-۲۰۲۱ دو روند مشهود در عمق‌های کم، متوسط و زیاد ایجاد شده است. درواقع برخلاف راستا و جهت گسل اصلی شمال بدخشان (شمالی- جنوبی). بیشترین فراوانی زلزله‌های ≤٤ و عمق ۷۰-۱۵۰ کیلومتر، زلزله‌های ≤۵ و عمق ۳۰۰-۱۵۰ کیلومتر و درنهایت زلزله‌های ≤٦ در عمق ۳۰۰-۱۵۰ کیلومتر در راستا و جهت شرقی غربی رخ می‌دهد. این منطقه دقیقاً محل فرورفتن صفحه دالان پامیر به سمت غرب و

جنوب غرب بدخشان به دلیل فشارهای صفحه هند می‌باشد. نقشه‌های خطر لرزه‌ای شهوار و همکاران، ۲۰۱۳؛ کریمی پری داری و همکاران، ۲۰۱۳؛ زارع و همکاران، ۲۰۱٤، می‌توان به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای بلوچ[1] و همکاران۲۰۲۱، کایلا[2] و همکاران؛ ۱۹۷۲؛ کوفنر[3]، ۲۰۲۱، روپرت[4] و همکاران ۲۰۰۷ در کاتالوگ لرزه‌خیزی از همین روش استفاده کرده و این ادعا را تأیید کرده‌اند. که تهیه کردند. این مهم نشان می‌دهد که در منتهی‌الیه دالان پامیر از شرق به غرب و جنوب گسیختگی‌هایی در عمق‌های ۰-۱۵۰ کیلومتر در حال ایجاد شدن هستند. درواقع دو روند مشهود شرقی-غربی، شرقی- جنوب غربی را نشان می‌دهد. حرکت کانون سطحی زمین‌لرزه‌های مرتبط با بدخشان از سال ۱۹۰۹-۲۰۲۱ از شرق به غرب به‌طور کامل مشخص می‌باشد. درنهایت مناطق لرزه‌خیز و مستعد لرزه‌ای آینده را در بخش جنوب شرقی منطقه پیش‌بینی می‌شود.

## کتابنامه


- Ahmad, Z., Ali, Z., Ghani, F., & Khalid, S.,2022. Regeneration of Natural Forests in the Hindu Kush Range: A Case Study of Quercus baloot Plants in Sheshikoh Oak Forests, District Chitral, Pakistan. International Journal of Forestry Research, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/2173092.

Ambraseys, N., & Bilham, R.,2011. Corruption kills. Nature, 469(7329), 153-155. http://dx.doi.org/10.1038/469153a.

- Asim, K. M., Schorlemmer, D., Hainzl, S., Iturrieta, P., Savran, W. H., Bayona, J. A., & Werner, M. J.,2022. Multi- Resolution Grids in Earthquake Forecasting: The Quadtree Approach. Bulletin of the Seismological Society of America. https://doi.org/10.1785/0120220028.
- Bilham, R., & Ambraseys, N.,2005. Apparent Himalayan slip deficit from the summation of seismic moments for Himalayan earthquakes, 1500–2000. Current science, 1658-1663. https://www.semanticscholar.org/paper/Apparent-Himalayan-slip-deficit-from-the-summation-Bilham-Ambraseys/76faa0b9039fe001e04c58f4753ed2f53becfbeb.
- Bishop, M. P., James, L. A., Shroder Jr, J. F., & Walsh, S. J.,2012. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. Geomorphology, 137(1), 5-26. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.027.
- Bufe, C. G.,1970. Frequency-magnitude variations during the 1970 Danville earthquake swarm. Earthquake Notes, 41(3), 3-7. https://doi.org/10.1080/00288306.1973.10425384.
- Chen, X., Xiang, N., Guan, Z., & Li, J.,2022. Seismic vulnerability assessment of tall pier bridges under mainshock-aftershock-like earthquake sequences using vector-valued intensity measure. Engineering Structures, 253, 113732. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113732.
- Chetia, T., Baruah, S., Dey, C., Baruah, S., & Sharma, S.,2022. Seismic induced soil gas radon anomalies observed at multiparametric geophysical observatory, Tezpur (Eastern Himalaya), India: an appraisal of probable earthquake forecasting model based on peak radon


1 Bloch
2 Kaila
3 Kufner
4 Sippl

anomalies. Natural Hazards, 111(3), 3071-3098. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-021-05168-9.
- Danciu, L., Şeşetyan, K., Demircioglu, M., Gülen, L., Zare, M., Basili, R., ... & Giardini, D.,2018. The 2014 earthquake model of the Middle East: seismogenic sources. Bulletin of Earthquake Engineering , 16 (8), 3465-3496. https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-017-0096-8.
- Darvoziev, M.,2006. Short essay of woody and brushwood plants of the basin of Yazgulom River (mountainous Badakhshan. Vestnik Natsionalnogo Universiteta, 5(31), 160-177. https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=38094056.
- Giardini, D., Danciu, L., Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu Tümsa, MB, Akkar, S., ... & Zare, M.,2018. Seismic hazard map of the Middle East. Bulletin of Earthquake Engineering , 16 (8), 3567-3570. http://dx.doi.org/10.1007/s10518-018-0347-3.
- Gorbunova, E. M., Batukhtin, I. V., Besedina, A. N., & Petukhova, S. M.,2022. Hydrogeological Responses of Fluid-Saturated Collectors to Remote Earthquakes. In Processes in GeoMedia—Volume IV (pp. 203-214. Springer, Cham. https://doi.org/10.3390/w15071322.
- Gutenberg, B.,1947. Microseisms and weather forecasting. Journal of Atmospheric Sciences, 4(1), 21-28. https://doi.org/10.1175/1520-0469(1947)004%3C0021:MAWF%3E2.0.CO;2.
- Kaila, K. L., Gaur, V. K., & Narain, H.,1972. Quantitative seismicity maps of India. Bulletin of the Seismological Society of America , 62 (5), 1119-1132. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1979.tb06766.x.
- Kamranzad, F., Memarian, H., & Zare, M.,2020. Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(7), 430. https://doi.org/10.3390/ijgi9070430.
- Kariche, J.,2022. Role of fluid on earthquake occurrence: Example of the 2019 Ridgecrest and the 1997, 2009 and 2016 Central Apennines sequences. http://dx.doi.org/10.31223/X5MH1J.
- Karimiparidari, S., Zaré, M., Memarian, H., & Kijko, A.,2013. Iranian earthquakes, a uniform catalog with moment magnitudes. Journal of Seismology , 17 (3), 897-911. http://dx.doi.org/10.1007/s10950-013-9360-9.
- Korb, C. A., Elbaz, H., Schuster, A. K., Nickels, S., Ponto, K. A., Schulz, A., ... & Pfeiffer, N.,2022. Five-year cumulative incidence and progression of age-related macular degeneration: results from the German population-based Gutenberg Health Study (GHS). Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 260(1), 55-64. https://doi.org/10.1007/s00417-021-05312-y.
- Kozin, F.,1988. Autoregressive moving average models of earthquake records. Probabilistic Engineering Mechanics, 3(2), 58-63. https://doi.org/10.1016/0266-8920(88)90016-1.
- Kufner, S. K., Kakar, N., Bezada, M., Bloch, W., Metzger, S., Yuan, X., ... & Schurr, B.,2021. The Hindu Kush slab break-off is revealed by deep structure and crustal deformation. Nature communications, 12(1), 1-11. https://www.nature.com/articles/s41467-021-21760-w.
- Li, C., Peng, Z., Yao, D., Meng, X., & Zhai, Q.,2022. Temporal changes of seismicity in Salton Sea Geothermal Field due to distant earthquakes and geothermal productions. Geophysical Journal International, 232(1), 287-299. https://doi.org/10.1093/gji/ggac324.
- Lukk, A. A., Yunga, S. L., Shevchenko, V. I., & Hamburger, M. W.,1995. Earthquake focal mechanisms, deformation state, and seismotectonics of the Pamir- Tien Shan region, Central Asia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 100(B10), 20321-20343. http://dx.doi.org/10.1029/95JB02158.

- McKenzie, J., & Moorey, P. R. S.,2007. The Architecture of Alexandria and Egypt, c. 300 BC to AD 700 (Vol. 63). New Haven: Yale University Press. https://archive.org/details/judith-mc-kenzie-the-architecture-of-alexandria-and-egypt-c.-300-b.-c.-to-a.-d.-
- Mellors, R. J., Pavlis, G. L., Hamburger, M. W., Al- Shukri, H. J., & Lukk, A. A.,1995. Evidence for a high- velocity slab associated with the Hindu Kush seismic zone. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 100(B3), 4067-4078. https://doi.org/10.1029/94JB02642.
- Metzger, S., Ischuk, A., Deng, Z., Ratschbacher, L., Perry, M., Kufner, S. K., ... & Moreno, M.,2020. Dense GNSS profiles across the northwestern tip of the India- Asia collision zone: Triggered slip and westward flow of the Peter the First Range, Pamir, into the Tajik Depression. Tectonics, 39(2), e2019TC005797. https://doi.org/10.1029/2019TC005797.
- Metzger, S., Kakar, N., Zubovich, A., Borisov, M., Saif, S., Panjsheri, A. H., Rahmani, J. R., Zaryab, M. Y., Rezai, M. T., Deng, Z., Bendick, R., Kufner, S.-K., Okoev, J.,2021): Survey mode GNSS data, acquired 2014-2019 in the Afghan Hindu Kush and across northern Pamir margin, Central Asia. https://doi.org/10.5880/GFZ.4.1.2021.003.
- Nekrasova, A., & Kossobokov, V.,2022. The Lake Baikal Unified Scaling Law for Earthquake Regional Coefficients. In Problems of Geocosmos–2020 (pp. 253-261). Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1134/S1069351320010097.
- Nosova, A. A., Kopylova, M. G., Lebedeva, N. M., Larionova, Y. O., Kargin, A. V., Sazonova, L. V., ... & Kovach, V. P.,2022. Melt sources for alkaline carbonate-bearing rocks of the Terskiy Coast (Kola Alkaline Carbonatitic Province). Chemical Geology, 121267.
- Nuannin, P., Kulhanek, O., & Persson, L.,2005. Spatial and temporal b value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004. Geophysical research letters, 32(11). https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2005GeoRL..3211307N/doi:10.1029/2005GL022679.
- Pacheco, J. F., & Sykes, L. R.,1992. Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1909 to 1989. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(3), 1306-1349. https://doi.org/10.1785/BSSA0820031306.
- Rahman, Z., Rehman, K., Ali, W., Ali, A., Burton, P., Barkat, A., ... & Qadri, S. M.,2021. Re-appraisal of earthquake catalog in the Pamir—Hindu Kush region, emphasizing the early and modern instrumental earthquake events. Journal of Seismology, 25(6), 1461-1481. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2021JSeis..25.1461R/doi:10.1007/s10950-021-10046-9.
- Ruppert, N. A., Lees, J. M., Kozyreva, N. P., & Eichelberger, J.,2007. Seismicity, earthquakes and structure along the Alaska-Aleutian and Kamchatka-Kurile subduction zones: A review. GEOPHYSICAL MONOGRAPH-AMERICAN GEOPHYSICAL UNION, 172, 129. http://dx.doi.org/10.1029/172GM12.
- Sarikaya, M. A., Bishop, M. P., Shroder, J. F., & Olsenholler, J. A.,2012. Space-based observations of Eastern Hindu Kush glaciers between 1976 and 2007, Afghanistan and Pakistan. Remote sensing letters, 3(1), 77-84. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.536181.
- Shahvar, M. P., Zare, M., & Castellaro, S.,2013. A unified seismic catalog for the Iranian plateau (1909–2011). Seismological Research Letters, 84 (2), 233-249. http://dx.doi.org/10.1785/0220130084.
- Shahzad, F., Mahmood, S. A., & Gloaguen, R.,2008, November. Remote sensing analysis of ongoing deformation in Hazara Kashmir Syntaxis in Northern Pakistan. In 2008 Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas (pp. 1-4). IEEE. DOI: 10.1109/USEREST.2008.4740350.

- Shroder, J. F.,2012. Afghanistan: rich resource base and existing environmental despoliation. Environmental Earth Sciences, 67(7), 1971-1986. DOI: 10.1007/s12665-012-1638-7.
- Waseem, M., Lateef, A., Ahmad, I., Khan, S., & Ahmed, W.,2019. Seismic hazard assessment of Afghanistan. Journal of Seismology, 23(2), 217-242. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10950-018-9802-5.
- Yang, Y., Zeng, Z., King, S. D., & Shuang, X.,2022. Double-sided subduction with contrasting polarities beneath the Pamir-Hindu Kush: Evidence from focal mechanism solutions and stress field inversion. Geoscience Frontiers, 13(4), 101399. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101399.
- Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, MB, Kalafat, D., ... & Tsereteli, N.,2014. Recent developments of the Middle East catalog. Journal of Seismology, 18 (4), 749-772. http://dx.doi.org/10.1007/s10950-014-9444-1.
- Zhang, X., Zhang, Q., Zhang, Z., Chen, Y., Xie, Z., Wei, J., & Zhou, Z.,2015. Rechargeable Li–CO 2 batteries with carbon nanotubes as air cathodes. Chemical Communications, 51(78), 14636-14639. DOI: 10.1002/adma.201700396.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.151-172 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75548.1186 Open access

# Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran

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

[a] *MA in Remote Sensing, Yazd University, Yazd, Iran*
[b] *Associate Professor in Climatology, Yazd University, Yazd, Iran*

***Received: 28 April 2022*** ***Revised: 27 June 2022*** ***Accepted: 23 July 2022***

## Abstract

The earthquake cloud is an ancient and visual precursor of an earthquake that sometimes is formed several days before the event, above the earthquake fault and often close to the epicenter. The most important characteristic of an earthquake cloud is that it emanates from the ground and remains in the sky for hours. This study aimed to find the major 2017 Azgeleh earthquake cloud by visual interpretation of Meteosat-8 satellite images. The characteristics of the cloud in question were then investigated using the same satellite products. By searching the infrared images, the Azgeleh earthquake cloud was found. The cloud was shown to have had a geological origin, and the formation of such a cloud was unusual in that region. The Azgeleh earthquake occurred near the High Zagros Fault (HZF), whereas its cloud had been formed 12 days earlier and about 700 km away from its epicenter, on other parts of the same fault, along a 160-km-long line. The study revealed that this high cloud consists of two parts: a high-pressure source and a tail diluted by the wind. Moreover, the moderate 2021 Sisakht earthquake cloud was found, which had been formed 6 days earlier and near the epicenter. Visually searching for earthquake clouds from the ground or space is a public scientific hobby, particularly among amateur meteorologists using satellite imagery. The formation of an earthquake cloud above a fault can be a warning of a possible impending earthquake on that fault, which, of course, requires further investigation.

**Keywords:** Precursor, Earthquake Cloud, Azgeleh Earthquake, High Zagros Fault, Meteosat-8

* .Corresponding author: Mostafa Heidari Email: heydary@gmail.com Tel:+989332352576

**How to cite this Article:** Heidari, M., Mazidi, A., & Rousta, I. (2024). Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 151-172.
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.75548.1186**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75548.1186
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۱۷۲-۱۵۱**

مقاله پژوهشی

# بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه

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

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۵/۲**

**چکیده**

ابر زلزله، پیش‌نشانگری باستانی و عینی است که گاه چند روز پیش از وقوع زلزله، بر فراز گسل مسبب زلزله و اغلب در نزدیکی رومرکز آن تشکیل می‌شود. مهم‌ترین مشخصهٔ ابر زلزله، جوشیدن آن از زمین و ساکن ماندن آن برای ساعاتی در آسمان است. هدف این پژوهش، یافتن ابر زلزلهٔ بزرگ ازگله در سال ۱۳۹۶ با تفسیر چشمی در تصاویر ماهوارهٔ متئوست-۸ و سپس بررسی ویژگی‌های آن ابر با استفاده از محصولات همان ماهواره است. با جستجو در تصاویر مادون‌قرمز، ابر زلزلهٔ ازگله شناسایی گردید و نشان داده شد که سرچشمه‌ای زمین‌شناسی دارد و تشکیل چنین ابری در آنجا مرسوم نیست. زلزلهٔ ازگله، نزدیک به گسل زاگرس مرتفع (HZF) رخ داده بود، ولی ابر آن ۱۲ روز پیشتر و حدود ۷۰۰ کیلومتر دورتر از رومرکز زلزله و در قطعات دیگری از همان گسل، در خطی به طول ۱۶۰ کیلومتر تشکیل شده بود. بررسی‌ها نشان داد این ابر مرتفع، از دو بخش تشکیل شده است: سرچشمه‌ای پرفشار

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۳۳۲۳۵۲۵۷۶ Email: heydary@gmail.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

حیدری، مصطفی، مزیدی، احمد، روستا، ایمان؛ ۱۴۰۳. بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله در زمین‌لرزهٔ ۱۳۹۶ ازگلهٔ کرمانشاه. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۳(۱). صص ۱۷۲-۱۵۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75548.1186

و دنباله‌ای رقیق‌شده در دست باد. همچنین در این پژوهش، ابر زلزلهٔ متوسط سی‌سخت در سال ۱۳۹۹ نیز شناسایی گردید که ٦ روز پیشتر و نزدیک به رومرکز زلزله تشکیل شده بود. جستجوی چشمی ابر زلزله از زمین و فضا، یک سرگرمی علمی همگانی، به‌ویژه برای هواشناسان آماتور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. پدیدار شدن ابر زلزله بر فراز یک گسل، هشداری برای رخداد احتمالی زلزله‌ای قریب‌الوقوع در آن گسل است، که البته نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

**کلیدواژه‌ها:** پیش‌نشانگر، ابر زلزله، زلزلهٔ ازگله، گسل زاگرس مرتفع، متئوست-۸

## ۱- مقدمه

هر پارامتر فیزیکی یا شیمایی در هر یک از لایه‌های لیتوسفر، اتمسفر یا یونسفر (LAI)[1] را که قبل از وقوع زلزله، شروع به تغییر کند، پیش‌نشانگر زلزله می‌گویند (**شمشیری و آخوندزاده هنزایی، ۱۳۹۵**). زلزله، رابطهٔ نزدیکی با پارامترهای فیزیکی، شیمایی و زیستی دارد و تاکنون ده‌ها پیش‌نشانگر شناخته شده است؛ همچون: ناهنجاری در دما و رطوبت خاک و هوا، تغییر در سرعت امواج لرزه‌ای و سرشت لرزه‌خیزی منطقه، تغییر شکل پوستهٔ زمین، افزایش انتشار گاز رادون، تغییر سطح تراز و ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی و دریا، تغییر محتوای کل الکترون (TEC)[2] و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و گرانشی زمین (**توکلی، ۱۳۹۸**). پیش از هر زلزله‌ای، همهٔ پیش‌نشانگرهای شناخته‌شده نمایان نمی‌شوند (**جهانی و آخوندزاده هنزایی، ۱۳۹٦**). با پایش پیوستهٔ گروهی از پیش‌نشانگرها می‌توان زلزله‌ها را با قطعیت بیشتری پیش‌بینی کرد (**بیت‌اللهی، بی‌تا**). استفاده از سنجش‌ازدور در بررسی پیش‌نشانگرهای زلزله از سال ۱۹۸۵ میلادی در روسیه با کار بر روی تصاویر حرارتی و بررسی تغییرات دمای سطحی زمین (LST)[3] آغاز شد. پس از زلزلهٔ ٦٫۹ کوبهٔ ژاپن[4] در سال ۱۹۹۵ میلادی، مطالعهٔ سنجش‌ازدوری پدیده‌های الکترومغناطیسی در لیتوسفر، اتمسفر و یونسفر با هدف پیش‌بینی کوتاه‌مدت زلزله در ژاپن در دستور کار رسمی قرار گرفت (**علوی‌پناه و قربانی، ۱۳۸٦**). آینده در دست داده‌کاوی داده‌های گذشته (**حیاتی و همکاران، ۱۳۹۵**) و پایش آنی داده‌ها با ابزار هوش مصنوعی است (البنا و همکاران[5]، ۲۰۲۰).

از قدیمی‌ترین پیش‌نشانگرهای شناخته‌شدهٔ زلزله، ابر زلزله است. این پیش‌نشانگر، ساده و عینی است و تنها با نگریستن به آسمان و یا با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، حتی توسط افراد آماتور نیز قابل‌شناسایی است.

1 Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling model
2 Total Electron Content
3 Land Surface Temperature
4 Kobe earthquake, Japan (1995)
5 Al Banna et al.

نخستین اشارهٔ مکتوب به این پیش‌نشانگر، برای زلزلهٔ ۷ گویوان شمالی چین[1] در ۱۶۲۲ میلادی است. در تاریخ آن دیار چنین آمده است: امروز آفتابی و گرم، و آسمان صاف و آبی بود. ناگهان رشته‌هایی از ابر سیاه، چونان ماری دراز، آسمان را در برگرفت و برای مدتی طولانی باقی ماند. سپس زلزله آمد (لی[2]، ۱۹۸۲). کشیش نیکولا لانگوباردو[3] ایتالیایی که برای تبلیغ به پکن اعزام شده بود، در ۱۶۲۶ میلادی، کتاب تفسیر زلزله‌ها[4] را منتشر ساخت. او در کتابش، پیش‌نشانگرهایی را که می‌شناخته چنین برشمرده است: تراوش نابهنجار گاز از زمین، بخار گرفتن چاه آب، تغییر مزهٔ آب چاه و مدهای فوق‌العاده بلند. وی همچنین شرایط ویژهٔ هواشناسی و تشکیل شکل‌های خاصی از ابرها را نیز به‌عنوان پیش‌نشانگر زلزله موردبررسی قرار داده است (مارتینلی[5]، ۲۰۰۰).

پس از دوران باستان و در دورهٔ اخیر، پیش‌بینی زلزله با پیش‌نشانگر ابر زلزله، در اواسط قرن ۲۰ میلادی در ژاپن و چین جانی دوباره گرفت و پس از چند پیش‌بینی موفق، در سال ۱۹۸۵ میلادی دوباره فراموش شد. مقالهٔ دانشمند روسی لیدیا موروزوا[6] (۱۹۹۷)، که شناسایی چند ناهنجاری خطی در ابرهای انبوه بالای گسلی فعال را در تصاویر ماهواره‌ای گزارش کرده است، اولین اشارهٔ علمی به ارتباط احتمالی بین فعالیت‌های زمین‌شناسی و ابرها است. موضوع ابر زلزله، بار دیگر در اواخر قرن ۲۰ میلادی با کوشش ژونگائو شو[7] چینی رونق گرفت. او با این پیش‌نشانگر، از سال ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۱ میلادی، ۵۰ زلزله را به‌طور رسمی برای سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)[8] پیش‌بینی و ثبت کرد و با تحقق یافتن ۳٤ مورد از آن‌ها، مدل خود را با صحت ٦۸ درصد به اثبات رساند. او حتی پیش از مهاجرت به آمریکا، دنبالهٔ ابر زلزلهٔ ۷٫٤ رودبار و منجیل سال ۱۹۹۰ میلادی را پیش از وقوع آن، با چشم خود در آسمان چین دیده بود. اوج کار او پیش‌بینی زلزلهٔ ٦٫۷ بم سال ۲۰۰۳ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود. او این پیش‌بینی را که دقت خوبی در تعیین مکان و بزرگای زلزله داشت، با پنجرهٔ زمانی دوماهه، درست ۸ ساعت پیش از آن زلزلهٔ مرگبار ثبت و منتشر ساخت (شو[9]، ۲۰۰٦). هرچند که مدل نهایی ابر زلزلهٔ شو در سال ۲۰۰٤ میلادی ارائه شد، اما دقت این مدل بالاتر نرفت و با تصاویر جدید ماهواره‌ای به‌روزرسانی نشد و به دلیل عدم قطعیت زیادی که در پیش‌بینی مکان و بزرگا و به‌ویژه زمان زلزله‌ها داشت رفته‌رفته کمرنگ و فراموش شد.

1 North Guyuan earthquake, China (1622)
2 Li
3 Niccolo Longobardo (1565-1655)
4 Interpretation of earthquakes (1626)
5 Martinelli
6 Lidia Morozova
7 Zhonghao Shou
8 United States Geological Survey
9 Shou

زلزله، حاصل شکستگی سنگ‌ها در اثر تنش ژئودینامیک موجود میان صفحات زمین‌ساختی پوستهٔ زمین است. افزایش تنش در صفحهٔ گسلی موجب بالا رفتن دما در لایه‌های زیرسطحی می‌گردد. این افزایش دما موجب تبخیر آب‌های زیرزمینی می‌شود. حرکت این بخارها که بخار زلزله نیز خوانده می‌شود به سمت بالا و سپس خروج آن از سطح زمین سبب سرد و متراکم شدن آن می‌شود؛ که در شرایط جوی مناسب و به‌ویژه در هوای سرد می‌توان انتظار تشکیل ابر را داشت. ابر زلزله، ماهیتی متفاوت از ابرهای هواشناسی دارد. وجه شناسایی آن، ثابت ماندن چشمهٔ زمینی آن برای چند ساعت تا چند روز در آسمان به‌رغم وجود نیروی کوریولیس و بادها است. ابر زلزله، گاه چشمه‌ای نقطه‌ای دارد و گاه به شکل خطی و اغلب در بالای گسل مسبب زلزله و در راستای زمین‌ساختی منطقه تشکیل می‌گردد **(صابر ماهانی و سپهوند، ۱۳۹٦)**. در تاریخ علم، گزارش‌ها و عکس‌هایی از رؤیت ابر زلزله از زمین وجود دارد که با شکل‌هایی همچون خطی، طنابی، موجی، ماری، گردبادی، دنده‌ای، تشعشعی و فلسی تعریف شده‌اند. علاوه بر داشتن شکل خاص حاصل از فشار بخار خروجی از گسل، تشکیل ناگهانی و ساکن ماندن آن در آسمان نیز از مهم‌ترین ویژگی‌های این ابرها است.

تا کنون دو مدل برای ابر زلزله ارائه شده است. نخست، مدل موروزوا یا پدیدهٔ دگازینگ[1] که طبق آن، گازهای پرفشار خروجی از گسل، ابرهای موجود در آسمان را خراشیده و شکافی در آن می‌اندازد که ناهنجاری ابری خوانده می‌شود. دوم، مدل شو یا پدیدهٔ دهیدراسیون[2] که طبق آن، فوران گازهای گرم و بخار آب، و صعود آن در هوای سرد و آسمان صاف، تبدیل به ابر می‌شود که ابر زلزله خوانده می‌شود. در این مدل، ابر زلزله از چند ساعت تا ۱۰۳ روز پیش از وقوع زلزله و به‌طور میانگین تا ۳۰ روز پیش از زلزله، در آسمان تشکیل می‌شود و برای ساعاتی بر فراز گسل مسبب زلزله ساکن می‌ماند (**منصوری دانشور و همکاران، ۱۳۹۱**).

خروج بخارهای گرم از گسل، گاه چنان پرفشار است که از عوامل مشکوک به ایجاد سوانح هوایی می‌باشد (شو و همکاران[3]، ۲۰۱۰). پژوهش‌ها، تشکیل ابر زلزله را در اثر یونیزاسیون سنگ‌کره می‌دانند (فروید[4]، ۲۰۱۳؛ هریسون و همکاران[5]، ۲۰۱٤). پژوهش‌هایی دیگر آن را حاصل افزایش میزان آیروسل جو و همزمان با افزایش ضخامت نوری اتمسفر (AOT)[6] دانسته‌اند (پولینتس و همکاران[7]، ۲۰۱٤). تلاش‌هایی نیز برای نوشتن الگوریتم تشخیص خودکار ابر زلزله در تصاویر ماهواره‌ای جهت پیش‌بینی زلزله شده است

1 Degassing
2 Dehydration
3 Shou et al.
4 Freund
5 Harrison et al.
6 Atmospheric Optical Thickness
7 Pulinets et al.

(جینگ و همکاران[1]، ۲۰۱۵)؛ اما گروهی از پژوهشگران، ارتباط ابرها با زلزله‌ها را هنوز داری پایهٔ علمی کافی نمی‌دانند (ترونین[2]، ۲۰۱۰). این منتقدان، ابرهای زلزله با چشمهٔ خطی را مرسوم و حاصل عبور و صعود تودهٔ هوای مرطوب از رشته‌کوه منطقه می‌دانند (توماس و همکاران[3]، ۲۰۱۵). البته پژوهشگران ابر زلزله نیز پاسخ منتقدان را با اثبات آماری وجود همبستگی میان بروز ابر زلزله و رخداد زلزله داده‌اند (گوانگ‌منگ[4]، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲).

مدل‌های ابر زلزله، نرخ مناسبی از زلزله‌های بزرگ را پیش‌بینی کرده‌اند. بررسی آرشیو تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که برخی از زلزله‌های بزرگ دارای پیش‌نشانگر ابر زلزله بوده‌اند. مقالات چندی از یافتن ابر زلزله در آسمان کشورهای ژاپن (انوموتو[5]، ۲۰۰۲؛ ترونین و همکاران[6]، ۲۰۰۲؛ اوندوه[7]، ۲۰۰۳؛ گو و ژی[8]، ۲۰۰۷)، چین (لی‌ژین و همکاران[9]، ۲۰۰۹)، ایتالیا (گوانگ‌منگ و جی[10]، ۲۰۱۳)، ترکیه، آمریکا (پولینتس و همکاران[11]، ۲۰۱٤) و ایران منتشر شده است.

شو که خود مدل ابر زلزله را ارائه داده بود، ابر زلزلهٔ ٦٫٧ بم کرمان سال ۲۰۰۳ میلادی را از چند روز پیش از زلزله در نظر داشت و ۸ ساعت پیش از رخداد آن، پیش‌بینی خود را با بزرگای ٥٫٥ یا بیشتر روی گسل بم و در پنجره‌ای دو ماهه منتشر ساخت (هرینگتون و شو[12]، ۲۰۰۵). گو و وانگ[13] (۲۰۰۸)، ناهنجاری‌های ابری مربوط به دو زلزلهٔ ٦٫٢ زرند کرمان سال ۲۰۰۵ میلادی و ٥٫٧ فاریاب کرمان سال ۲۰۰٦ میلادی را به ترتیب ٦۹ و ٦٤ روز پیش از رخداد زلزله‌ها شناسایی کرده‌اند. **صابر ماهانی و سپهوند (۱۳۹٦)** موفق به شناسایی ابر خطی زلزلهٔ ٦٫٥ محمدآباد ریگان کرمان سال ۱۳۸۹ در امتداد خط گسل گردیدند. گوانگ‌منگ و جی[14] (۲۰۱۳)، دو زلزلهٔ ٥٫٤ راور کرمان و ٤٫٨ بیشه‌زار ایلام سال ۲۰۱۲ میلادی را به ترتیب ۸ و ۷ روز قبل از رخداد زلزله‌ها با تاریخ و بزرگای قابل‌قبول پیش‌بینی کردند. پولینتس و همکاران[15] (۲۰۱٤)، ابری خطی و نازک را که سه روز پیش از زلزلهٔ دوقلوی ٦٫٥ و ٦٫٣ اهر ورزقان آذربایجان شرقی

1 Jing et al.
2 Tronin
3 Thomas et al.
4 Guangmeng
5 Enomoto
6 Tronin et al.
7 Ondoh
8 Guo & Xie
9 Li-Xin et al.
10 Guangmeng & Jie
11 Pulinets et al.
12 Harrington & Shou
13 Guo & Wang
14 Guangmeng & Jie
15 Pulinets et al.

سال ۲۰۱۲ میلادی بر فراز دریای خزر ظاهر شده بود، یافته‌اند. منصوری دانشور و همکاران[1] (۲۰۱٤)، افزایش ابرناکی و ظهور ابرهای غیرمعمول با شکل خطی و موجی در ارتفاع پایین در مقیاس محلی، و ظهور ابرهای متلاطم چرخشی در ارتفاع بالا در مقیاس سینوپتیک را که یک هفته قبل از رخداد زلزلهٔ ۷٫۵ سراوان سیستان و بلوچستان سال ۲۰۱۳ میلادی بر فراز کانون آن رخ داده بوده را گزارش کرده‌اند.

ایران روی کمربند زلزلهٔ آلپ هیمالیا و در عرصه‌گاه برخورد صفحهٔ عربستان با اوراسیا قرار دارد و از کشورهای لرزه‌خیز دنیا محسوب می‌شود. تاریخ این سرزمین، به‌جز در صفحات ایران مرکزی، زلزله‌های فراوان و ویرانگری را روایت کرده است (**حسینی، ۱۳۹۵**). شناخت و پایش این پیش‌نشانگر حتی در قالب فعالیت‌های آماتوری، می‌تواند در پیش‌بینی زلزله‌های بزرگ به‌ویژه در سامانه‌های گسلی فعال و مناطق پرجمعیتی همچون زاگرس، نقش مؤثری داشته باشد.

در این پژوهش، ابر زلزلهٔ ۷٫۳ ازگلهٔ کرمانشاه سال ۱۳۹٦ با در نظر گرفتن سیستم گسلی زاگرس در تصاویر ماهواره‌ای جستجو شد. با یافته شدن یک مورد مشکوک به ابر زلزله، ابتدا سرچشمهٔ رطوبتی آن با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مسیر ابر، بررسی گردید؛ و سپس مرسوم نبودن تشکیل چنین ابری در آن منطقه در آرشیو تصاویر ماهواره‌ای مورد بازبینی قرار گرفت. درنهایت، پس از اطمینان به زمینی بودن و مرسوم نبودن تشکیل آن در منطقه، ویژگی‌های آن ابر موردبررسی قرار گرفت. این پژوهش، ابرهای مشکوک به زلزله را در چارچوب سیستم گسلی منطقه بررسی می‌کند و برای اولین بار بر آزمون منشایابی و همچنین مرسوم نبودن آن‌ها تأکید دارد.

## ۲- منطقهٔ موردمطالعه

روز یکشنبه ۱۳۹٦/۸/۲۱ ساعت ۲۱:٤۸ به‌وقت‌ایران، زلزله‌ای به بزرگای ۷٫۳ و عمق ۱۸ کیلومتر در استان کرمانشاه در نزدیکی شهرهای ازگله، تازه‌آباد، قصر شیرین و سرپل ذهاب و چسبیده به مرز عراق رخ داد. در تاریخ، دو زلزلهٔ دیگر با بزرگای حدود ٦٫۵ در سال‌های ۹۵۸ و ۱۲۲٦ میلادی در همین حوالی ثبت شده است (**مرکز لرزه‌نگاری کشوری، ۱۳۹٦**). این زلزله به چند شهر و هزاران روستا آسیب رساند و صدها کشته، هزاران مصدوم و ده‌ها هزار بی‌خانمان بر جای گذاشت و در پی عدم تاب‌آوری مردم، پیامدهای ناگواری به بار آورد (**شهبازی و همکاران، ۱٤۰۰**)؛ چنان که از سال ۱۳۸۲ و زلزلهٔ بم تاکنون، پرخسارت‌ترین زلزلهٔ ایران می‌باشد. زلزلهٔ ازگله باعث بروز انواع ناپایداری‌ها ازجمله سنگ‌ریزش و زمین‌لغزش نیز شد (**نادری و همکاران، ۱٤۰۰**). مشخصات این زلزله، از چندین منبع معتبر دریافت گردید (جدول ۱) و به نقشه درآمد (شکل ۲).

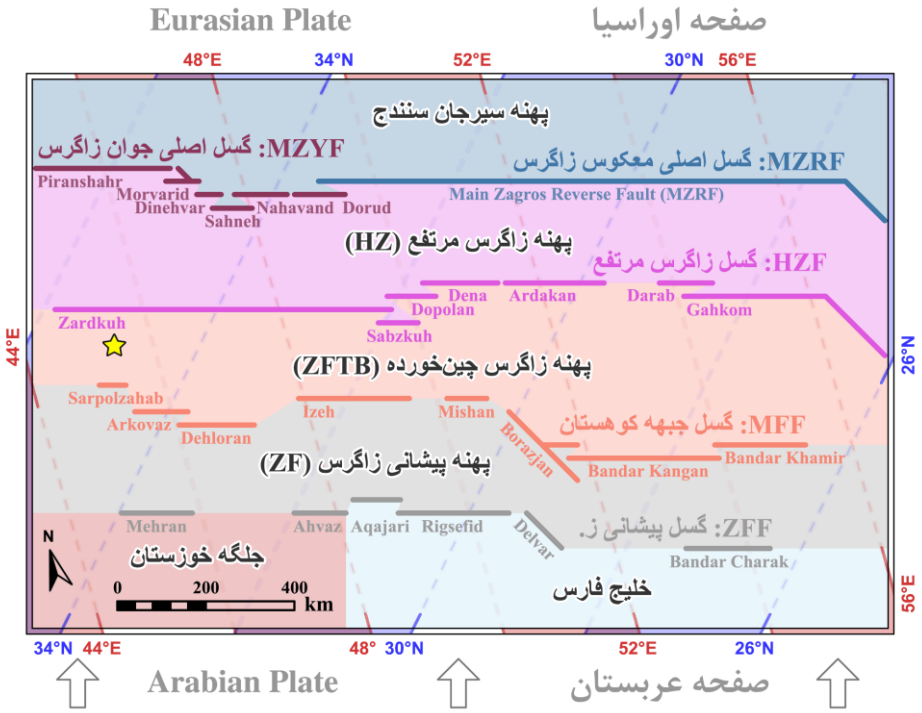
1 Mansouri Daneshvar et al.

**جدول ۱- مشخصات زلزلهٔ ۱۳۹٦ ازگله به تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۱۲ میلادی**

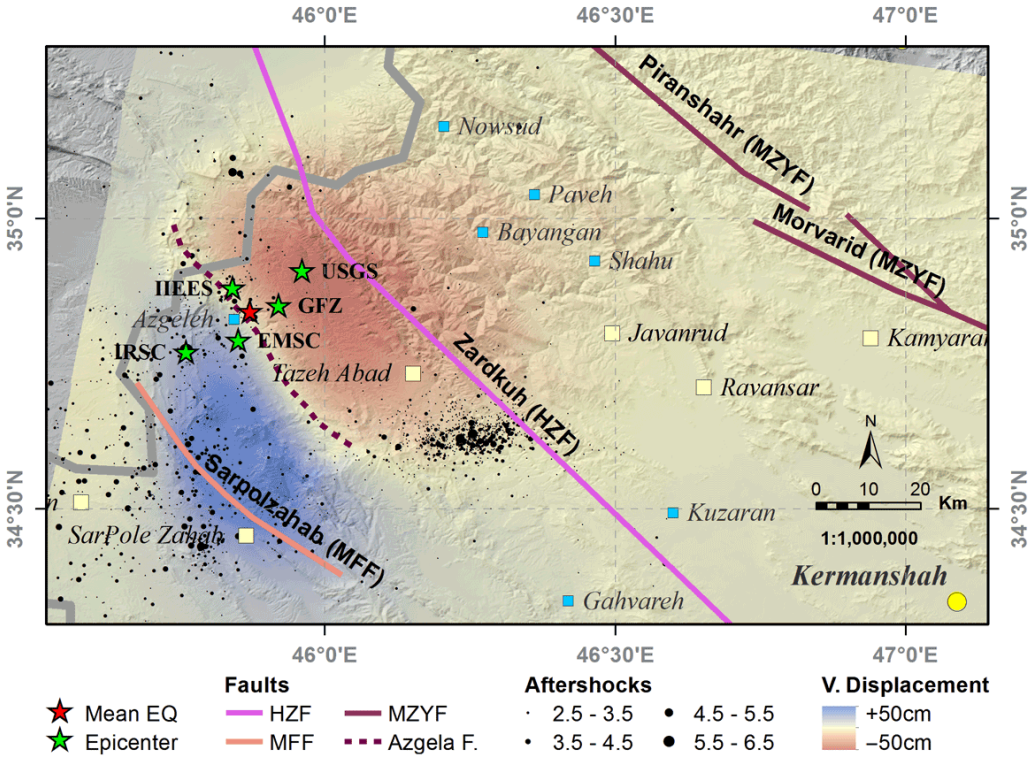
| کد | زمان (UTC) | طول (E) | عرض (N) | عمق (km) | بزرگا (M) | منبع گزارش |
|---|---|---|---|---|---|---|
| IRSC | ۱۸:۱۸:۱٦٫٤ | ٤٥٫٧٦ | ۳٤٫۷۷ | ۱۸ | ۷٫۳ | مرکز لرزه‌نگاری کشوری، دانشگاه تهران |
| IIEES | ۱۸:۱۸:۱۷٫۸ | ٤٥٫۸٤ | ۳٤٫۸۸ | ۱۸ | ۷٫۳ | پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی ایران |
| USGS | ۱۸:۱۸:۱۷٫۲ | ٤٥٫۹٦ | ۳٤٫۹۱ | ۱۹ | ۷٫۳ | سازمان زمین‌شناسی آمریکا |
| EMSC | ۱۸:۱۸:۱۷٫۳ | ٤٥٫۸٥ | ۳٤٫۷۹ | ۲٤ | ۷٫۳ | مرکز زلزله‌شناسی اروپا و مدیترانه |
| GFZ | ۱۸:۱۸:۱۷٫۲ | ٤٥٫۹۲ | ۳٤٫۸٥ | ۲۲ | ۷٫۳ | مرکز پژوهشی علوم زمین آلمان |
| **میانگین** | ۱۸:۱۸:۱۷٫۲ | ٤٥٫۸۷ | ۳٤٫۸٤ | ۲۰ | ۷٫۳ | - |

بررسی مکانیسم کانونی زلزله نشان داده که شکستگی در گسلی کور در پهنهٔ زاگرس چین‌خورده (ZFTB)[1] علت این زلزله بوده است. این گسل پیشتر ناشناخته که گسل ازگله نام گرفته، در عمق ۱۰ کیلومتری با گسل جبههٔ کوهستان (MFF)[2] و در عمق ۱۸ کیلومتری که همان عمق کانونی این زلزله هست با گسل زاگرس مرتفع (HZF)[3] تلاقی دارد (کوانگ و همکاران[4]، ۲۰۱۹). سامانه‌های گسلی زاگرس، از اطلس نقشه‌های لرزه‌خیزی استان‌های ایران (**مرکز لرزه‌نگاری کشوری، ۱۳۹٤**) استخراج شد (شکل ۱) و به نقشه درآمد (شکل ۲).

1 Zagros Fold and Thrust Belt
2 Mountain Front Fault
3 High Zagros Fault
4 Kuang et al.




شکل ۱- نمایش شماتیک سامانه‌های گسلی زاگرس. ابعاد و مختصات این نقشه دقیق نیست.




شکل ۲- موقعیت رومرکز زلزله طبق گزارش منابع مختلف (جدول ۱) در سیستم گسلی زاگرس (شکل ۱).

## ۳- مواد و روش

### ۱-۳- دریافت تصاویر و داده‌های موردنیاز

برای یافتن ابرهای مشکوک، از تصاویر ماهوارهٔ هواشناسی اروپایی متئوست-۸[1] استفاده شد. این ماهوارهٔ زمین‌مرجع در ارتفاع ۳٦ هزار کیلومتری و در طول جغرافیایی ٤۱٫۵ درجهٔ شرقی، بر فراز استوا مستقر است؛ و از فوریهٔ ۲۰۱۷، مهم‌ترین ماهوارهٔ هواشناسی منطقهٔ اقیانوس هند و بهترین ماهوارهٔ هواشناسی برای بررسی آسمان ایران است. توان تفکیک مکانی باندهای غیرپانکروماتیک آن ۳ کیلومتر و توان تفکیک زمانی آن ۱۵ دقیقه می‌باشد که از اکتبر ۲۰۱۸ به ۵ دقیقه بهبود یافته است. این ماهواره افزون بر تصاویر خام، ۲۵ محصول نیز در دسته‌بندی‌های آتش‌سوزی، آیروسل، تابش، بازتابش، اقلیم، ابر، بارش، شاخص گیاهی، ازون، رطوبت تروپسفری و خاکسترهای آتشفشانی دارد که ۵ عدد از آن‌ها دربارهٔ ابرها است (جدول ۲).

**جدول ۲- فهرست محصولات ماهوارهٔ متئوست-۸ در زمینهٔ ابرها**

| کد | عنوان محصول | رزولوشن زمانی | توضیحات |
|---|---|---|---|
| **CLA** | تحلیل ابر | ۱ ساعت | لایه‌های ابر، ارتفاع ابر، دمای ابر و ... |
| **CLAI** | تصویر تحلیل ابر | ۳ ساعت | نوع ابر |
| **CLM** | ماسک ابر | ۱۵ دقیقه | تشخیص آسمان صاف یا ابری |
| **CTH** | ارتفاع رویهٔ ابر | ۱۵ دقیقه | ارتفاع رویهٔ ابر |
| **OCA** | تحلیل ابر بهینه | ۱۵ دقیقه | فاز ابر، فشار ابر، ضخامت نوری ابر و ... |

وبگاه‌های هواشناسی نیز محصولاتی از تصاویر خام این ماهواره تولید می‌کنند که به خاطر راحتی مشاهده و دریافت آن‌ها و افزوده شدن لایهٔ شهرها و مرزهای کشوری و استانی، بسیار مناسب تفسیر چشمی جهت یافتن ابرهای مشکوک می‌باشند. درنهایت، محصول مادون‌قرمز این ماهواره، تولید وبگاه Weather.us با برش و مرز کشور ایران، در بازهٔ دو ماههٔ پیش و کمی پس از زلزله با توان تفکیک زمانی ۱۵ دقیقه، شامل ۵۷٦۰ تصویر دریافت گردید (جدول ۳).

**جدول ۳- بازهٔ زمانی دریافت تصاویر مادون‌قرمز با توان تفکیک زمانی ۱۵ دقیقه**

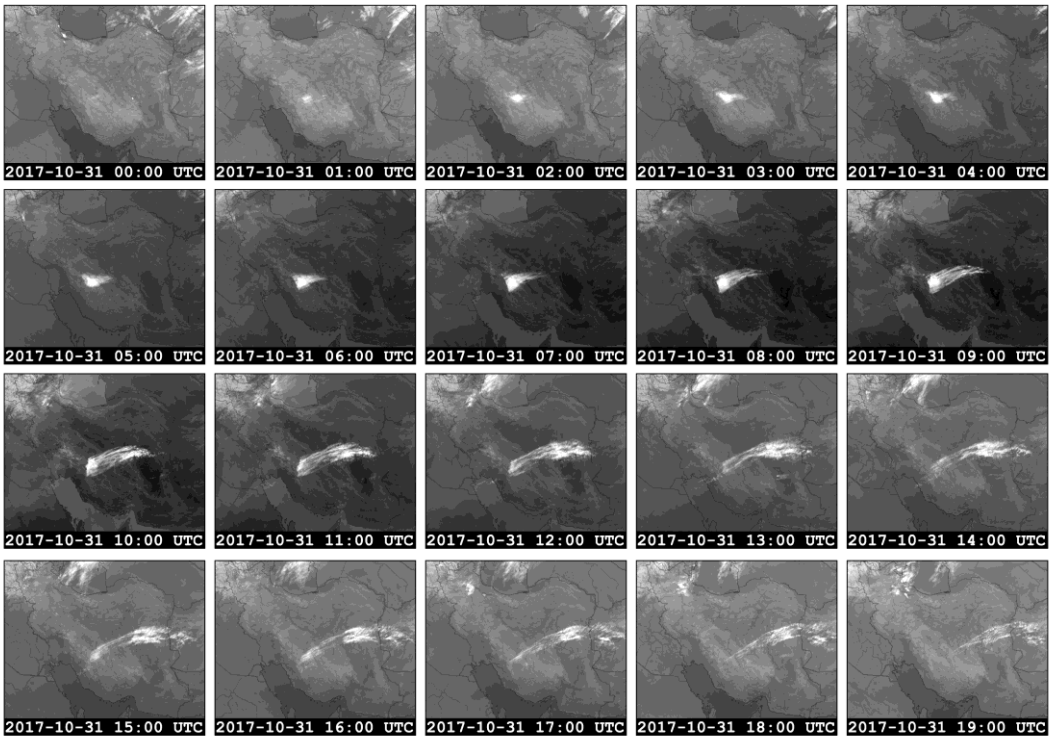
| تقویم | نخستین تصویر | زلزله | واپسین تصویر |
|---|---|---|---|
| **جهانی (UTC)** | ۲۰۱۷/۰۹/۲۳ ۰۰:۰۰ | ۲۰۱۷/۱۱/۱۲ ۱۸:۱۸ | ۲۰۱۷/۱۱/۲۱ ۲۳:٤۵ |
| **ایرانی (IRT)** | ۱۳۹٦/۰۷/۰۱ ۰۳:۳۰ | ۱۳۹٦/۰۸/۲۱ ۲۱:٤۸ | ۱۳۹٦/۰۹/۰۱ ۰۳:۱۵ |

1 MSG Indian Ocean 41.5° E Meteosat-8 (IODC: Indian Ocean Data Coverage)

### ۲-۳- روش انجام پژوهش

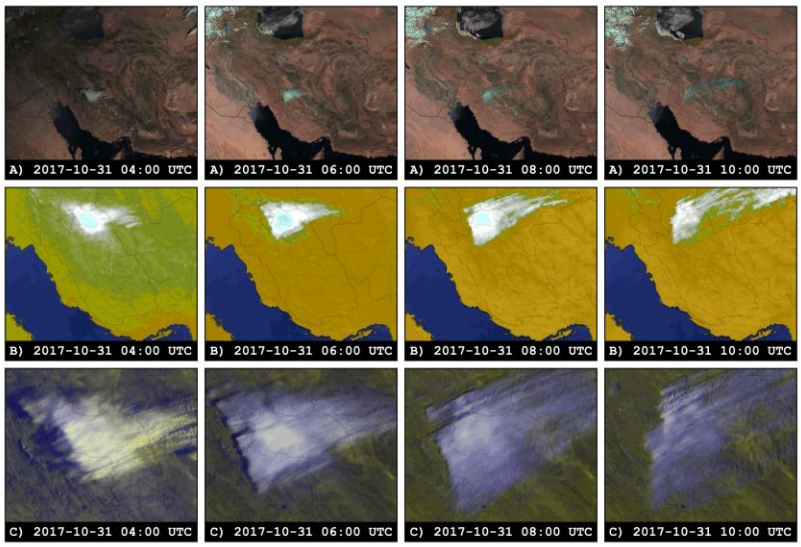
#### ۱-۲-۳- جستجوی چشمی ابر زلزله

سری تصاویر مادون‌قرمز دریافت‌شده، جهت یافتن ابرهای مشکوک، به‌صورت متوالی و پویا مشاهده و بررسی شد. شدیدترین مورد مشکوک به ابر زلزله، مربوط به ابری است که در تاریخ ۲۰۱۷/۱۰/۳۱ میلادی برابر با ۱۳۹٦/۰۸/۰۹، یعنی ۱۲ روز قبل از زلزله، از آغازین ساعات روز با شدت از چشمه‌ای خطی موازی با رشته‌کوه دنا در حوالی یاسوج تشکیل می‌شود و به‌رغم وجود باد غربی، برای بیش از ۱۰ ساعت در آسمان ثابت می‌ماند (شکل ۳). این ابرزایی شدید، اگر سرچشمه‌ای زمینی داشته باشد، می‌تواند نشانه‌ای از فعالیت شدید گسلی و هشداری برای زلزله‌ای قریب‌الوقوع و احتمالی در آن گسل باشد.




**شکل ۳- تصاویر سری زمانی محصول Infrared در روز ۲۰۱۷/۱۰/۳۱ میلادی.**

پس از یافتن این ابر مشکوک، دیگر محصولات تصویری آن وبگاه در آن روز نیز دریافت و مراحل شکل‌گیری، شدت یافتن و زوال آن ابر در آن‌ها مشاهده شد (شکل ٤).



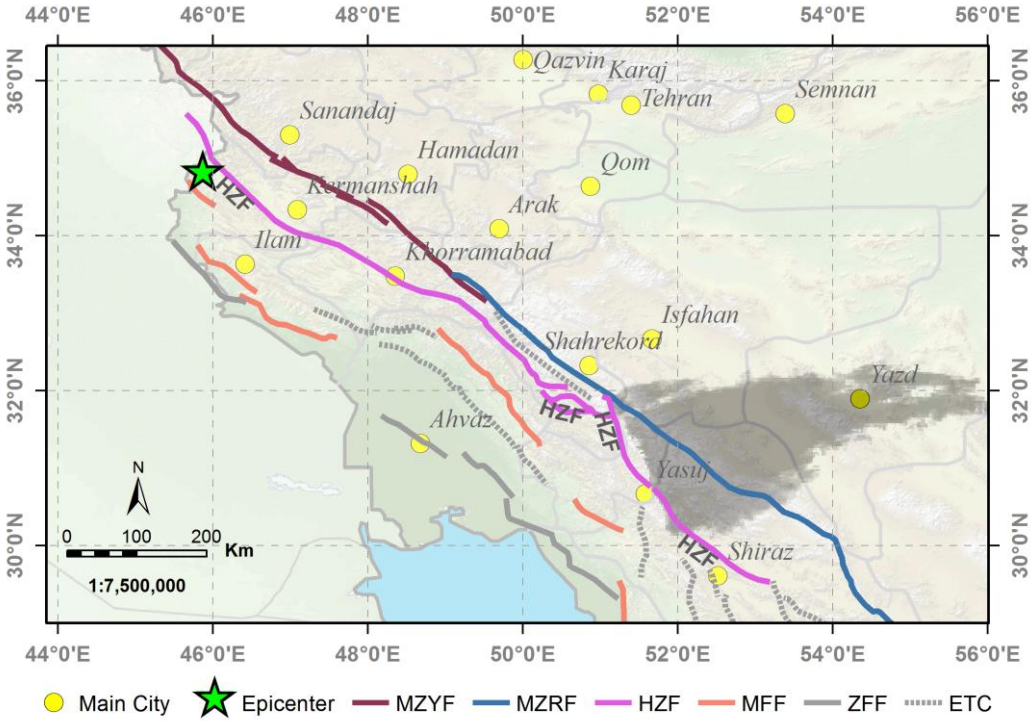

**شکل ٤- تصاویر سری زمانی ابر مشکوک در محصول A) Color ایران؛ B) Nature جنوب ایران؛ C) HD ابر.**

پس از به نقشه درآوردن تصاویر مادون‌قرمز ابر مشکوک، دیده شد که این ابرزایی از خطی مستقیم به طول ۱٦۰ کیلومتر و در راستای تقریبی NNW-SSE بر فراز بخش‌هایی از گسل‌های دنا و اردکان رخ داده است. گسل‌های دنا و اردکان از قطعات گسل زاگرس مرتفع (HZF) هستند (شکل ۱ و جدول ٤)؛ همان گسلی که ۱۲ روز بعد و ۷۰۰ کیلومتر دورتر، در نزدیکی قطعهٔ زردکوه آن، زلزلهٔ ازگله رخ داده است (شکل ۵ و ٦). تشکیل نشدن دقیق ابر روی خط گسل به دلیل وجود باد و مدت‌زمان موردنیاز برای رسیدن بخارها به ارتفاع سرد برای میعان است (گو و ژی[1]، ۲۰۰۷).

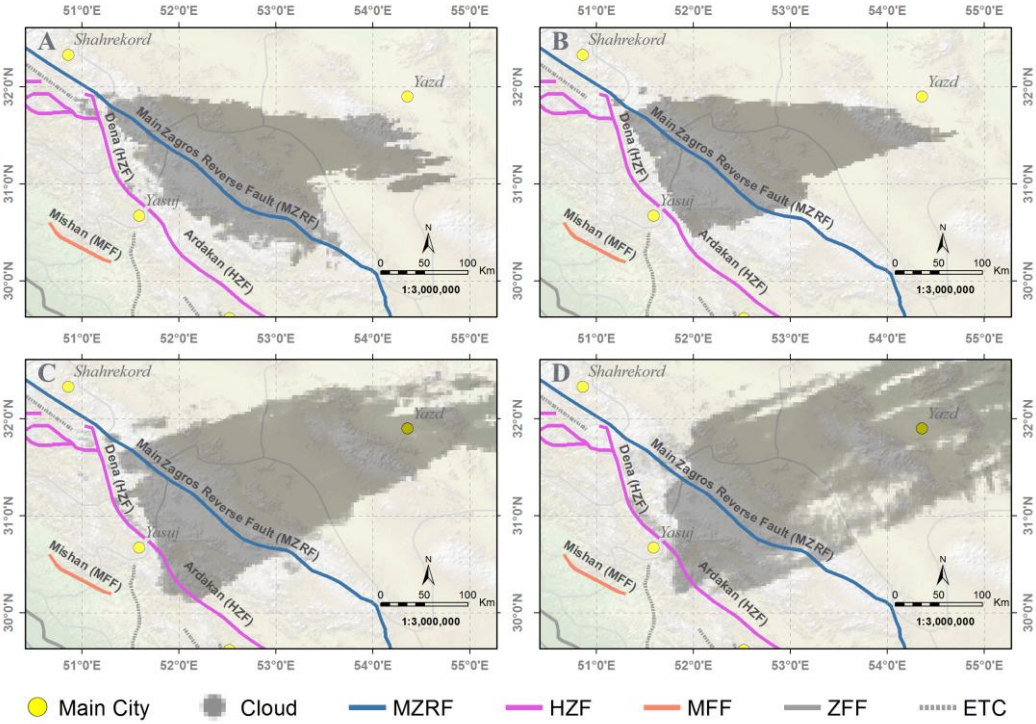
**جدول ٤- قطعات سامانهٔ گسلی زاگرس مرتفع (HZF) از شمال غرب به جنوب شرق**

| نام قطعه | طول (km) | مراکز استان نزدیک | نام قطعه | طول (km) | مراکز استان نزدیک |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱- زردکوه | ۷۵۷ | کرمانشاه، خرم‌آباد | ۵- اردکان | ۲۳۵ | یاسوج، شیراز |
| ۲- سبزکوه | ۹۰ | - | ٦- داراب | ۱۲۰ | - |
| ۳- دوپلان | ۱۱۳ | - | ۷- گهکم | ۵۱۸ | بندرعباس |
| ٤- دنا | ۱۷۳ | یاسوج | جمع | ۲۰۰٦ | - |

1 Guo & Xie




**شکل ۵- موقعیت ابر مشکوک در 2017/10/31 07:30 UTC نسبت به گسل HZF و رومرکز زلزلهٔ ازگله.**



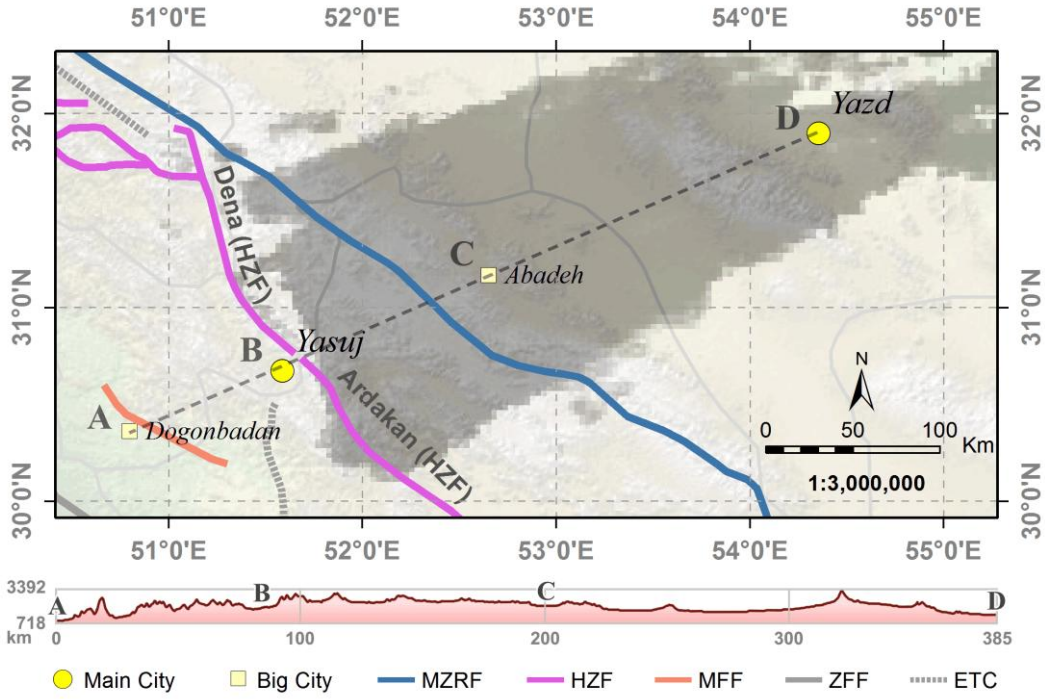

**شکل ٦- سری نقشه‌های ابر مشکوک در زمان‌های A UTC) 04:00؛ B) 06:00؛ C) 08:00؛ D) 10:00.**

### ۲-۲-۳- آزمون منشایابی ابر مشکوک

می‌توان احتمال داد که تشکیل چنین ابری با سرچشمهٔ خطی و ثابت، در اثر عبور و صعود تودهٔ هوای مرطوب از رشته‌کوه باشد (توماس و همکاران[1]، ۲۰۱۵). برای رد کردن آن، چهار ایستگاه سینوپتیک در راستای باد غالب انتخاب (شکل ۷) و داده‌های هواشناسی آن‌ها در آن روز از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس با استفاده از رابطهٔ (۱)، رطوبت ویژهٔ هر ایستگاه در طول آن روز محاسبه گردید (بولتون[2]، ۱۹۸۰).

$$q = \frac{621.98\times e}{P-(0.378\times e)}$$ رابطهٔ (۱)

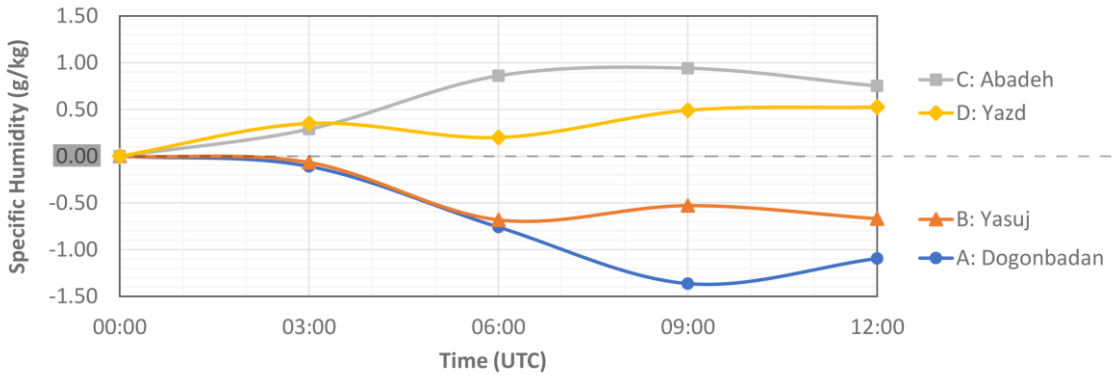
در رابطهٔ بالا، $q$ رطوبت ویژه $(g/kg)$ و $e$ و $P$ به ترتیب، فشار بخار و فشار هوا با واحدی یکسان می‌باشند. رطوبت ویژه، عبارت است از وزن بخار آب در واحد وزن هوای مرطوب. ازآنجایی‌که این پارامتر، ثبات زیادی دارد، نقش ویژه‌ای در تجزیه‌وتحلیل و سنجش میزان رطوبت هوا یافته است. رطوبت ویژه، متأثر از دمای هوا نیست و میزان آن تنها با تغییر واقعی مقدار بخار آب تغییر می‌کند (**علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱**).




**شکل ۷- ایستگاه‌های مسیر باد و پروفیل ارتفاعی خط با اغراق 5x. A) دوگنبدان؛ B) یاسوج؛ C) آباده؛ D) یزد.**

1 Thomas et al.
2 Bolton

با کسر کردن رطوبت ویژهٔ هر ایستگاه در طول روز از رطوبت ویژهٔ همان ایستگاه در ساعت آغازین همان روز، روند تغییرات تفاضلی و استاندارد رطوبت ویژه در هر ایستگاه در طول روز به دست آمد (شکل ۸).




**شکل ۸- روند تغییرات تفاضلی و استاندارشدهٔ رطوبت ویژه در چهار ایستگاه خطی در ۲۰۱۷/۱۰/۳۱ میلادی.**

طبق این نمودار، روند تغییرات رطوبت ویژه در دو ایستگاه قبل با دو ایستگاه بعد از گسل متفاوت است. در ایستگاه‌های دوگنبدان و یاسوج، همزمان با ابرزایی، کاهش رطوبت ویژه رخ داده؛ ولی در ایستگاه آباده همزمان با ابرزایی و همچنین در ایستگاه یزد هم با چند ساعت تأخیر، افزایش رطوبت ویژه روی داده است. این تفاوت در روند تغییرات رطوبت ویژه در ایستگاه‌ها، می‌تواند نشانه‌ای بر خروج رطوبت از خط گسل و انتشار آن با باد غربی و در نتیجه تأیید منشأ زمین‌شناسی این ابر باشد.

### ۳-۲-۳- آزمون مرسوم نبودن ابر مشکوک

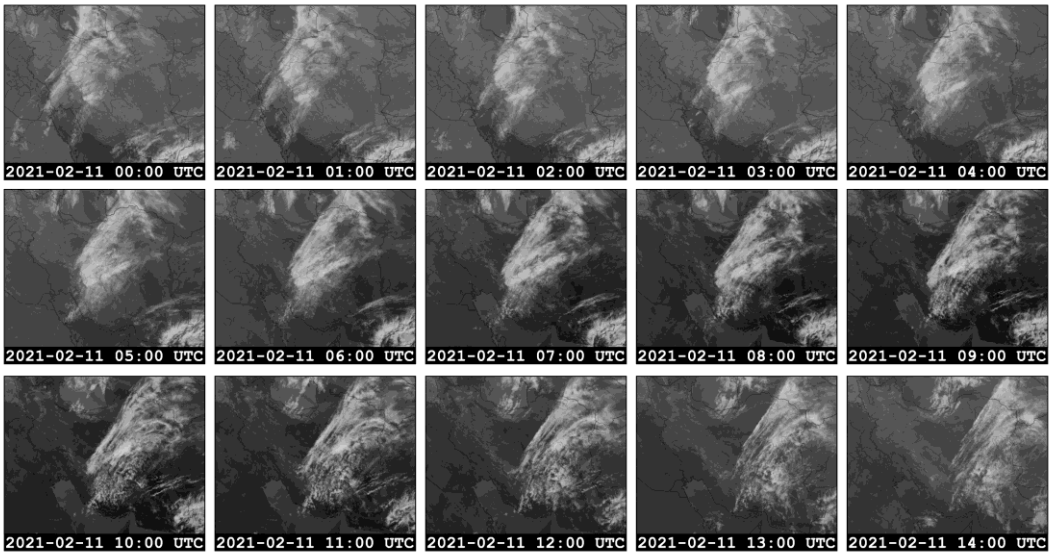
احتمال دیگر این است که تشکیل چنین ابری در این منطقه مرسوم باشد و ارتباطی به زلزله نداشته باشد (توماس و همکاران[1]، ۲۰۱۵). برای رد کردن این احتمال، محصول مادون‌قرمز مربوط به این منطقه، در بازهٔ تاریخی بیش از ٤ سال با توان تفکیک زمانی ٦ ساعت، شامل ٦۱۹۲ تصویر دریافت گردید (جدول ۵).

**جدول ۵- بازهٔ زمانی دریافت تصاویر مادون‌قرمز با توان تفکیک زمانی ٦ ساعت.**

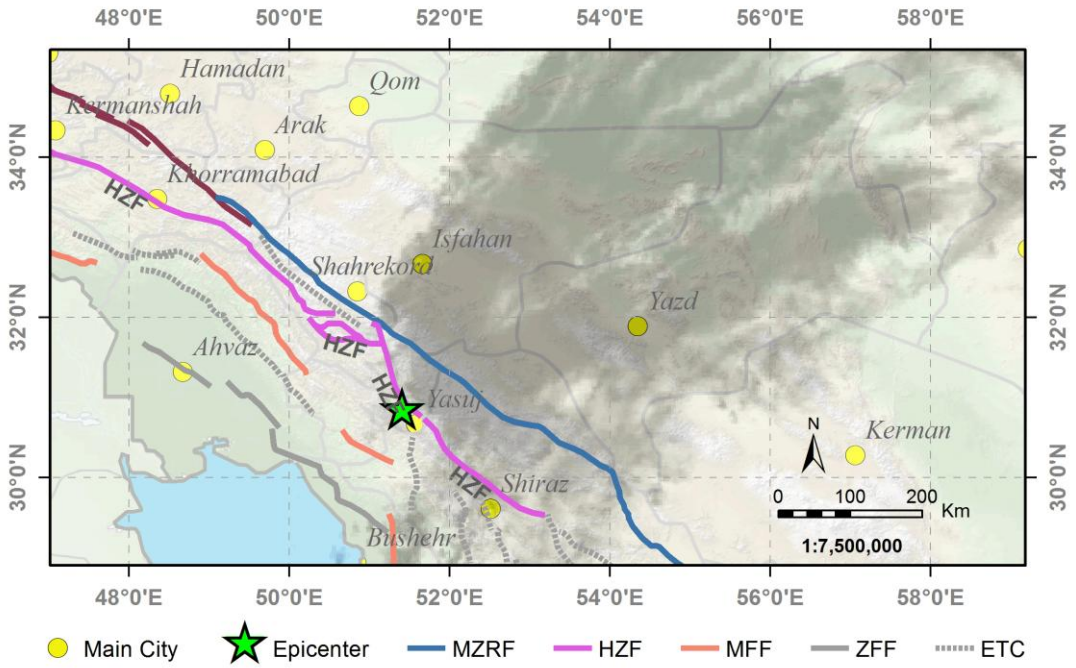
| تقویم | نخستین تصویر | زلزله | واپسین تصویر |
|---|---|---|---|
| جهانی (UTC) | ۲۰۱۷/۰۲/۰۳ ۰۰:۰۰ | ۲۰۱۷/۱۱/۱۲ ۱۸:۱۸ | ۲۰۲۱/۰٤/۳۰ ۱۸:۰۰ |
| ایرانی (IRT) | ۱۳۹۵/۱۱/۱۵ ۰۳:۳۰ | ۱۳۹٦/۰۸/۲۱ ۲۱:٤۸ | ۱٤۰۰/۰۲/۱۰ ۲۲:۳۰ |

1 Thomas et al.

سری این تصاویر نیز جهت یافتن ابرهای مشکوک بررسی شد. تنها مورد مشکوک دیگری که در این منطقه و با این توان تفکیک زمانی قابل‌تشخیص بود، مربوط به ابری است که در تاریخ ۲۰۲۱/۰۲/۱۱ میلادی برابر با ۱۳۹۹/۱۱/۲۳، یعنی ٦ روز قبل از زلزلهٔ ۵.٤ سی‌سخت کهگیلویه و بویر احمد، از چشمه‌ای خطی بر فراز گسل دنا و بخشی از گسل اردکان تشکیل شده و برای بیش از ۱۰ ساعت ساکن مانده است (شکل ۹ و ۱۰).



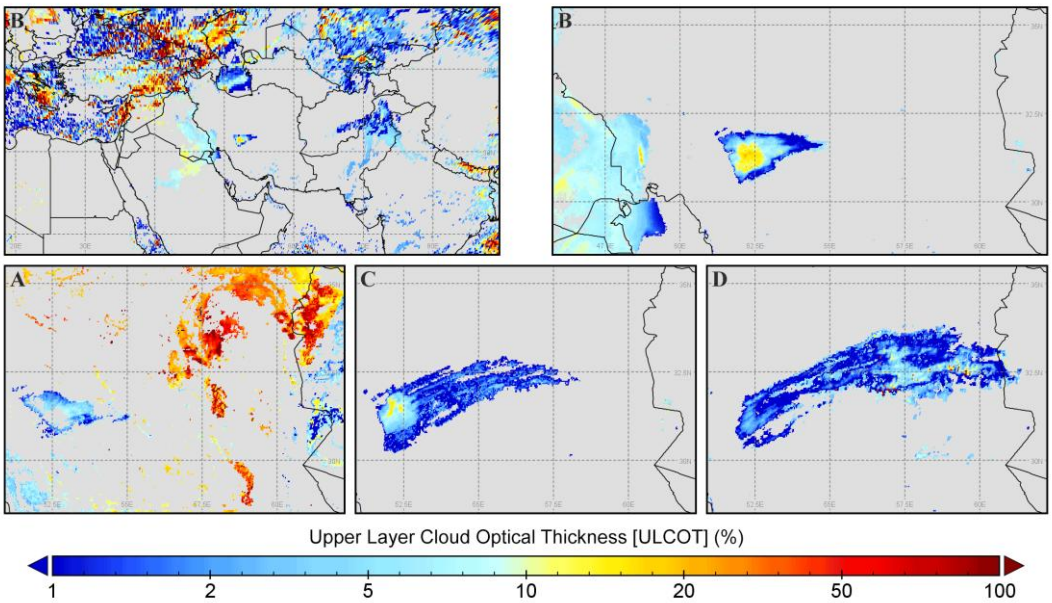

**شکل ۹- تصاویر سری زمانی محصول Infrared در روز ۲۰۲۱/۰۲/۱۱ میلادی.**




**شکل ۱۰- موقعیت ابر مشکوک در 2021/02/11 07:00 UTC نسبت به گسل HZF و رومرکز زلزلهٔ سی‌سخت.**

### ٤-۲-۳- بررسی ویژگی‌های ابر زلزله

برای شناخت ابر زلزلهٔ ازگله، محصولات ماهوارهٔ متئوست-۸ برای آن روز دریافت گردید (جدول ۲). محصول CLAI، اطراف و مرکز آن ابر را به ترتیب جزو ابرهای مرتفع کومولونیمبوس و سیروس می‌داند. محصول CTH نیز رویهٔ آن را از مرتفع‌ترین ابرها دانسته که مرکزش ۱۰ و دنباله‌اش تا ۱۵ کیلومتر ارتفاع دارد. محصول OCA، آن را ابری کم‌فشار می‌داند که ضخامت نوری در مرکزش زیاد و در دنباله‌اش ناچیز است (شکل ۱۱) و شعاع مؤثر قطرات آن در مرکزش ۸ یا فاز آبی و در دنباله‌اش ۲۰ میکرومتر یا فاز یخی می‌باشد.




**شکل ۱۱- ضخامت نوری ابر زلزلهٔ ازگله در زمان‌های UTC A) 03:00؛ B) 06:00؛ C) 09:00؛ D) 12:00.**

همهٔ محصولات، این ابر را نامتجانس می‌دانند که از دو بخش چشمهٔ پرفشار مرکزی و دنبالهٔ رقیق‌شده تشکیل شده است. این می‌تواند دلیلی بر وجود چشمه‌ای زمینی در این ابر باشد که دنباله‌ای در دست باد دارد.

## ٤- نتایج و بحث

طبق مدل شو، ابر زلزله، در هوای سرد به‌طور متوسط تا ۳۰ روز پیش از وقوع زمین‌لرزه، روی گسل مسبب آن و بر فراز کانون آن تشکیل می‌شود و به‌طور متوسط تا ۱۰ ساعت در آسمان می‌ماند؛ و جرم و شدت جوشش آن ابر با بزرگای زلزله ارتباط مستقیم دارد (شو[1]، ۲۰۰٦). ابر زلزلهٔ سی‌سخت، درست مطابق این مدل است اما ابر زلزلهٔ ازگله در مورد تشکیل نشدن بر فراز کانون، از این مدل سرپیچی دارد.

ابر زلزلهٔ سی‌سخت روی گسل‌های دنا و اردکان از قطعات گسل زاگرس مرتفع تشکیل شده بود و بسیار نزدیک به کانون زلزله قرار داشت. ولی ابر زلزلهٔ ازگله با اینکه روی همان گسل مسبب زلزله یعنی گسل زاگرس مرتفع قرار داشت، ولی از کانون زلزله حدود ۷۰۰ کیلومتر دور و در قطعهٔ دیگری از آن گسل تشکیل شده بود. گسل زاگرس مرتفع از غرب تا جنوب ایران کشیده شده و از چندین قطعه گسل تشکیل شده است. ابر زلزله روی قطعات دنا و اردکان تشکیل شده بود ولی کانون زلزله در نزدیکی قطعهٔ زردکوه قرار

1 Shou

داشت. در هر دو زلزله، ابر بر فراز قطعات گسلی دنا و اردکان تشکیل شده است؛ گویا این دو قطعهٔ گسلی می‌توانند شاخص حرارتی خوبی برای فعالیت سراسر سامانهٔ گسلی زاگرس مرتفع محسوب گردند.

با این پژوهش می‌توان گفت زلزله‌های ازگله و سی‌سخت دارای پیش‌نشانگر ابر زلزله بوده‌اند. بر اساس یافته‌های این پژوهش در مورد زلزلهٔ ازگله، ابر زلزله لازم نیست حتماً بر فراز کانون زلزله تشکیل شده باشد، بلکه می‌تواند از کانون زلزله صدها کیلومتر دورتر ولی روی همان سامانهٔ گسلی تشکیل شود؛ بنابراین می‌توان مدل شو را از تراوش بخار از کانون زلزله، به تراوش بخار از گسل مسبب آن زلزله اصلاح کرد.

آخرین پژوهش‌ها روی ابرهای زلزله و زلزله‌های ایتالیا، وجود همبستگی میان این دو پدیده را اثبات می‌کند؛ چنان که ۷۰ درصد زلزله‌های با بزرگای ٤٫۷ و بیشتر، دارای پیش‌نشانگر ابر زلزله بوده‌اند (گوانگ‌منگ[1]، ۲۰۲۲). یافته‌های این پژوهش از نظر شکل تشکیل ابر، فاصله تا رومرکز و حتی ارتفاع ابر زلزله، بسیار شبیه به پژوهش اخیر در ایتالیا است که نشان از شباهت رفتاری سیستم گسلی رشته‌کوه زاگرس ایران و رشته‌کوه آپینینی[2] ایتالیا در ایجاد ابرهای زلزله و تولید رخدادهای لرزه‌ای دارد.

**۵- نتیجه‌گیری**

انسان باستان، زلزله را جزو علم هواشناسی آورده و صدها سال است که پیش‌نشانگر ابر زلزله را می‌شناسد. این پیش‌نشانگر، بار دیگر در عصر ماهواره‌ها مطرح شد؛ ولی تا یک دههٔ پیش، محدودیت در تعداد ماهواره‌های هواشناسی، کم بودن توان تفکیک مکانی و زمانی تصاویر، در دسترس نبودن و ژئورفرنس نبودن آن‌ها، عمده‌ترین موانع در تشخیص ابر زلزله بود. امروز با وجود ماهوارهٔ متئوست-۸ بر فراز اقیانوس هند، همهٔ این موانع رفع شده است و هرگونه فعل‌وانفعال ابری در آسمان منطقه به‌طور رایگان و آنی قابل‌پیگیری است.

برای جستجوی ابر زلزلهٔ ۷٫۳ ازگلهٔ کرمانشاه به تاریخ ۱۳۹٦/۰۸/۲۱، تصاویر مادون‌قرمز در بازه‌ای دو ماهه دریافت و بررسی شد. شدیدترین مورد مشکوک به ابر زلزله، در ۱۳۹٦/۰۸/۰۹ یعنی ۱۲ روز قبل از زلزله مشاهده گردید. سپس منشأ زمینی رطوبت آن ابر و مرسوم نبودن آن بررسی شد. ابر زلزلهٔ ٥٫٤ سی‌سخت کهگیلویه و بویر احمد به تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ هم که ٦ روز پیش از آن زلزله تشکیل شده بود، نیز پیدا شد.

در بررسی پیش‌نشانگر ابر زلزله، نباید تنها به ابرها توجه داشت، بلکه گسل‌های منطقه را نیز باید شناخت و ابرها را در آن سیستم گسلی بررسی کرد. در صورت رؤیت ابر مشکوک، زمینی بودن منشأ و مرسوم نبودن آن ابر در آن منطقه را نیز باید آزمود تا دقت مدل افزایش یابد. انتظار پیش‌بینی زلزله با پیش‌نشانگر ابر زلزله

1 Guangmeng
2 Apennine Mountains

وجود ندارد؛ ولی می‌توان آن را شناخت و در نظر داشت و در کنار پایش دیگر پیش‌نشانگرها به پیش‌بینی نزدیک شد. در پایان، پژوهش‌های مشابه برای سایر زلزله‌های زاگرس و همچنین بررسی و شناخت بیشتر ابر زلزلهٔ ازگله پیشنهاد می‌گردد.

## سپاسگزاری

از پشتیبانی دانشگاه یزد در به انجام رسیدن پایان‌نامه مطالعه پیش‌نشانگرهای زلزله ۱۳۹۶ ازگله با کمک سنجش‌ازدور، که این پژوهش از یافته‌های جانبی آن بود، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

## کتابنامه

- بیت‌اللهی، علی؛ بی‌تا. *جزوهٔ پیش‌نشانگرهای زلزله*. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- توکلی، شهاب؛ ۱۳۹۸. *زلزله‌شناسی*. دانشگاه پیام نور. صص ۱۴۹–۱۴۵.
- جهانی، فاطمه؛ آخوندزاده هنزایی، مهدی؛ ۱۳۹۶. مشاهدهٔ آنومالی در سری زمانی هواویزها قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ با تصاویر مودیس. *علوم و مهندسی زلزله*، ٤(۱)، ۱–۱۰.
http://www.bese.ir/article_240309.html
- حسینی، میرهادی؛ ۱۳۹۵. جغرافیای تاریخی زلزله در ایران: اسناد مهلرزه‌ای از ابتدا تا عصر صفوی. *جغرافیا*، ۱٤(٤۹)، ٤۳۳–٤۵۳. https://mag.iga.ir/article_707186.html
- حیاتی، سلمان؛ غلامی، یونس؛ اسماعیلی، آسیه؛ رضوی‌نژاد، مرتضی؛ ۱۳۹۵. پیش‌بینی محل وقوع زلزلهٔ احتمالی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۵(٤)، ۱–۱۹.
https://doi.org/10.22067/geo.v5i4.47594
- شمشیری، منیره؛ آخوندزاده هنزایی، مهدی؛ ۱۳۹۵. تشخیص آنومالی‌های TEC قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی. *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۵(٤)، ٤۹–۵۸.
http://jgst.issgeac.ir/article-1-309-fa.html
- شهبازی، سمیه؛ پاپ‌زن، عبدالحمید؛ غلامی، مصیب؛ ۱٤۰۰. بررسی علل عدم تاب‌آوری جوامع محلی در مقابله با بلایای طبیعی: موردمطالعه زلزلهٔ استان کرمانشاه. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰(۳)، ۱۶۳–۱۷۹.
https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68474.1014
- صابر ماهانی، سینا؛ سپهوند، محمدرضا؛ ۱۳۹۶. بررسی پیش‌نشانگرهای ابر زلزله و تغییرات دمایی در شناسایی گسل مسبب زمین‌لرزه: مطالعهٔ موردی زلزلهٔ محمدآباد ریگان ۷ بهمن ۱۳۸۹. *اطلاعات جغرافیایی*، ۲۶(۱۰۱)، ۲۵–۳۲.
https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.25723
- علوی‌پناه، سید کاظم؛ قربانی، محمدصدیق؛ ۱۳۸۶. نقش سنجش‌ازدور و بررسی‌های میدانی در تجزیه‌وتحلیل‌های مورفوتکتونیکی: مطالعهٔ موردی زلزلهٔ بم. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۹(۶۰)، ۱۵–۲۹.
https://jrg.ut.ac.ir/article_18896.html
- علی‌زاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ موسوی، فرهاد؛ موسوی بایگی، محمد؛ ۱۳۹۱. *هوا و اقلیم‌شناسی*. دانشگاه فردوسی مشهد. صص ۸۹–۸۸.

- مرکز لرزه‌نگاری کشور، موسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران؛ ۱۳۹٤. *نقشه‌های لرزه‌خیزی استان‌های ایران ۱۹۰۰-۲۰۱۵*.
- مرکز لرزه‌نگاری کشور، موسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران؛ ۱۳۹٦. *گزارش زمین‌لرزهٔ ۷٫۳ ریشتری ازگلهٔ کرمانشاه*.
- منصوری دانشور، محمدرضا؛ برهمند، علی‌اصغر؛ منصوری دانشور، پرویز؛ ۱۳۹۱. ارزیابی مدل ابر زلزله با برآورد نرخ همبستگی میان رویدادهای زلزله و پیش‌بینی آن‌ها در ایران برای سه ماهۀ چهارم ۲۰۰۹. *مخاطرات محیط طبیعی*، *۱*(۱)، ۱۱۱-۱۲٦. https://doi.org/10.22111/jneh.2012.2444
- نادری، فتح‌الله؛ فتوحی، صمد؛ نگارش، حسین؛ خلیلی، مرضیه؛ ۱٤۰۰. پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزلهٔ ازگله ۲۱ آبان ۱۳۹٦، Mw=7.3 در استان‌های ایلام و کرمانشاه با مدل ویکور. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، *۱۰*(۲)، ۲۱-٤۱. https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68682.1016

- Al Banna, H., Abu Taher, K., Kaiser, S., Mahmud, M., Rahman, S., Hosen, S., & Cho, G. H., 2020. Application of artificial intelligence in predicting earthquakes: State-of-the-art and future challenges. *IEEE Access*, *8*, 192880–192923. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029859.
- Bolton, D., 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review*, *108*(7), 1046–1053. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1980)108<1046:TCOEPT>2.0.CO;2.
- Enomoto, Y., 2002. A tornado-type cloud observed on January 9, 1995 prior to the Kobe earthquake. In *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling* (pp. 267–273. TERRAPUB.
- Freund, F., 2013. Earthquake forewarning – A multidisciplinary challenge from the ground up to space. *Acta Geophysica*, *61*(4), 775–807. https://doi.org/10.2478/s11600-013-0130-4.
- Guangmeng, G., 2021. A retrospective analysis about the Italy Emilia M6.0 earthquake prediction. *Open Journal of Earthquake Research*, *10*, 68–74. https://doi.org/10.4236/ojer.2021.102005.
- Guangmeng, G., 2022. On the relation between anomalous clouds and earthquakes in Italian land. *Frontiers in Earth Science*, *10*, 1–7. https://doi.org/10.3389/feart.2022.812540.
- Guangmeng, G., & Jie, Y., 2013. Three attempts of earthquake prediction with satellite cloud images. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *13*(1), 91–95. https://doi.org/10.5194/nhess-13-91-2013.
- Guo, G., & Wang, B., 2008. Cloud anomaly before Iran earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, *29*(7), 1921–1928. https://doi.org/10.1080/01431160701373762.
- Guo, G., & Xie, G., 2007. Earthquake cloud over Japan detected by satellite. *International Journal of Remote Sensing*, *28*(23), 5375–5376. https://doi.org/10.1080/01431160500353890.
- Harrington, D., & Shou, Z., 2005. Bam earthquake prediction & space technology. In *Seminars of the United Nations Programme on Space Applications: Selected Papers from Activities Held in 2004* (Vol. 16, pp. 39–63). United Nations.
- Harrison, R. G., Aplin, K. L., & Rycroft, M. J., 2014. Brief Communication: Earthquake-cloud coupling through the global atmospheric electric circuit. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *14*(4), 773–777. https://doi.org/10.5194/nhess-14-773-2014.
- Jing, F., Zhong, C., Liang, Y., Jing, G., & Dong, W., 2015. Research on earthquake prediction from infrared cloud images. In *MIPPR 2015: Remote Sensing Image Processing*,

*Geographic Information Systems, and Other Applications* (pp. 1–6). International Society for Optics and Photonics. https://doi.org/10.1117/12.2203657.

- Kuang, J., Ge, L., Metternicht, G. I., Ng, A. H., Wang, H., Zare, M., & Kamranzad, F., 2019. Coseismic deformation and source model of the 12 November 2017 $M_W$ 7.3 Kermanshah Earthquake (Iran-Iraq border) investigated through DInSAR measurements. *International Journal of Remote Sensing*, *40*(2), 532–554. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1514542.
- Li-Xin, W., Jin-Ping, L., & Shan-Jun, L., 2009. Space observed two abnormal linear clouds before Wenchuan earthquake. In *Recent Advances in Geology and Seismology: Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS International Conference on Geology and Seismology (GES'09)* (pp. 138–143). WSEAS Press.
- Li, D. J., 1982. *Earthquake Clouds (in Chinese)*. Xue Lin Public Store.
- Mansouri Daneshvar, M., Tavousi, T., & Khosravi, M., 2014. Synoptic detection of the short-term atmospheric precursors prior to a major earthquake in the Middle East, North Saravan M 7.8 earthquake, SE Iran. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *7*(1), 29–39. https://doi.org/10.1007/s11869-013-0214-y.
- Martinelli, G., 2000. Contributions to a history of earthquake prediction research. *Seismological Research Letters*, *71*(5), 583–588**.** https://doi.org/10.1785/gssrl.71.5.583.
- Morozova, L. I., 1997. Dynamics of cloudy anomalies above fracture regions during natural and anthropogenically caused seismic activities. *Fizika Zemli*, *9*, 94–96.
- Ondoh, T., 2003. Anomalous sporadic-E layers observed before M 7.2 Hyogo-ken Nanbu earthquake; Terrestrial gas emanation model. *Advances in Polar Upper Atmosphere Research*, *17*, 96–108.
- Pulinets, S. A., Morozova, L. I., & Yudin, I. A., 2014. Synchronization of atmospheric indicators at the last stage of earthquake preparation cycle. *Research in Geophysics*, *4*(1), 45–50. https://doi.org/10.4081/rg.2014.4898.
- Shou, Z., 2006. Earthquake vapor, a reliable precursor. In *Earthquake Prediction* (pp. 21–51). Taylor & Francis Group, LLC.
- Shou, Z., Xia, J., & Shou, W., 2010. Using the earthquake vapour theory to explain the French airbus crash. *Remote Sensing Letters*, *1*(2), 85–94. https://doi.org/10.1080/01431160903469061.
- Thomas, J. N., Masci, F., & Love, J. J., 2015. On a report that the 2012 M 6.0 earthquake in Italy was predicted after seeing an unusual cloud formation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *15*(5), 1061–1068. https://doi.org/10.5194/nhess-15-1061-2015.
- Tronin, A. A., 2010. Satellite remote sensing in seismology; A review. *Remote Sensing*, *2*(1), 124–150. https://doi.org/10.3390/rs2010124.
- Tronin, A. A., Hayakawa, M., & Molchanov, O. A., 2002. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China. *Journal of Geodynamics*, *33*(4–5), 519–534. https://doi.org/10.1016/S0264-3707(02)00013-3.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.173-194 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.76646.1223 Open access

# Projection of Precipitation using CMIP6 Models Until the End of the 21st Century in the Northwest of Iran

**Behrouz Sari Saraf [a], Hashem Rostamzadeh [b], Nabi Mohamadi [c*]**

[a] *Professor in Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[b] *Assistant Professor in Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[c] *PhD in Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

***Received: 17 April 2022*** ***Revised: 2 June 2022*** ***Accepted: 7 June 2022***

## Abstract

Precipitation is the main component of the hydrological cycle, which is very important in many studies, including those focusing on management of irrigation and drainage systems, crop performance, environmental issues, floods, droughts, etc. Therefore, this study eveluated seven GCMs models of Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) regarding the simulation and projection of precipitation changes in the northwest of Iran under three scenarios of SSP in three periods (2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) and compared them to the historical period (2014-1985). The trend of precipitation changes was calculated using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator. The Linear Scaling Bias Correction (LSBC) was used to downscaling the GCMs data and the validity of different models was evaluated using RMSE, MAE and R2 indices. The results of performance evaluation of CMIP6 models showed that among the studied models, MPI-ESM1-2-LR model with an average R2 of 0.86 and RMSE equal to 19.7 at the regional level were more accurate than other models in the simulation of precipitation. The results of projection also showed that precipitation according to SSP1-2.6 scenario will increase by 2.6% in the next three periods and on average in the end of 21st century and at most stations it is significant at the level of 0.01%. But according to SSP3-7.0 and SSP5-8.5 scenarios, the amount of precipitation will decrease by 14.5% and 3.6% in the end of 21st century, respectively, with the highest decrease being related to the rainy areas in the southwest of the region. In general, according to different scenarios, in most of the studied areas, the precipitation trend is decreasing until the end of 21st century, and it is necessary for officials and planners to adopt the required strategies to adapt to the resulting climate change.

**Keywords:** SSPs, CMIP6, Rain, Northwet, Climate Change

*. Corresponding author:Nabi Mohamadi: Email: n.mohamadi1974@gmail.com Tel:+989144192471

**How to cite this Article:** Sari Saraf, B., & Rostamzadeh, H.and Nabi Mohamadi (2024). Projection of precipitation using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwest of Iran**.** *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 173-194.

**DOI:10.22067/geoeh.2022.76646.1223**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76646.1223
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱٤۰۳، صص ۱۹٤-۱۷۳**

مقاله پژوهشی

# پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران

**بهروز ساری صراف- استاد آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**
**هاشم رستم‌زاده- استادیار آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**
**نبی محمدی[1]- دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۳/۱۲ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/۳/۱۷**

**چکیده**

بارش اصلی‌ترین جزء چرخه هیدرولوژی است که در بسیاری از مطالعات ازجمله مدیریت سیستم‌های آبیاری و زهکشی، عملکرد محصولات کشاورزی، مطالعات زیست‌محیطی، سیلاب، خشکسالی و غیره از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش به ارزیابی ۷ مدل GCMs از CMIP6 در شبیه‌سازی بارش و پیش‌نگری تغییرات بارش در شمال غرب ایران تحت سه سناریوی واداشت اجتماعی-اقتصادی (SSP) در سه دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۸۰-۲۰۵۱، ۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱٤-۱۹۸۵) پرداخته شد. روند تغییرات بارش با استفاده از آزمون من کندال و تخمینگر شیب سن محاسبه گردید. جهت مقیاس کاهی داده‌های GCMs نیز از رویکرد مقیاس بندی خطی (LSBC) استفاده شد و صحت سنجی مدل‌های مختلف با استفاده از سنجه‌های متداول آماری، RMSE، MAE و R2 ارزیابی گردید. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 نشان داد که از میان مدل‌های موردبررسی، مدل MPI-ESM1-2-LR با متوسط R2 برابر با ۰/۸٦ و RMSE برابر با ۱۹/۷ در سطح

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤۱۹۲٤۷۱ Email: n.mohamadi1974@gmail.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

ساری صراف، بهروز؛ رستم‌زاده، هاشم؛ محمدی، نبی؛ ۱٤۰۳. پیش نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۱۹٤-۱۷۳

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76646.1223

منطقه از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش برخوردار است. نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات بارش نیز نشان داد بارش بر اساس سناریوی SSP1-2.6 در هر سه دوره آینده و به‌طور متوسط تا پایان قرن ۲۱ به میزان ۲/٦ درصد افزایش پیدا خواهد کرد و در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شده است؛ اما بر اساس سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 میزان بارش تا پایان قرن ۲۱ به ترتیب ۱٤/۵ و ۳/٦ درصد کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین میزان کاهش آن نیز مربوط به مناطق پر بارش در جنوب غرب منطقه است. میزان کاهش در مناطق غربی و جنوب غربی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شده است. درمجموع با توجه به سناریوهای مختلف، در بیشتر پهنه موردمطالعه روند بارش تا پایان قرن ۲۱ کاهشی است و لازم است مسئولان و برنامه ریزان راهکارهای لازم جهت سازگاری با تغییرات اقلیمی حاصل را اتخاذ نمایند.

**کلیدواژه‌ها:** بارش، تغییر اقلیم، شمال غرب، مقیاس بندی خطی، CMIP6،SSPs

**۱- مقدمه**

گرمایش جهانی در حال حاضر پذیرفته شده است (ژانگ و همکاران[1]، ۲۰۱۷). یکی از نمودهای گرمایش جهانی و تغییر اقلیم افزایش فراوانی و شدت دوره‌های همراه با دماهای بالا و پایین است و برخی مطالعات نشان داده‌اند که تأثیرات فرین‌های اقلیمی آشکارتر و مستقیم‌تر از میانگین‌های آب‌وهوایی است (هیأت بین-الدول تغییر اقلیم[2]، ۲۰۱۳). دمای بالاتر نگهداشت رطوبت جو را افزایش داده و این امر به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش بارش‌های فرین شود (یانگ و همکاران[3]، ۲۰۱۸). ممکن است فراوانی، شدت و وسعت فضایی رویدادهای فرین آب‌وهوایی افزایش یابد (هورتون و همکاران[4]، ۲۰۱۵). مسئله تغییر اقلیم امروزه به‌عنوان یکی از شایع‌ترین مباحث علمی و حتی سیاسی–اجتماعی مطرح است. اصولاً تغییر و حرکت جزء وجودی سامانه‌های طبیعی است. انسان در تلاش است که با ابزارها و دانستنی‌های خود قانونمندی این تغییرات را کشف کند و بدین‌وسیله اقدام به پیش‌بینی رفتارهای بعدی سامانه آب‌وهوا نماید (عزیری،۱۳۸۳). فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی- اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چراکه سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند (**ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹**). در این بین نیز بارش مهم‌ترین متغیر

1 Zhang et al
2 IPCC
3 Yang et al
4 Horton et al

آب‌شناختی است که پیوند میان جو و فرآیندهای سطحی را برقرار می‌سازد و ناهنجاری‌های مثبت و منفی آن سبب بروز سیل و خشکسالی می‌شود (**مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳**). برای ارزیابی تغییرات اقلیمی مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) طراحی شده‌اند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها و حرکات اتمسفری را تحلیل می‌نمایند و به دنبال آن متغیرهای هواشناسی را در شبکه‌های خاص شبیه‌سازی می‌کنند، همچنین این مدل‌ها در حال حاضر قوی‌ترین ابزار به‌منظور تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند (**شائمی و حبیبی‌نوخندان، ۱۳۸۸**). مدل‌های GCM متعددی توسعه یافته است و به دلیل تفاوت ساختار این مدل‌ها و تفاوت شرایط اولیه‌ای که تحت آن اجرا می‌شوند، نتایج آن‌ها حتی برای یک سناریوی انتشار یکسان، متفاوت است. لذا برای استفاده در مطالعات منطقه‌ای، لازم است خروجی این مدل‌ها با استفاده از یک روش مناسب ریز مقیاس شود (کی و همکاران[1]، ۲۰۰۹). با توجه به اهمیت بارش لازم است این پارامتر در مناطق مختلف برآورد شود. پیش‌بینی بارش برای مناطقی که اقتصاد آن‌ها مبتنی بر کشاورزی است، بسیار مهم است. از طرفی با پیش‌بینی به‌موقع بارندگی امکان مقابله با سیلاب، خشک‌سالی و کاهش خسارت ناشی از آن‌ها نیز مهیا می‌شود. در این راستا فریرا و همکاران[2] (۲۰۱۸) به پیش‌نگری تغییرات بارش‌های تابستانی در جنوب شرقی ایالات‌متحده پرداختند. نتایج حاکی از افزایش قابل‌ملاحظه بارش به دلیل افزایش دما و شار بخارآب بود. نیلاوار و ویکار[3] (۲۰۱۹) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه پورنا در هند با استفاده از سناریوهای RCP پرداختند. نتایج نشان داد دما و بارش در دوره آینده افزایش پیدا خواهد کرد. جیانگ و همکاران[4] (۲۰۲۰) به پیش‌نگری تغییرات بارش در آسیای مرکزی بر اساس ۱۵ مدل GCM از CMIP6[5] تحت ٤ سناریوی SSP[6] پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس تمام سناریوها میانگین بارندگی سالانه افزایش خواهد یافت. ژانگ و همکاران[7] (۲۰۲۱) قابلیت‌های ٤۲ مدل از CMIP6 را جهت بازتولید دما و بارش در سین کیانگ چین را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد این مدل‌ها توانایی خوبی در شبیه‌سازی دما و بارش دارند و استفاده از ترکیب چند مدل نیز عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های منفرد دارند. مجدی و همکاران[8] (۲۰۲۲) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در خاورمیانه و شمال آفریقا با استفاده از متوسط ۲۳ مدل GCM و دو سناریوی SSP پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در بیشتر مناطق موردمطالعه است. **صلاحی و همکاران (۱۳۹۵)** به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از داده‌های خروجی مدل

1 kay et al
2 Ferreira et al
3 Nilawar and Waikar
4 Jiang et al
5 Coupled Model Intercomparison Project phase 6
6 Shared Socioeconomic Pathways
7 Zhang et al
8 Majdi1et al

HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار در حوضه آبریز دریاچه پرداختند. نتایج حاکی از کاهش ۸/۲ درصدی بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوضه موردمطالعه است. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۷) به پیش‌بینی بارش‌های سنگین در سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۱۳۸۹ تا ۱٤۰۸ پرداختند. نتایج نشان داد در دوره آتی درمجموع بر تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در اکثر ایستگاه‌های موردمطالعه افزوده خواهد شد. **خزائی و همکاران (۱۳۹۸)** با استفاده از مدل HadGEM2 به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در حوضه سیرا پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره آینده بارش کاهش و دما افزایش می‌یابد. **حیدری و همکاران(۱۳۹۸)** چشم‌انداز تغییرات بارش را در منطقه شمال غرب با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای RCP مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داده که بیشتر مدل‌ها برای دوره‌های آینده افزایش بارش را پیش-بینی می‌کنند. **کثیری و همکاران (۱٤۰۰)** به پیش‌نگری تغییرات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از سناریوهای مختلف واداشت تابشی پرداختند. نتایج نشان داد بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تا پایان قرن ۲۱ نسبت به دورهٔ پایه به‌طور متوسط ۵/۷ درصد افزایش خواهد یافت.

جمع‌بندی پیشینه تحقیق نشان داد که بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم در ایران و در منطقه شمال غرب با استفاده از برونداد مدل‌های گزارش سوم (CMIP3) و یا گزارش پنجم (CMIP5) و داده‌های این مدل‌ها صورت گرفته است و بررسی بارش به‌صورت جامع و با استفاده از مدل‌های گزارش ششم CMIP6 صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش درستی سنجی مدل‌های متداول و پرکاربرد گزارش ششم در دسترس با استفاده از متداول‌ترین سنجه‌های آماری بررسی شد و تغییرات بارش در شمال غرب ایران در دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۲۱) با استفاده از خروجی مدل منتخب با کمترین میزان خطا تحت سناریوهای مختلف SSP پیش‌نگری گردید.

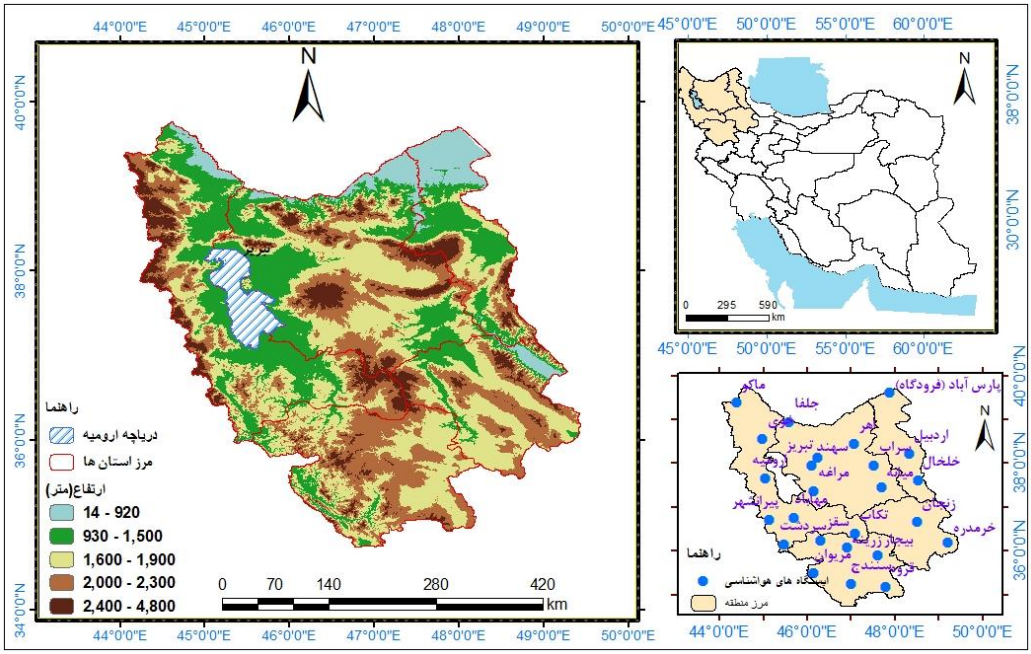
با توجه به آن که منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارند، بررسی تغییرات بارش در سال‌های آینده می‌تواند راهگشای معضلاتی همچون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد.

## ۲- داده‌ها و روش‌شناسی

### ۲-۱- منطقه موردمطالعه

محدوده موردمطالعه این پژوهش، شمال غرب ایران است که از عرض جغرافیایی ۳٤ درجه و ٤٤ دقیقه الی ۳۹ درجه و ٤۷ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ٤٤ درجه و ۵ دقیقه الی ٤۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و شامل استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و کردستان است. جهت بررسی از داده‌های بارش ۲۵ ایستگاه همدیدی به‌صورت روزانه، با توزیع مناسب و دارای دوره آماری بلندمدت

(۲۰۱٤-۱۹۸۵)، حداقل سی‌ساله در سطح منطقه موردمطالعه استفاده گردید که موقعیت جغرافیـایی آن‌هـا در شکل (۱) آورده شده است.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی موردبررسی**

### ۲-۳- مدل جهانی (GCM) و سناریوهای موردبررسی

در این پژوهش از داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید شمال غرب کشور به‌صورت روزانه در دوره آماری بلندمدت و متناسب با دوره تاریخی مدل‌های جهانی (۲۰۱٤-۱۹۸۵) استفاده شد که از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. جهت بررسی تغییرات بارش در دوره‌های آینده موردبررسی (۲۱۰۰-۲۰۲۱)، ابتدا ۷ مدل GCM از CMIP6 که دارای داده‌های بارش با وضوح‌بالا بودند انتخاب شدند. مشخصات مدل‌های موردبررسی در جدول (۱) آورده شده است. داده‌های بارش مدل‌های مذکور از مرکز ESGF[1] دانلود گردید. سپس مقادیر بارش مشاهداتی و تاریخی برای هر یک از ایستگاه‌های موردمطالعه با تهیه برنامه در محیط MATLAB2020 با استفاده از نزدیک‌ترین گرید داده‌های GCMs در دوره پایه (۲۰۱٤-۱۹۸۵) استخراج گردید. سپس از روش تصحیح اریبی یا روش مقیاس کاهی خطی جهت ریزگردانی داده‌ها استفاده گردید. در ادامه اختلاف بین مقادیر بارش مشاهداتی و تاریخی با استفاده از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا

1 https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/

(RMSE[1])، میانگین مطلق خطا (MAE[2]) و ضریب تعیین (Rsqrt) ارزیابی گردید. پس از ارزیابی مدل‌های مختلف GCM، با استفاده از بهترین مدل، تغییرات بارش در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سه سناریوی واداشت اجتماعی- اقتصادی (SSP) پیش‌نگری گردید و تغییرات آن در دوره آینده نسبت به دوره پایه محاسبه گردید. دلیل انتخاب مدل‌های مذکور از مجموعه مدل‌های CMIP6 اعتبار، دقت و در دسترس بودن سناریوهای موردنیاز جهت مطالعه است. پنج سناریوی SSP از SSP1 تا SSP5 وجود دارد که به ترتیب نشان‌دهنده گذر از جاده سبز، وسط جاده، جاده سنگی، جاده تقسیم شده و گرفتن بزرگراه است. کمیت‌های SSPبر اساس تلاش مشترک بین IAV و جامعه IAM ساخته شده است. سناریوهای موردمطالعه در این پژوهش یعنی SSP126، SSP265 و SSP585 نشان‌دهنده انتهای پایین محدوده مسیرهای اجباری آینده، انتهای متوسط تا بالا محدوده مسیرهای اجباری آینده و انتهای بالای محدوده آینده هستند (**زهرائی و حسینی، ۱۳۹۹**). در ادامه با استفاده از آزمون آماری من کندال و تخمینگر شیب سن، روند و شیب تغییرات بارش در منطقه شمال غرب کشور مشخص گردید.

**جدول ۱- مشخصات مدل‌های CMIP6 موردبررسی در این پژوهش**

| ردیف | مدل | موسسه/ کشور | قدرت تفکیک |
|---|---|---|---|
| ۱ | MRI-ESM2-0 | موسسه تحقیقات جوی، ژاپن | ۱/۱×۱ |
| ۲ | MPI-ESM1-2-LR | موسسه ماکس پلانک، آلمان | ۰/۹×۰/۹ |
| ۳ | GFDL-ESM4 | آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک سیالات، ایالات‌متحده | ۱/۲۵×۱ |
| ٤ | MIROC6 | موسسه تحقیقات جو و اقیانوس‌شناسی و موسسه ملی مطالعات محیطی، ژاپن | ۱/٤×۱/٤ |
| ٥ | MIROC-ES2L | | ۲/۸×۲/۸ |
| ٦ | FGOALS-g3 | موسسه فیزیک جو، چین | ۱×۱ |
| ۷ | CanESM5 | مرکز تحلیل و مدل‌سازی اقلیمی، کانادا | ۱/۱×۱/۱ |

**منبع:** ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)

### ۲-٤- مقیاس کاهی

جهت مقیاس کاهی داده GCMs از روش مقیاس کاهی خطی استفاده گردید. مقیاس کاهی بر اساس میانگین تفاوت بین سری‌های زمانی مشاهده شده ماهانه و سری‌های زمانی دوره تاریخی GCM/RCM در همان دوره از سری زمانی مشاهده شده است. سپس این تفاوت‌ها برای داده‌های آب‌وهوایی شبیه‌سازی شده برای دریافت متغیرهای آب‌وهوایی با اریبی اصلاح شده اعمال می‌شوند (شرستا و همکاران،۲۰۱۵). رویکرد

1 root-mean-square error
2 mean absolute error

مقیاس بندی خطی (LSBC)[1] با مقادیر اصلاح شده ماهانه بر اساس تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عمل می‌کند. داده‌های بارش با ضریبی بر اساس نسبت میانگین بلندمدت ماهانه داده‌های مشاهداتی و داده‌های کنترل اصلاح می‌شود. در این حالت شرط بر این است که ضرایب تصحیح اعمال شده و افزوده‌ها حتی برای شرایط آتی نیز بدون تغییر باقی می‌مانند (توچباین و همکاران،۲۰۱۲).

$$P_{contr}^{BC}(t) = P_{contr}(t).\left[\frac{\mu_{m\,P_{obs}(t)}}{\mu_{m\,P_{contr}(t)}}\right] \quad (۱)$$

$$P_{frc}^{BC}(t) = P_{frc}(t).\left[\frac{\mu_{m\,P_{obs}(t)}}{\mu_{m\,P_{contr}(t)}}\right] \quad (۲)$$

در روابط بالا، P بارش است؛ contr تعداد سری‌های شبیه‌سازی شـده GCM در طـول دوره کنتـرل، obs دوره زمانی مشاهداتی frc سرس زمانی پیش‌نگری شده آینده است که باید اریبی آن حذف شـود؛ BC سـری زمانی پیش‌نگری شده آینده است که اریبی آن حذف شده است، t گام زمانی و $\mu_m$ میانگین بلندمدت ماهانه است (منذر و همکاران،۲۰۲۰). با اعمال روش مقیاس کاهی بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده عملکـرد مـدل در شبیه‌سازی بلندمدت متغیر بارش به مقدار زیادی افزایش می‌یابد.

**۲-۵- آزمون ناپارامتریک آماری من کندال**

آزمون ناپارامتری من- کندال که توسط من در سال ۱۹٤٥ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ تکمیل گردید، بر پایه‌ی مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۰). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی در آیند. فرض موردبررسی در این آزمون به‌صورت زیر می‌باشد:

$H_0$: داده‌ها به‌صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

$H_1$: داده‌ها دارای روند هستند.

در این آزمون، اگر $x_1,x_2,\ldots,x_n$ مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

1 Linear Scaling Bias Correction

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right) \qquad (۳)$$

که رابطه فوق $x_j$ مقدار داده j ام و sgn تابع علامت می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad \left(x_j-x_k\right)>0\\ 0 & if \quad \left(x_j-x_k\right)=0\\ -1 & if \quad \left(x_j-x_k\right)<0\end{cases} \qquad (٤)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود؛ در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها درمجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها (Rank base) می‌باشد. با فرض این‌که داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E(S)=0 \qquad (۵)$$

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t_i\left(t_i-1\right)\left(2t_i+5\right)}{18} \qquad (٦)$$

در رابطه بالا:

n: تعداد داده‌ها، m: تعداد گره‌ها و t: تعداد داده در هر گره می‌باشد.

منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m ام برابر t می‌باشد.

آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S>0\\ 0 & if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S<0\end{cases} \qquad (۷)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین درصورتی‌که $|Z|\le Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر

(وجود روند)، درصورتی‌که S>0 باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و درصورتی‌که S<0 باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. اگر $|Z| > 1.64$ در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، اگر $|Z| > 1.96$ در سطح معنی‌داری ۵ درصد و اگر $|Z| > 2.57$ در سطح معنی‌داری ۱ درصد فرض صفر (عدم وجود روند) رد می‌شود (کندال، ۱۹۷۵).

### ۲-٦- تخمین‌گر شیب سن[1]

تخمین شیب خط روند توسط سن (۱۹٦۸) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد. این روش یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌ای یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد. در آزمون من- کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌گردد.

$$\beta = Median\left[\frac{X_j - X_i}{j - i}\right] (\forall j > i) \tag{۸}$$

که در آن $\beta$ برآوردگر شیب خط روند، $X_i$ و $X_j$ به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام j ام می‌باشند و $j$ یک واحد زمانی بعد از $i$ می‌باشد مقادیر مثبت و منفی $\beta$ نشان دهنده روند افزایشی و کاهشی در سری داده-هاست (سن، ۱۹٦۸).

### ۲-۷- ارزیابی و صحت سنجی عملکرد مدل‌ها

پس از استخراج خروجی مدل‌ها برای صحت سنجی آن‌ها از سنجه‌های متداول آماری استفاده شد که در ادامه شرح مختصری از این شاخص‌ها آورده شده است. در رابطه (۹) که تحت عنوان ضریب تعیین (Rsqrt) شناخته می‌شود معیاری بدون بعد است و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد (**صداقت‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷**: ٦۷). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود این معیار که به‌صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود به‌عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار می‌رود (لین و همکاران، ۲۰۰٦). میانگین مطلق خطا (MAE) برای

1 Sen's Slope Estimator

مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به‌صورت رابطه (۱۱) ارائه می‌گردد (هو و همکاران، ۲۰۰۱).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} X_o{}^2 \sum X_s{}^2}} \quad (۹)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (۱۰)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N} |X_o - X_s|}{N} \quad (۱۱)$$

در روابط فوق $X_o$ داده‌های مشاهداتی، $X_s$ داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{X}_o$ میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد داده‌ها می‌باشد.

**۳- نتایج و بحث**

نتایج به دست آمده از اعمال آزمون من-کندال و تخمینگر شیب سن بر روی داده‌های بارش سالانه در دوره آماری پایه (۲۰۱٤-۱۹۸۵) در ایستگاه‌های موردمطالعه نشان می‌دهد که بارش در ایستگاه‌های اردبیل، پارس‌آباد، خوی، جلفا، زنجان، سراب، سردشت و ماکو دارای روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است. بر اساس آزمون من کندال روند افزایشی بارش در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های موردمطالعه معنی‌دار نشده است و تغییرات مذکور از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب‌وهوایی در منطقه می‌باشد؛ اما روند کاهشی در ایستگاه‌های سنندج و مراغه در سطح ۰/۰۱ درصد و در ایستگاه‌های سهند و مریوان در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار شده است و حاکی از تغییرات کاهشی بارش در ایستگاه‌های مذکور است. بیشترین شیب تغییرات کاهشی نیز مربوط به ایستگاه مریوان با شیب سن برابر ۱۹/۲- است. بیشترین شیب تغییرات افزایشی نیز مربوط به ایستگاه سردشت با ٤/٥ است. درمجموع تغییرات کاهشی بارش در منطقه موردمطالعه بیشتر از تغییرات افزایشی است. (جدول ۲).

**جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون‌های آماری بر روی سری‌های بارش سالانه ایستگاه‌های موردمطالعه**

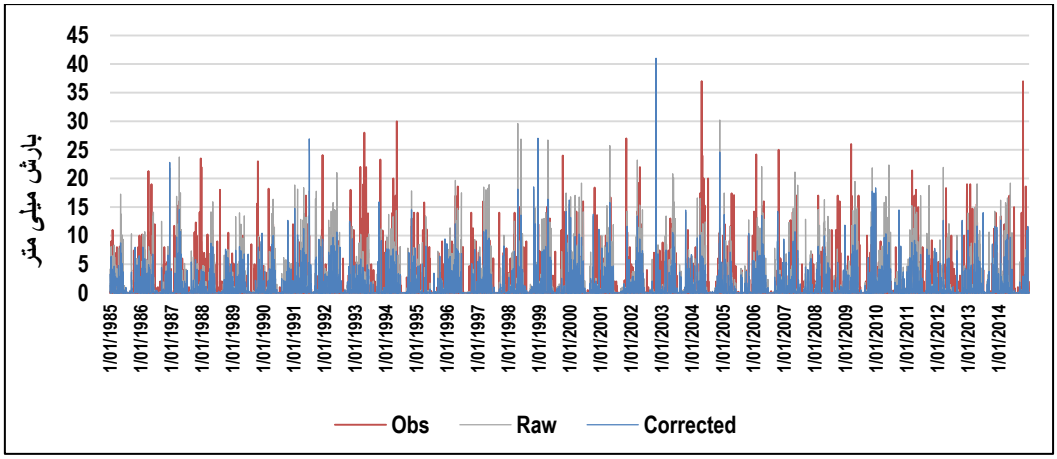
| ردیف | ایستگاه | ضریب من کندال | شیب سن | ردیف | ایستگاه | ضریب من کندال | شیب سن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | اردبیل | ۰/۲۹ | ۰/۳۰ | ۱٤ | زرینه | -۰/۹۳ | -۲/۳۱ |
| ۲ | ارومیه | -۰/۲۹ | -۰/٤٥ | ۱٥ | زنجان | ۰/٥٤ | ۰/۸٥ |
| ۳ | اهر | -۱/۱٤ | -۱/۱۸ | ۱٦ | سراب | ۱/٤٤ | ۲/۰۹۷ |
| ٤ | بیجار | -۰/۹۷ | -۱/٤٥ | ۱۷ | سردشت | ۰/۷۳ | ٤/٥ |
| ٥ | پارس‌آباد | ۰/۸۲ | ۱/۰۳ | ۱۸ | سقز | -۱/٦۸ | -٤/٤٦ |
| ٦ | پیرانشهر | -۰/۲۸ | -۰/۷٦ | ۱۹ | **سنندج** | -**۳/۳۲ | -٦/۲۹ |
| ۷ | تبریز | -۰/۱۸ | -۰/۲۸ | ۲۰ | **سهند** | -*۲/۰۳۲ | -۲/۰۳۹ |
| ۸ | تکاب | -۱/۳۷ | -۲/۸۹ | ۲۱ | قروه | -۰/۷٥ | -۱/۳۲ |
| ۹ | جلفا | ۱/٥۸ | ۲/۳۰ | ۲۲ | ماکو | ۱/۱۱ | ۲/۰٦ |
| ۱۰ | خرمدره | -۰/۲۱ | -۰/٦٦ | ۲۳ | **مراغه** | -**۲/۸۹ | -٥/۷۹ |
| ۱۱ | خلخال | -۰/۸٥ | -۱/٥۳ | ۲٤ | **مریوان** | -*۲/۳۲ | -۱۹/۱۷ |
| ۱۲ | خوی | ۰/٤۳ | ۰/۷٦ | ۲٥ | مهاباد | -۰/۹۳ | -۲ |
| ۱۳ | میانه | -۰/٦۹ | -۰/۷٦ | | | | |

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد *معنی‌داری در سطح ۰/۰٥ درصد

توزیع فضایی تغییرات بارش نیز بر اساس آزمون من کندال و تخمینگر شیب سن نشان می‌دهد که به‌جز نواحی شمالی منطقه مورد و منطقه ارسباران و همچنین مناطقی به‌صورت پراکنده در شرق و غرب منطقه در سایر مناطق بارش دارای روند کاهشی است که بیشترین تغییرات آن نیز مربوط به نواحی جنوبی و جنوب غربی منطقه موردمطالعه و همچنین جنوب شرق دریاچه ارومیه است.

در این پژوهش، ۷ مدل GCMs مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از اصلاح اریبی به روش LSBC به ارزیابی عملکرد مدل‌ها، به بررسی داده‌های بارش مشاهداتی و تاریخی مدل‌ها در دوره پایه (۲۰۱٤-۱۹۸٥) پرداخته شد. نمونه‌ای از اصلاح اریبی بر روی داده‌های بارش ایستگاه تبریز در شکل (۳) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های بارش دارای عدم قطعیت زیادی است لذا انجام عمل اصلاح اریبی توانسته است به میزان زیادی عملکرد مدل را در شبیه‌سازی بلندمدت بارش در منطقه موردمطالعه افزایش دهد. با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌ها و نمودارهای حاصل، فقط خروجی ایستگاه تبریز به‌صورت نمودار در این بخش ارائه گردید. برای مطالعه بیشتر می‌توان به مطالعات شرستا[1] (۲۰۱٥) و تتچبین[2] (۲۰۱۲) در این زمینه مراجعه کرد.

1 Shrestha
2 Teutschbein



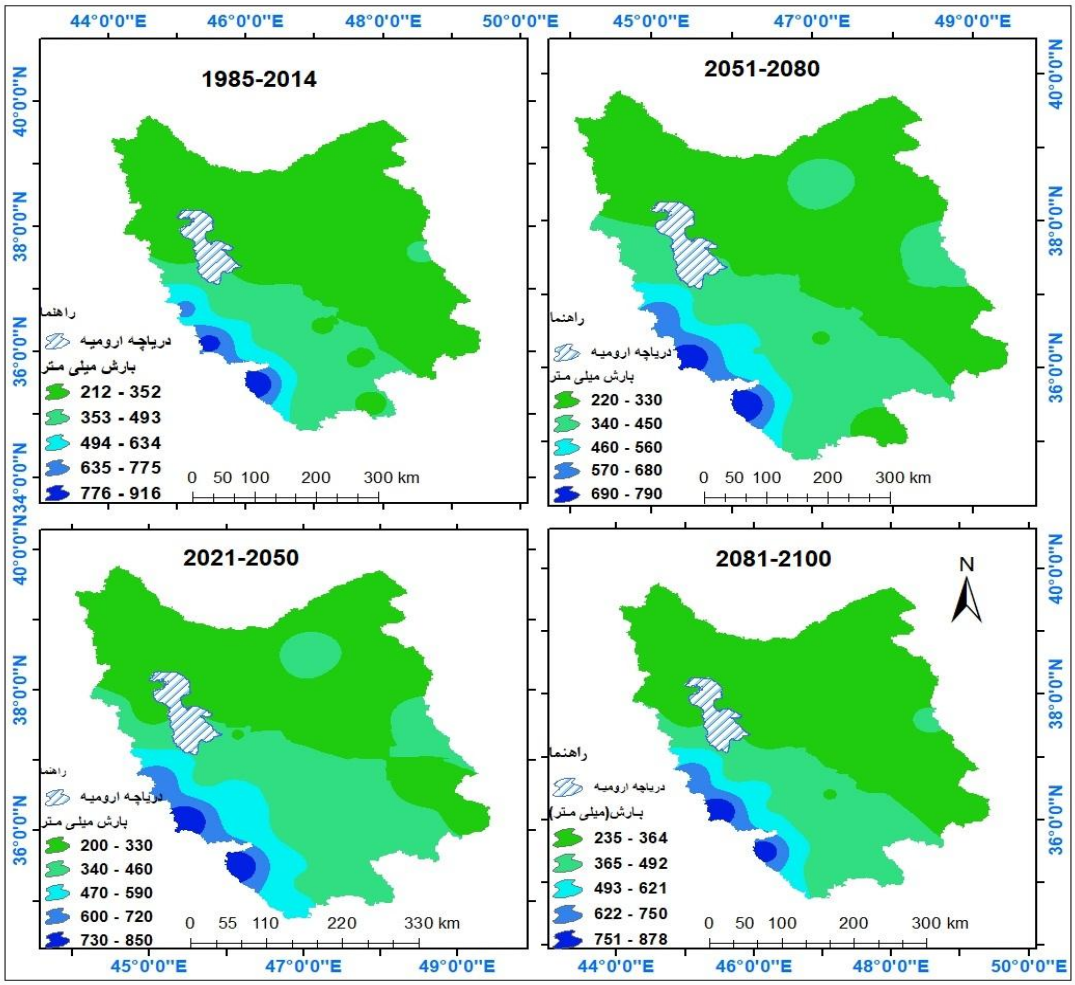

**شکل ۳- مقادیر مشاهداتی، تاریخی و اصلاح شده بارش در ایستگاه تبریز در دوره پایه (۲۰۱٤-۱۹۸۵)**

پس از مقیاس کاهی به نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از شاخص مختلف در ایستگاه‌های موردمطالعه پرداخته شد. نتایج نشان داد دقت اکثر مدل‌های موردبررسی در مناطق کم بارش و پربارش منطقه موردمطالعه کمتر از مناطق دیگر است و می‌توان بیان کرد تغییرات زیاد بارش، توپوگرافی و سیستم‌های جوی مختلف از مهم‌ترین دلایل افزایش خطا در برخی ایستگاه‌ها و مناطق موردمطالعه است. با این وجود برخی از مدل‌ها به‌طور رضایت بخشی مقادیر بارندگی‌های منطقه را شبیه‌سازی می‌کنند؛ اما نمی-توانند الگوی بارش را به‌طور دقیق شبیه‌سازی کنند. درمجموع و بر اساس مقادیر $R^2$ مدل MPI-ESM1-2-LR در بیشتر پهنه موردمطالعه از دقت بالاتری جهت شبیه‌سازی بارش برخوردار است. میزان متوسط $R^2$ این مدل با داده‌های بارش مشاهداتی در منطقه موردمطالعه برابر با ۰/۸٦ و میزان RMSE آن نیز برابر با ۱۹/۷ است. نتایج رتبه‌بندی عملکرد مدل‌های موردبررسی در شبیه‌سازی بارش شمال غرب کشور در جدول ۳ آورده شده است. پس از مدل MPI-ESM1-2-LR دو مدل MIROC-ES2L و MIROC6 هر دو با ضریب تعیین برابر با ۰/۸۵ بهترین مدل‌های CMIP6 برای پیش‌نگری بارش در منطقه موردمطالعه هستند. همچنین مدل‌های MIROC-ES2L و FGOALS-g3 در حد متوسط هستند. مدل CanESM5 نیز با $R^2$ برابر با ۰/٤۹، ضعیف-ترین عملکرد را در بین مدل‌های موردبررسی جهت شبیه‌سازی بارش در منطقه موردمطالعه داشته است. بر اساس شاخص RMSE و MAE نیز مدل MPI-ESM1-2-LR بهترین عملکرد را در بین مدل‌های موردبررسی داشته است ولی در برخی مناطق دارای کم برآوردی و در برخی مناطق دیگر دارای بیش برآوردی بوده است. بر اساس دو شاخص مذکور نیز مدل FGOALS-g3 با RMSE برابر با ٤۰/۳ و MAE برابر با ۳۲/۸ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است.

**جدول ۳- رتبه‌بندی مدل‌های CMIP6 جهت شبیه‌سازی بارش بر اساس میانگین سنجه‌های خطاسنجی**

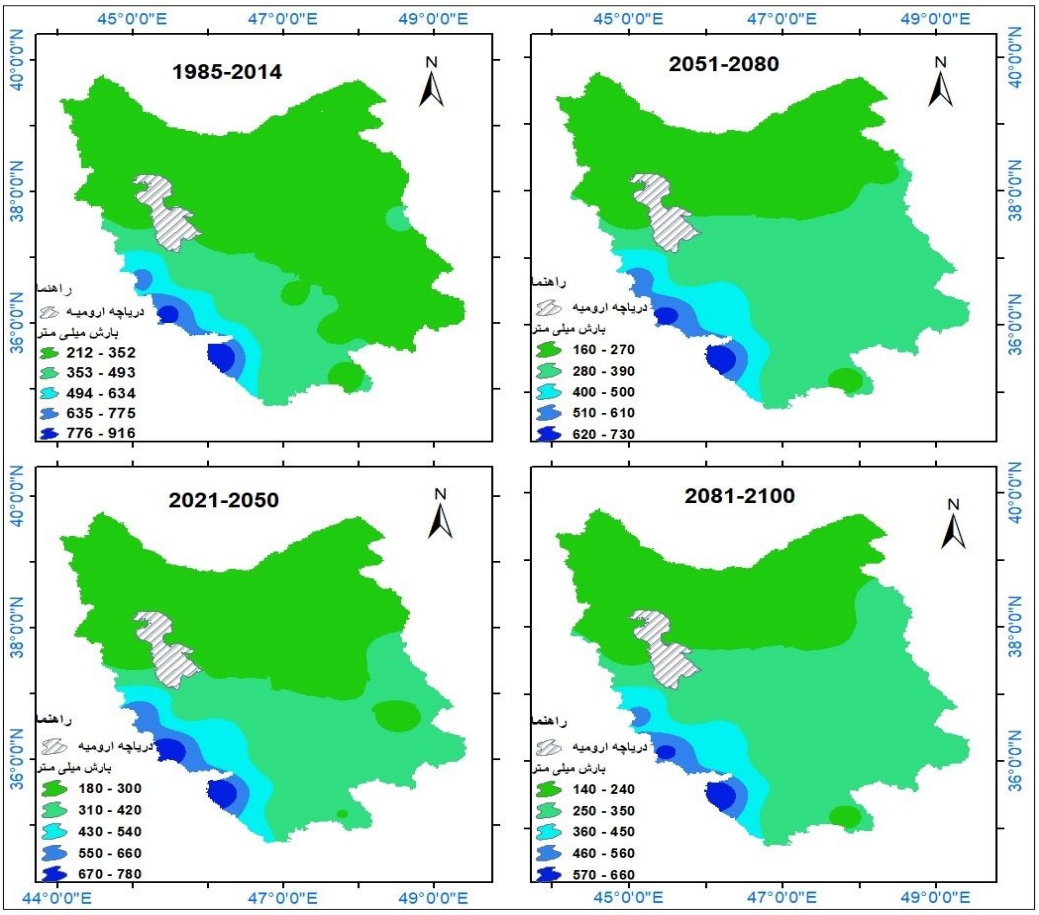
| ردیف | مدل | ضریب تعیین | مجذور میانگین مربعات خطا | میانگین مطلق خطا |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | MPI-ESM1-2-LR | ۰/۸٦ | ۱۹/۷۱ | ۱۵/۱۰ |
| ۲ | MIROC-ES2L | ۰/۸۵ | ۲۲/۷۵ | ۱۹/۱٤ |
| ۳ | MIROC6 | ۰/۸۵ | ۲۸/۰۵ | ۲۲/۸۹ |
| ٤ | MRI-ESM2-0 | ۰/۸۲ | ۳۷/۱٤ | ۲۹/۸٤ |
| ۵ | FGOALS-g3 | ۰/٦۵ | ٤۰/۳۲ | ۳۲/۷٦ |
| ٦ | GFDL-ESM4 | ۰/۵۳ | ۳٦/۵۸ | ۲۸/۸۹ |
| ۷ | CanESM5 | ۰/٤۹ | ۲۵/۹۱ | ۲۰/۳۹ |

پس از انتخاب بهترین مدل با بهترین عملکرد در شبیه‌سازی بارش منطقه موردمطالعه یعنی مدل MPI-ESM1-2-LR، به پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل مذکور در دوره‌های آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) براساس سه سناریوی موردبررسی پرداخته شد. نتایج نشان داد که بر اساس سناریوی SSP1-2.6 بارش در منطقه موردمطالعه در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بین ۲۰۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر خواهد بود که نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط ۳/۲ درصد (۱۱/۷ میلی‌متر) در منطقه افزایش نشان می‌دهد. در دو دوره دیگر نیز (۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) میزان بارش به‌طور متوسط به ترتیب ۰/۰٦ و ٤/٦ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که نسبت به دوره قبلی کاهش زیادی را نشان می‌دهد. بر اساس توزیع فضایی بارش در دوره‌های آینده در هر سه دوره موردبررسی بیشترین تغییرات افزایشی مربوط به بخش‌هایی شمالی منطقه موردمطالعه یعنی منطقه جنگلی‌های ارسباران است که می‌تواند به دلیل پوشش جنگلی منطقه، نزدیکی به منابع آبی و همچنین توپوگرافی منطقه باشد. در سایر مناطق موردمطالعه میزان بارش کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین میزان آن مربوط به نواحی جنوب غربی منطقه موردمطالعه می‌باشد که جزو مناطق پربارش در منطقه موردمطالعه نیز هستند. درمجموع میزان بارش بر اساس سناریوی SSP1-2.6 در هر سه دوره آینده نسبت به دوره پایه در منطقه موردمطالعه افزایش پیدا خواهد کرد که میزان آن به‌طور متوسط در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ برابر با ۲/٦ درصد خواهد بود (شکل ۵).



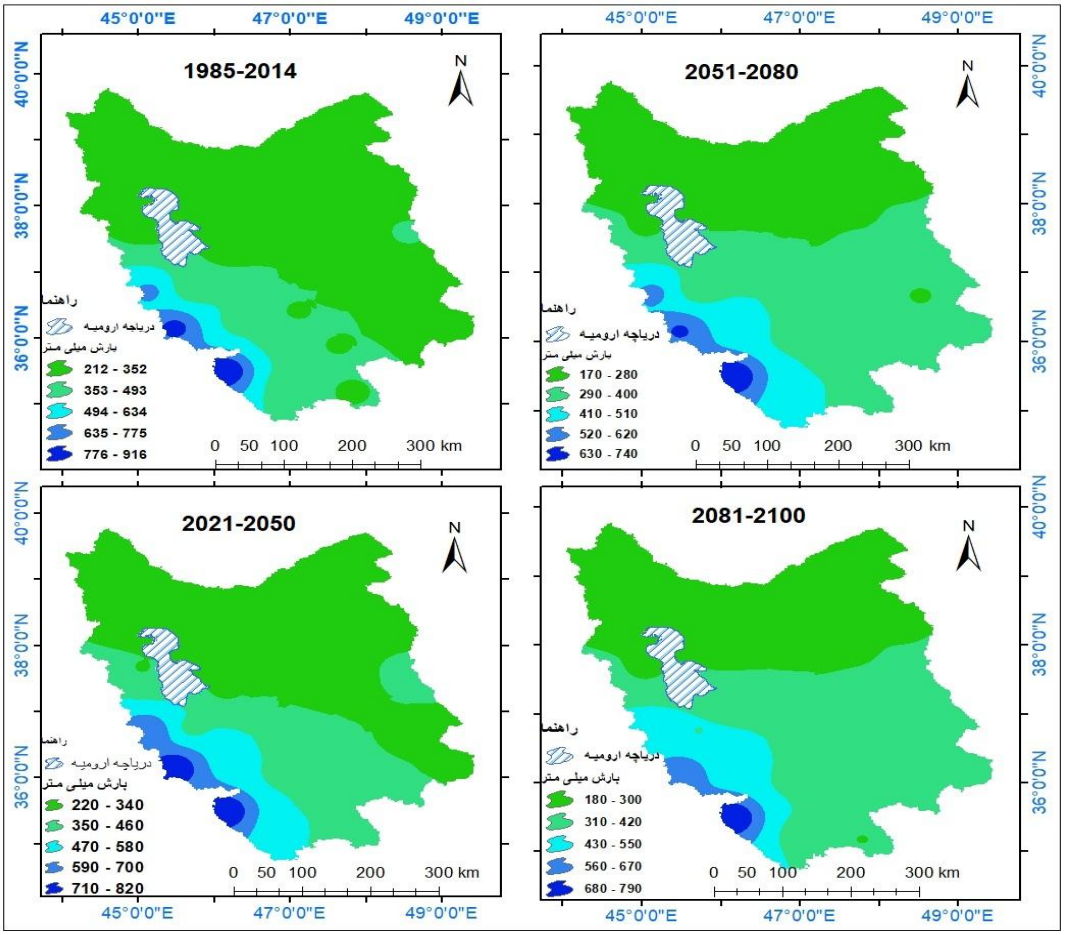

**شکل ۵- توزیع فضایی بارش در منطقه شمال غرب کشور بر اساس سناریوی SSP1-2.6 در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه**

توزیع فضایی مقادیر بارش بر اساس سناریوی SSP3-7.0 نشان داد که بارش در منطقه موردمطالعه در سه دوره آینده موردبررسی (۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) به ترتیب، ۲۹/۸، ٤۸/۸ و ۸۲/۳ میلی‌متر کاهش خواهد یافت که نسبت به دوره پایه به ترتیب ۸/۱، ۱۳/۲ و ۲۲/۳ درصد کاهش را نشان می‌دهد. کمترین تغییرات کاهشی حاصل مربوط به نواحی شمالی منطقه و بیشترین تغییرات مربوط به نواحی جنوب غربی منطقه است. درمجموع با وجود تغییرات در برخی مناطق، میزان بارش با حرکت از شمال به جنوب منطقه موردمطالعه کاهش پیدا خواهد کرد که این میزان کاهش در سطح منطقه در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط برابر با ١٤/٥ درصد خواهد بود (شکل ٦).



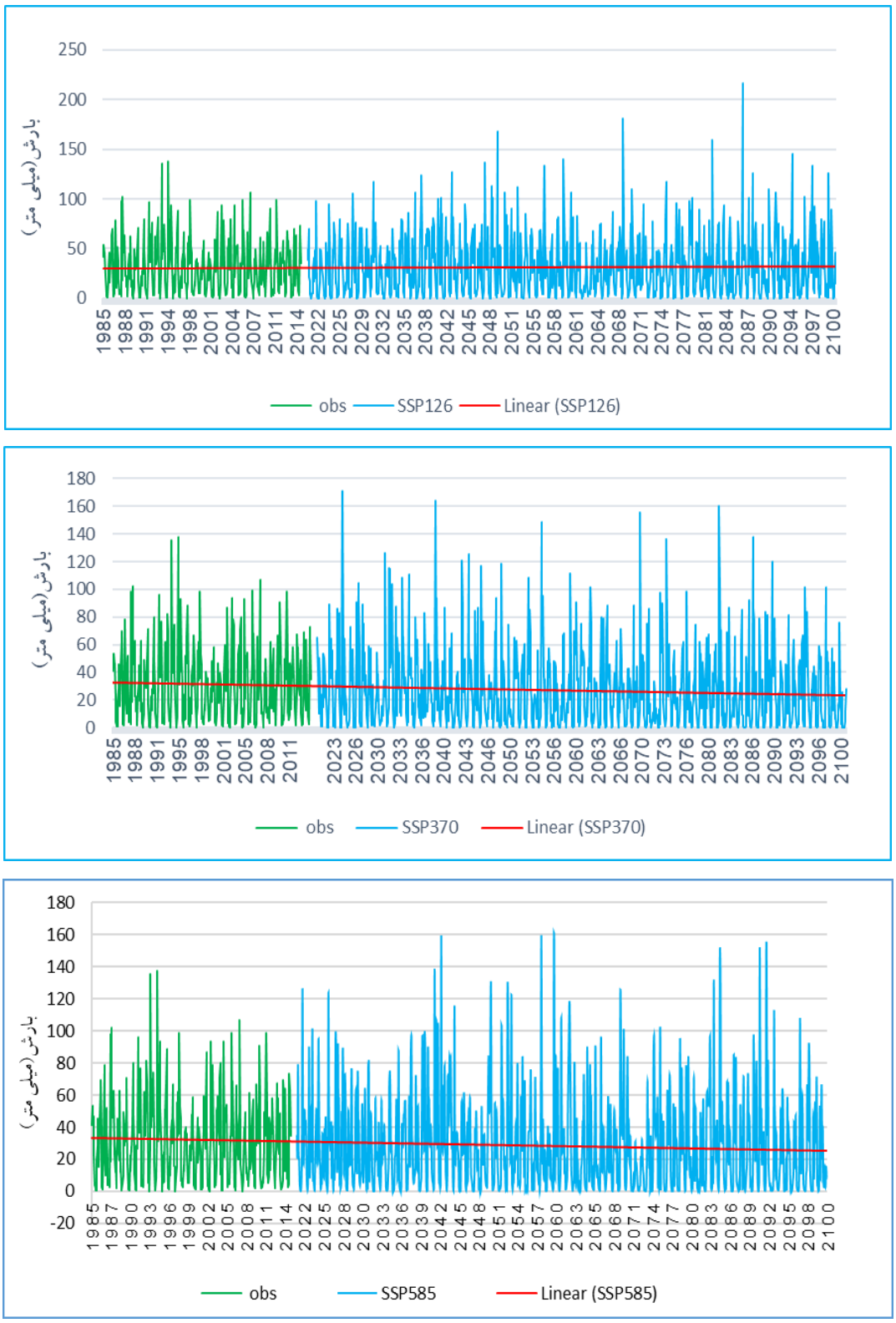

**شکل ٦- توزیع فضایی بارش در منطقه شمال غرب کشور بر اساس سناریوی SSP3-7.0 در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه**

توزیع فضایی مقادیر بارش بر اساس سناریوی SSP5-8.5 نیز نشان داد که بارش در منطقه موردمطالعه در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) بین ۲۲۰ تا ۸۲۰ میلی‌متر خواهد بود که نسبت به دوره پایه ۳/۸ درصد (۱٤/۱میلی‌متر) افزایش خواهد داشت؛ اما در دو دوره دیگر نیز (۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) میزان بارش به‌طور متوسط در منطقه موردمطالعه به ترتیب، ۱۰/۲ و ٤/٥ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. بیشترین تغییرات افزایشی و کاهشی در پهنه موردمطالعه نیز همچون دو سناریوی قبلی به ترتیب مربوط به نواحی شمالی و جنوب غربی منطقه خواهد بود. درمجموع میزان بارش در پهنه موردمطالعه بر اساس این سناریو در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه ۳/٦ درصد کاهش پیدا خواهد کرد (شکل ۷).




**شکل ۷- توزیع فضایی بارش در منطقه شمال غرب کشور بر اساس سناریوی SSP5-8.5 در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه**

درمجموع بر اساس نتایج حاصل از بررسی سناریوهای مختلف به‌جز سناریوی SSP1-2.6 روند بارش در دوره‌های موردبررسی در منطقه موردمطالعه کاهشی است و بیشتر تغییرات به مناطق پربارش منطقه موردمطالعه اختصاص دارد. تغییرات افزایشی در برخی مناطق موردمطالعه نیز می‌تواند ناشی از نزدیکی به منابع آبی و مسیر رطوبت دریای سیاه و مدیترانه و یا کوهستانی بودن و پوشش گیاهی و جنگلی آن منطقه باشد. مقایسه سناریوهای مختلف نیز نشان می‌دهد که سناریوی SSP3–7.0 تغییرات کاهشی بیشتری نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهد و برعکس سناریوی SSP1–2.6 تغییرات کمتری را نشان می‌دهد که ناشی از ویژگی‌هایی است که هر یک از سناریوها به نمایش می‌گذارند (شکل ۸).




**شکل ۸- روند تغییرات بارش در منطقه شمال غرب کشور بر اساس سناریوهای مختلف تا پایان قرن ۲۱**

**٤- نتیجه‌گیری**

پیش‌نگری تغییرات بارش برای اطلاع از میزان تغییرات آن در آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات آب‌وهوایی بر منابع آبی و کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. اهمیت پیش‌نگری بارش زمانی آشکارتر است که در جایگاه‌های جغرافیایی ریزش ناچیز یا قابل‌توجه و یا ناگهانی حجم زیادی از بارش رخ دهد. لذا با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی ۷ مدل GCMs از CMIP6 در شبیه‌سازی بارش و همچنین پیش‌نگری تغییرات بارش در منطقه شمال غرب کشور تحت سه سناریوی واداشت اجتماعی- اقتصادی (SSPs) در سه دوره زمانی آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۸۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱٤-۱۹۸۵) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM موردبررسی با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که مدل MPI-ESM1-2-LR در منطقه موردمطالعه از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها جهت شبیه‌سازی بارش برخوردار است؛ بنابراین بر با استفاده از داده‌های مدل MPI-ESM1-2-LR و سناریوهای آن اقدام به پیش‌نگری بارش گردید. نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات بارش نیز نشان داد که بارش بر اساس سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6 تا پایان قرن ۲۱ در سطح منطقه حدود ۲/٦ درصد نسبت به دوره پایه افزایش پیدا خواهد کرد. با این وجود به‌جز نواحی شمالی منطقه موردمطالعه در سایر پهنه‌های موردمطالعه میزان بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که بیشترین میزان کاهش آن نیز مربوط به نواحی پر بارش در جنوب غرب منطقه موردمطالعه است. به‌جز ایستگاه‌های مریوان، ارومیه و تبریز و زرینه در سایر ایستگاه‌ها افزایش بارش معنی‌دار شده است که بیشترین افزایش در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ درصد مربوط به ایستگاه اردبیل می‌باشد؛ اما بر اساس سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 میزان بارش تا پایان قرن ۲۱ به ترتیب ۱٤/۵ و ۳/٦ درصد کاهش پیدا خواهد کرد و بیشترین کاهش آن نیز مربوط به نواحی جنوب غربی منطقه موردمطالعه است. بر اساس سناریوی SSP3-7.0 در بیشتر ایستگاه‌های موردمطالعه در منطقه بارش کاهشی و معنی‌دار شده است. بیشترین میزان کاهش بارش مربوط به ایستگاه‌های سردشت، خوی و جلفا می‌باشد که در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شده است. نتایج حاصل از سناریوی SSP5-8.5 تا پایان قرن ۲۱ نیز نشان داد که بارش در منطقه به‌جز ایستگاه میانه در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است و میزان این کاهش نسبت به سناریوی قبل اندکی بیشتر است. میزان این کاهش در مناطق غربی و جنوب غربی منطقه موردمطالعه در ایستگاه‌های سردشت، پیرانشهر، مهاباد، پارس‌آباد، ماکو، جلفا و خوی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شده است. نتایج حاصل با مطالعات مجدی و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر کاهش بارش در بیشتر مناطق خاورمیانه و شمال آفریقا بر اساس متوسط ۲۳ مدل GCM، مطالعه **حیدری و همکاران(۱۳۹۸)** بر مبنای بررسی مدل‌های گردش کلی جو و استفاده از سناریوهای RCP مبنی بر کاهش بارش در دوره‌های ( ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-

۲۰۸۰) و همچنین مطالعات **صلاحی و همکاران (۱۳۹۵)** مبنی بر کاهش ۸/۲ درصدی بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه مطابقت دارد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در مقابله با معضلاتی همچون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی و تخریب‌های زیست‌محیطی و همچنین مدیریت منابع آب، کشاورزی، انرژی و غیره استفاده نمود و می‌تواند در اتخاذ برنامه‌های لازم برای سازگاری با کم بارشی و کاهش پیامدهای تغییرات اقلیمی کمک نماید.

## کتابنامه


- حیدری تاشه کبود، شادیه؛ مفیدی، عباس؛ حیدری تاشه کبود، اکبر؛ ۱۳۹۸. چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای اقلیمی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۹، ۱۵۱-۱۳۳.
https://geoeh.um.ac.ir/article_33146.html
- خزائی، محمدرضا؛ تحسین‌زاده، نازیلا؛ شرافتی، احمد؛ ۱۳۹۸. تحلیل عدم قطعیت سناریوهای بارش و دمای حوضه سیرا تحت اثر تغییر اقلیم، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ٤٥، ٥١-٤٥.
https://jwmsei.ir/article-1-815-fa.html
- محمد خورشید دوست، علی؛ ساری صراف، بهروز؛ قرمز چشمه، باقر؛ جعفرزاده، فاطمه؛ ۱۳۹۷. پیش‌بینی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره ١٤٠٨ - ۱۳۸۹. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ٤٢، ١٢٩-١٢١.
https://www.sid.ir/paper/134751/fa
- زهرائی، اکبر؛ حسینی، سید اسعد؛ ۱۳۹۹. تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب، چاپ اول، انتشارات هاوار، ایلام.
https://www.gisoom.com/book/
- ذهبیون، باقر؛ گودرزی، محمدرضا؛ مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۸۹. کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۱و ۲، ٥٨-٤٣.
https://www.sid.ir/paper/213097/fa
- شائمی، اکبر؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ ۱۳۸۸. گرمایش جهانی و پیامدهای زیستی اکولوژیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. https://www.gisoom.com/book/
- صداقت‌کردار، علی؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۱، ٧٦-٥٩. https://ensani.ir/fa/article/
- صلاحی، برومند؛ گودرزی، مسعود؛ حسینی، سید اسعد؛ ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ٤، ٤٣٨-٤٢٥.
https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107179
- عزیزی، قاسم؛ ۱۳۸۳. تغییر اقلیم. تهران، نشر قومس. https://www.gisoom.com/book/
- عزیزی، قاسم؛ صفرزاد، طاهر؛ محمدی، حسین؛ حسنعلی، فرجی سبکبار؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی شده بارش جهت استفاده در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٤٨ (۱)، ٤٩-٣٣.
https://ensani.ir/fa/article/352223

- کثیری، مریم؛ گودرزی، مسعود؛ جانبازقبادی، غلامرضا؛ متولی، صدرالدین؛ ۱٤۰۰. پیش‌نگری تغییرات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تا پایان قرن ۲۱ با استفاده از سناریوهای مختلف واداشت تابشی. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۱ (٤۰)، ۱۱۸-۱۰۳. https://doi.org/10.30488/gps.2020.226852.3226
- مسعودیان، ابوالفضل؛ کیخسروی، محمدصادق؛ رعیت پیشه، فاطمه؛ ۱۳۹۳. معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه داده gpcc، gpcp، cmap، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۲، ۸۸-۷۳. https://www.sid.ir/paper/29987/fa

- Cheng, Q., Zhong, F., Wang, P., 2021. Potential linkages of extreme climate events with vegetation and large-scale circulation indices in an endorheic river basin in northwest China. Atmospheric Research, 247, 105256. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105256.
- Ferreira, R N., Nissenbaum, M R., Rickenbach, TH M., 2018. Climate change effects on summertime precipitation organization in the Southeast United States. Atmospheric Research, 214,348- 363. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.012.
- Horton, D.E., Johnson, N.C., Singh, D., Swain, D.L., Rajaratnam, B., Diffenbaugh, N.S., 2015. Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. Nature. 522 (7557), 465–469. https://www.nature.com/articles/nature14550,
- Hu, T.S., Lam, K.C., Ng, S.T., 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. Hydrological Science Journal, 46, 729-745. http://dx.doi.org/10.1080/02626660109492867.
- Jiang, J., Zhou, T., Chen, X., Zhang, L., 2020. Future changes in precipitation over Central Asia based on CMIP6 projections, Environ. Res. Lett, 15, 1-4. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d03.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London. https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2099295.
- Kay, A. L.; Davies, H. N.; Bell, V. A.; Jones, R. G. 2009 Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. Climatic Change, 92 (1-2). 41-63. http://dx.doi.org/10.1007/s10584-008-9471-4.
- Lin, J.Y., Cheng,C.T., Chau, K.W., 2006. Using support vector machines for long-term discharge prediction. Hydrological Science Journal, 51, 599-612. https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.599.
- Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Kaseri, M., Marjanian, S. 2022. Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. Theoretical and Applied Climatology, https://doi.org/10.1007/s00704-021-03916-2
- Mendez, M; Maathuis, B; Griggs, D.H; Gamboa, L. F.A., 2020. Performance Evaluation of Bias Correction Methods for Climate Change Monthly Precipitation Projections over Costa Rica. Water, 12, 482. http://dx.doi.org/10.3390/w12020482.
- Nilawar, A P., Waikar, M L., 2019. Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. Science of The Total Environment, 2. 2685-2696. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.334.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63,1379–1389. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1968.10480934.
- Shrestha, S., Shrestha, M., Babel, M.S., 2015. Modelling the potential impacts of climate change on hydrology of Indrawati River Basin in Nepal. Environmental Earth Science simulating climate extremes over China? Adv. Atmos. Sci., https://doi.org/10.1007/s00376-020-9289-1.

- Taylor, K.E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys. Res., 106, 7183-7192. http://dx.doi.org/10.1029/2000JD900719.
- Teutschbein, C., Seibert, J., 2012. Bias correcion of regional climate model simulation for hydrological climate-change impact studies: Review and evalutaion of different methods. J. Hydrology, 456-457. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052.
- Yang, X; Wood, E. F; Shefield, J; Ren, L; Zhang, M. and Wang, Y., 2018. Bias Correction of Historical and Future Simulations of Precipitation and Temperature for China from CMIP5 Models. Journal of Hydrometeorology. http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-17-0180.1.
- You, Q; Cai,Z; Wu, F; Jiang. Z; Repin,N; Shem, S,S.P., 2021. Temperature dataset of CMIP6 models over China: evaluation, trend and uncertainty. Climate Dynamics. http://dx.doi.org/10.1007/s00382-021-05691-2.
- Zhang, L. Hua and D. Jiang., 2020. Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang , China, Atmospheric and Oceanic Science Letters, https://doi.org/10.1016/j.aosl.2021.100128.
- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., Niitsoo, A., 2000. Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. Atmospheric Ocean, 38, 395-429. http://dx.doi.org/10.1080/07055900.2000.9649654.
- Zheng, Y.T., Han, J.C., Huang, Y.F., Fassnacht, S.R., Xie, S., Lv, E., Chen, M., 2017. Vegetation response to climate conditions based on NDVI simulations using stepwise cluster analysis for the Three-River Headwaters region of China. Ecol. Indic. 92, 18-29. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.040.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.195-216 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.76403.1219 Open access

# Investigating the Atmospheric Structure of the Von Phenomenon at the Time of Forest Fires in Northern Iran

**Faramarz Khoshakhlagh[a], Hasan Hajimohammadi[b], Hosein Koshky[C*]**

[a] *Associate Professor in Natural Geography,University of Tehran, Tehran, Iran*
[b] *PhD Candidate in Climatology,Tarbiat Modares University , Tehran, Iran*
*c PhD Candidate in Climatology, University of Tehran, Tehran, Iran*

***Received: 11 May 2022*** ***Revised: 16 June 2022*** ***Accepted: 22 June 2022***

## Abstract

In order to investigate the atmospheric mechanisms governing the occurrence of the Von phenomenon at the time of forest fires in northern Iran, four types of data were used in the research. So, changes in parameters such as temperature, pressure and wind were investigated. Networked data from the National Environmental Prediction / Atmospheric Science Centers (NCEP/NCAR) and the European Center for Medium-Term Atmospheric Prediction (ECMWF) were then used to explain the structure of the atmosphere. Modis sensor images were used to study the surface temperature of the earth and suspended airborne particle model was used to track air masses. It was found that during the studied period, the event of January 25-31, 2007 was one of the strongest and most pervasive phones that occured in the region. The results showed that by forming a high pressure cell located in the south of the country and a low pressure cell in the wind protection part of Alborz mountain, it has created a strong pressure gradient and caused the south current to affect the northern regions of Iran. Accordingly, during a static-dynamic process, a wind turbine rotational current has been formed in the Alborz mountain range wind turbine. Moreover, by the ascent of the air mass on the Alborz mountain range, its moisture discharge, the passage of the air over the mountain, and its flow in the region and the heatless heat, the hot and dry air mass entered the region which had been accompanied by strong winds affecting fire-prone areas. With an increase in wind speed and a positive temperature drop, a sudden jump and increase in temperature had taken place. Trackings also showed that the main source of flow entering the region is in the northern part of the Persian Gulf and northeastern Africa.

**Keywords:** Wind Phone, Fire, Pressure Gradient, Northern Iran, Synoptic

[*] .Corresponding author: Hosein Koshky Email: koshky_hosein@yahoo.com Tel:+989392896470

**How to cite this Article:** khoshakhlagh, F., HajiMohammadi, H., & koshky, H. (2024). Investigation of the atmospheric structure of the Von phenomenon at the time of forest fires in northern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 195-216.
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.76403.1219**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76403.1219
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۲۱۶-۱۹۵**

مقاله پژوهشی

# بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران

**فرامرز خوش‌اخلاق، دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران**
**حسن حاجی‌محمدی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران**
**حسین کوشکی[1]، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۱**

**چکیده**

درک درست ساختار جوی که سبب رخداد آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع می‌شوند با توجه به اهمیت این منابع طبیعی برای انسان عاملی بسیار مهم برای پیش‌بینی به‌موقع و انجام اقدامات لازم برای جلوگیری از به وجود آمدن خسارت جبران‌ناپذیر توسط این بلای طبیعی است. به‌منظور بررسی سازوکارهای جوی حاکم بر رخداد پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران از چهار نوع داده در تحقیق استفاده شد. ابتدا با اخذ داده‌های مربوط به آتش‌سوزی از اداره کل منابع طبیعی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان دوره موردنظر شناسایی گردید. در ادامه با دریافت داده‌های دیده‌بانی شده ایستگاه‌های هواشناسی واقع در دامنه‌های رو و پشت به باد رشته‌کوه البرز تغییرات پارامترهایی چون دما، فشار و باد بررسی شد. سپس از داده‌های شبکه‌بندی شده مربوط به مراکز ملی پیش‌بینی محیطی/ علوم جو (NCEP/NCAR) و مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جوی (ECMWF) برای تبیین ساختار جو استفاده شد. برای بررسی دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده مودیس و برای ردیابی توده‌های

۱نویسنده مسئول: ۰۹۳۹۲۸۹۶۴۷۰ Email:koshky_hosein@yahoo.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
خوش اخلاق، فرامرز؛ حاجی محمدی، حسن؛ کوشکی، حسین؛ ۱۴۰۳. بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش سوزی جنگل‌های شمال ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۲۱۶-۱۹۵
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76403.1219

هوا از مدل پسگرد ذرات معلق بهره گرفته شد. مشخص شد که طی دوره موردمطالعه، رویداد ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ از قوی‌ترین و فراگیرترین فون‌های به وقوع پیوسته در منطقه است. نتایج نشان داد با تشکیل یک سلول پرفشار واقع در جنوب کشور و یک سلول کم‌فشار در قسمت بادپناه کوهستان البرز، گرادیان شدید فشاری را به وجود آورده و سبب شده تا جریان جنوبی مناطق شمالی ایران را تحت تأثیر قرار دهد. بر این اساس، طی یک فرآیند استاتیکی-دینامیکی جریان چرخندی بادپناهی در بادپناه رشته‌کوه البرز شکل گرفته است. از طرفی با صعود توده‌هوا بر روی رشته‌کوه البرز و همچنین تخلیه رطوبتی آن و عبور بسته هوا از روی کوهستان و شارش یافتن آن در منطقه و گرمایش بی دررو، توده‌هوایی گرم و خشک وارد منطقه شده که این شرایط با وزش بادهای شدید همراه شده و مناطق مستعد برای آتش‌سوزی را تحت تأثیر قرار داده است. با افزایش سرعت باد و فرارفت مثبت دما، پرش ناگهانی و افزایش دما به وجود آمده است. ردیابی بسته هوا نیز نشان داد سرمنشأ اصلی جریان وارد شده به منطقه در محدوده شمال دریای خلیج‌فارس و شمال شرق آفریقاست.

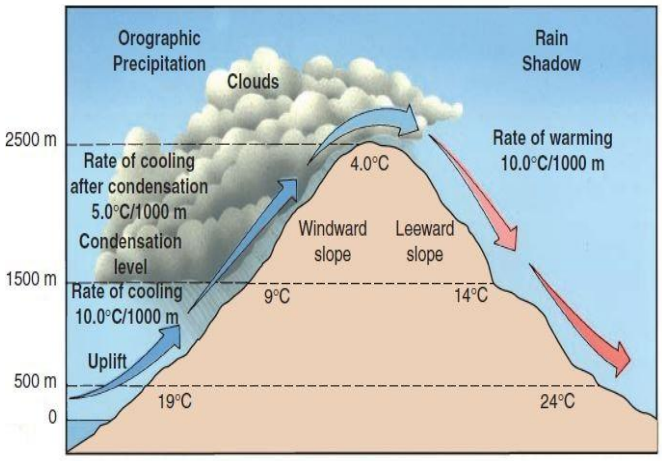
**کلیدواژه‌ها:** باد فون، آتش‌سوزی، گرادیان فشار، شمال ایران، سینوپتیک

**۱- مقدمه**

گرمباد پدیده‌ای میان‌مقیاس به‌صورت باد شدید، گرم و خشکی است که در شرایط خاصی از الگوهای همدیدی از جانب کوه به سمت دشت می‌وزد و آثار خود را در نواحی باد پناه کوهستان بر جای می‌گذارد (گافین[1]،۲۰۰۲). زمانی که در دامنه رو به باد هوای مرطوب به‌صورت بی دررو به سمت قله کوهستان صعود می‌کند، در صورت داشتن رطوبت کافی اشباع شده و پس از تشکیل ابر با ریزش باران رطوبت خود را از دست داده، خشک می‌شود و با گذر از کوهستان در دامنهٔ پشت به باد، نزول و به‌صورت بی دررو گرم شده و خشک‌تر و گرم‌تر از هوای اولیه در دامنه رو به باد خواهد شد(عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸). در اثر این پدیده، ضمن کاهش نم نسبی افزایش ناگهانی دما به‌اندازه ۱۰ الی ۱۵ درجه سلسیوس در مناطق تحت تأثیر (باد پناه کوهستان) روی می‌دهد که طی چند ساعت اتفاق می‌افتد(مک گوان[2] و همکاران، ۱۹۹۶). از دید حرکت‌شناسی پدیده فون، شارش شکل گرفته به‌صورت یک توده‌هوای نزول‌کننده از روی شیب سلسله جبال که از ارتفاعات به سمت دامنه کوهستان جریان می‌یابد، اولین بار توسط هان در سال ۱۸٦٦ بر روی کوه‌های آلپ مشاهده و آن را به‌طور وسیع موردبررسی قرار داد (به نقل از شیرزادی،۱۳۷۱). پیدایش این پدیده توأم با باد گرم و خشک بوده که با سرعتی نسبتاً زیاد در دامنه و دشت‌های منتهی به شیب کوهستان همراه با دید

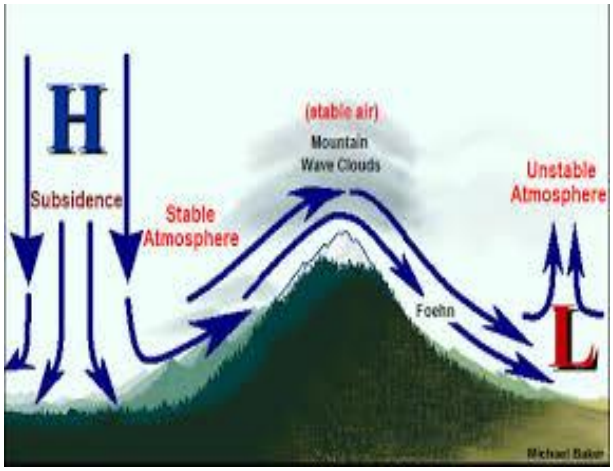
1 Gaffin
2 McGowan

افقی بسیار خوب ظاهر می‌گردد. افزایش دمای ناشی از این پدیده زیاد بوده، به‌طوری‌که گاهی در مدت کمتر از چندین ساعت در یک منطقه وسیعی افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. این افزایش دما توأم با باد شدید و خشکی زیاد توده‌هوای مذبور، سبب زهکش شدن منابع رطوبتی منطقه موردتهاجم، می‌گردد که این امر خود سبب کاهش شدید نم نسبی منطقه تا زیر ۱۰ درصد خواهد شد (شیرزادی، ۱۳۷۱)؛ اما کلمپ و لی‌لی[1] (۱۹۷۵) تحلیل کاملی از حرکات دامنه‌ای قوی باد توسط امواج تشکیل شده در جوار بادپناه کوهستان ارائه دادند. نظریه آن‌ها به این اصل اشاره می‌کند که تنها در صورتی می‌توان به اطلاعات بیشتری در این زمینه رسید که جریانات بالاسوی باد و نیمرخ قائم هوا توسط مقادیر محدود و محتمل توجیه شوند. ازاین‌رو مکانیزم‌های متفاوت با توجه به ۳ عامل دما، رطوبت نسبی و نیمرخ قائم باد می‌توانند باعث جریان حرکت نزولی هوا در قسمت بادپناه کوهستان شود. هواشناسان باید این اصل را بپذیرند که دامنه کاملی از مکانیزم‌های فیزیکی برای توجیه فون لازم است؛ زیرا این پدیده در شرایط مختلف رخ می‌دهد به‌گونه‌ای که وقتی گرادیان فشار بسیار بالا در دو طرف کوهستان به وجود آید، ابرهای باران‌زا از سمت بادگیر کوه به‌طرف بادپناه کشیده می‌شوند. شرایط جوی در قسمت بادگیر آرام و بارانی می‌باشد اما با عبور از کوهستان و رسیدن به سطح زمین، سبب به وجود آمدن طوفان‌های شدید می‌گردد. این گونه از فون را فون تیره‌وتار یا مه گونه نیز می‌گویند. این پدیده برای اولین بار در نیمه اول قرن پیش توسط محققین سوئیسی کشف شد. از ویژگی‌های این گرمباد می‌توان به‌سرعت بالای باد و جابجایی گردوغبار اشاره کرد(ریچنر[2] و همکاران، ۲۰۰۷)(شکل‌های ۱ و ۲).




**شکل ۱- اثر توپوگرافی بر روی توده‌هوا در برخورد با کوهستان**

1 Klemp & Lilly
2 Richner



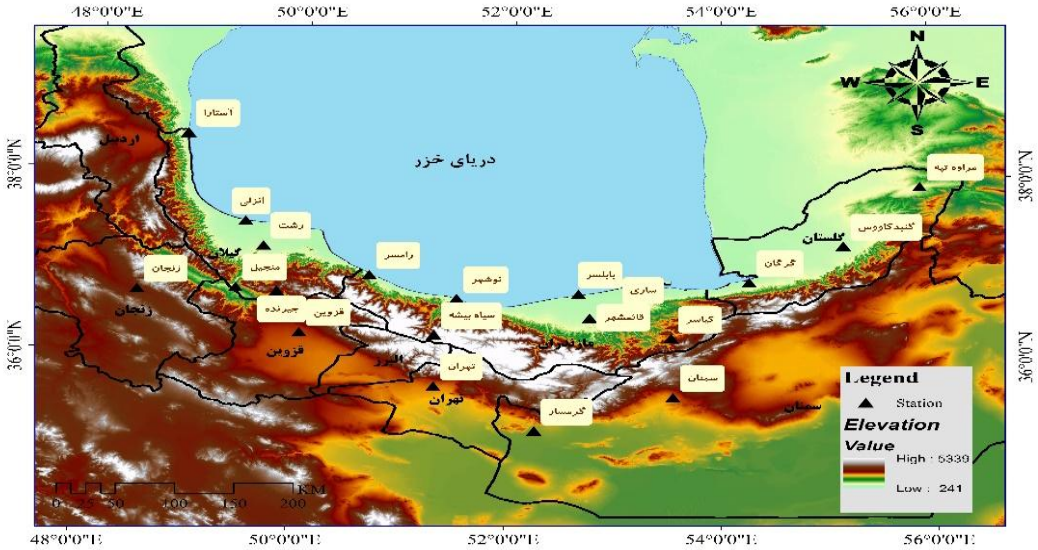

**شکل ۲- نمای کلی از وضعیت هوا در زمان رخداد فون**

از سایر تحقیقات صورت پذیرفته در جهان در زمینه ساختار و اثر فون می‌توان به کار دروبنسکی و همکاران (۲۰۰۳)، کیلی(۲۰۰٤)، ریچنر(۲۰۰۷)، دیناپولی (۲۰۰۸)، ریچنر(۲۰۱۳)، گروسنور(۲۰۱٤) و در ایران نیز می‌توان به کارهای مفیدی و همکاران (۲۰۱۵)، قویدل رحیمی و همکاران (۲۰۱٦) نیز شیرزادی (۱۳۷۱)، **پرنیان(۱۳۸۷)**، **پورچماچایی(۱۳۸۵)**، عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) و **رنجبر سعادت آبادی (۱۳۹٤)** اشاره نمود. از تحقیقات اخیر نیز می‌توان به تحقیق **حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹٦)** با عنوان بررسی ساختار جو در زمان رخداد آتش‌سوزی در شمال ایران اشاره کرد. رخداد این پدیده در نواحی شمالی کشور می‌تواند سبب آتش‌سوزی‌های گسترده‌ی جنگل‌ها و مراتع شده که با توجه به اهمیت این منابع طبیعی، مطالعه سازوکار حاکم و پیش‌بینی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

جنگل‌های شمال ایران که به جنگل‌های رویشی هیرکانی یا خزری شهرت دارند. در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان قرار دارند این جنگل‌ها که به برکت رطوبت ناشی از دریای خزر رشد و تکامل یافته‌اند، به‌صورت نواری با طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر و عرض ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر و با مساحتی حدود ۱.۸٤ میلیون هکتار، نیمرخ شمالی البرز از آستارا تا گلیداغی را در برمی‌گیرند.




**شکل ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورداستفاده در تحقیق**

**۲-۲- داده‌های مورداستفاده**

اطلاعات مورداستفاده در این تحقیق شامل داده‌های آتش‌سوزی و هواشناسی است. اطلاعات مربوط به توزیع زمانی، مکانی و سطح آتش‌سوزی‌ها از اداره کل منابع طبیعی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ اخذ و داده‌های مربوط به عناصر جوی شامل دما، رطوبت، باد و فشار برای سه استان شمالی و استان‌های سمنان، تهران و قزوین از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. همچنین برای تحلیل شرایط سینوپتیکی روزهای آتش‌سوزی داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای هوا، رطوبت نسبی، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از تارنمای متعلق به مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ علوم جو (NCEP/NCAR[1]) و مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جوی (ECMWF[2]) استفاده شد. پس از بررسی شرایط آب و هوایی در دامنه‌های جنوبی و شمالی البرز اقدام به تهیه نقشه‌های سینوپتیکی شد. برای محاسبه دمای سطح زمین نیز از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس با تفکیک ۲۵۰ متر و درنهایت برای بررسی و شناخت منشأ توده‌هوای واردشده به منطقه در زمان رخداد آتش‌سوزی از مدل لاگرانژی (HYSPLIT[3]) به روش پسگرد از روز دوم تا روز پایانی آتش‌سوزی استفاده شد.

1 *National centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*
2 *European Center for Medium – Range Weather Forecasts*
3 *HYbrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)*

### ۲-۳- روش انجام پژوش

برای شناسایی پدیده فون در محدوده مطالعه بر اساس گفته ریچنر و همکاران (۲۰۰٦) و گافین (۲۰۰۷) ابتدا از داده‌های ایستگاهی واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته‌کوه البرز استفاده شد. بر این اساس با جنوبی شدن جریان باد در دامنه‌های جنوبی و افزایش ناگهانی سرعت باد و تغییر جهت آن در دامنه‌های شمالی و در ادامه کاهش و افزایش ناگهانی دما به ترتیب در دامنه‌های جنوبی و شمالی و از طرفی تغییر در دمای نقطه شبنم در ایستگاه‌های رو به باد و پشت به باد کوهستان، معیار اصلی برای شناسایی پدیده فون در منطقه بود. در ادامه بر اساس تحقیق اسپیرز و همکاران (۲۰۱۰) بر اساس تشکیل سامانه‌های پرفشار سطحی در قسمت رو به باد کوهستان و سلول کم‌فشار یا هسته چرخندی در دامنه پشت باد کوهستان، اقدام به شناسایی پدیده فوق شد.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان داد که طی دوره آماری ده‌ساله فراگیرترین فون به وقوع پیوسته در منطقه موردمطالعه مربوط به تاریخ ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ می‌باشد. بر این اساس به‌صورت روزانه و ساعتی شرایط جوی در بازه زمانی یاد شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. جهت بررسی وضعیت سیستم‌های همدیدی در زمان رخداد پدیده فون که همراه با حریق بوده، مطالعات به چهار بخش تقسیم شد. در ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی وضعیت پارامترهای هواشناختی موردبررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی سامانه‌های فشاری در منطقه پرداخته شد تا مشخص گردد در سطح زمین و ترازهای میانی جو آرایش الگوهای فشار به چه صورت بوده و به بررسی و تبیین ساختار جو پرداخته شد. در مرحله بعد سعی شد برای ٦ ایستگاه نماینده در دامنه شمالی البرز مدل پسگرد ذرات معلق اعمال گردید تا منشأ و مسیر توده‌هوای ورودی به منطقه شناسایی گردد. درنهایت با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس دمای سطوح مشخص شود.

### ۳-۱- وضعیت پارامترهای جوی در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز

به‌منظور بررسی شرایط هواشناسی در زمان وقوع گرمباد، اقدام به بررسی وضعیت عناصر آب‌وهوایی در ایستگاه‌های منتخب شد (جداول ۱ و ۲). بررسی‌ها نشان داد متوسط پارامترهای دمایی دامنه‌های جنوبی نسبت به شمالی بسیار کمتر بوده و تقریباً اختلافی بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. از طرفی فشار در ایستگاه‌های نماینده در دامنه جنوبی به دلیل صعود هوا کاهشی است. در دامنه‌های شمالی با نزول هوا و افزایش دما یک مرکز کم‌فشار سطحی ایجاد و درنتیجه کاهش فشار مشاهده می‌شود. در قسمت بادپناه

کوهستان از روز دوم رطوبت نسبی رو به کاهش بوده که در روز ۲۸ ژانویه به کمترین مقدار خود رسیده است.

**جدول ۱- میانگین عناصر جوی در دامنه جنوبی البرز**

| روزها | متوسط سرعت باد | فشار سطح ایستگاه | دمای خشک | دمای تر | میانگین دمای روزانه | دمای نقطه شبنم | رطوبت نسبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۵ ژانویه ۲۰۰۷ | ۱.۵ | ۸۸۵.٦ | ٤.٦ | ۱.٦ | ٥ | -۳.۲ | ٥۹.۷ |
| ۲٦ ژانویه ۲۰۰۷ | ۱.۲٥ | ۸۸۲.۳ | ٤.۸ | ۱.۹ | ٥.۸ | -۲.۹ | ٥۹.۳ |
| ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷ | ۰.۳٦ | ۸۷۹.۳ | ٥.۲ | ۱.۳ | ٦.۱ | -٥.٤ | ٥۰.٤ |
| ۲۸ ژانویه ۲۰۰۷ | ۱.۸۳ | ۸۷٤.۸ | ٦.٤ | ۱.۹ | ٦.٥ | -٥.۹ | ٤٤.۳ |
| ۲۹ ژانویه ۲۰۰۷ | ۷.۱ | ۸۷۰.۱ | ۷.٤ | ۲.۲ | ۷.٥ | -٦.۹ | ۳٦.٦ |
| ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷ | ۳.۹ | ۸۷۰ | ۸.۳ | ۳.٤ | ۹ | -٥ | ۳۹.۱ |
| ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ | ٤ | ۸۷۱ | ٦.۹ | ۳.۳ | ۷.۲ | -۲.۱ | ٥۳.٦ |

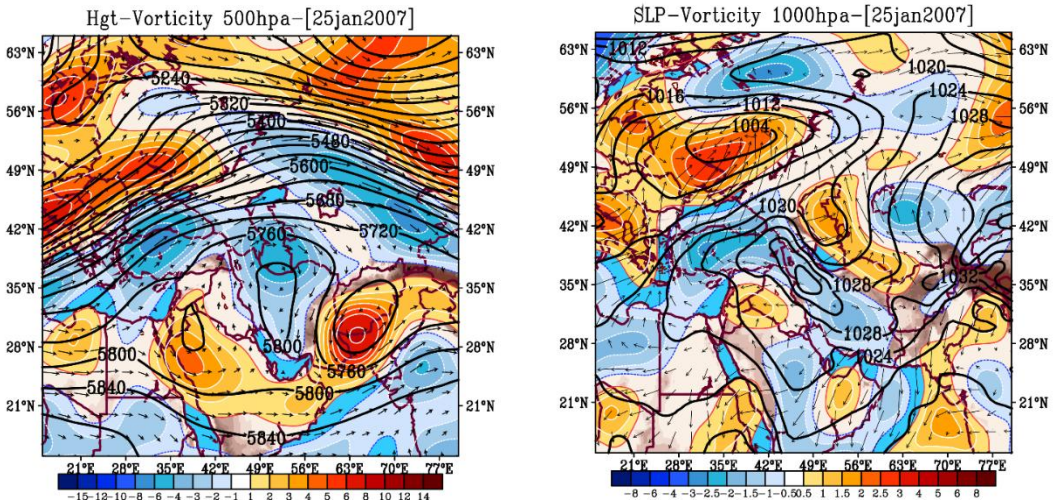
**جدول ۲- میانگین عناصر جوی در شمال البرز**

| روزها | متوسط سرعت باد | فشار سطح ایستگاه | دمای خشک | دمای تر | میانگین دمای روزانه | دمای نقطه شبنم | رطوبت نسبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۵ ژانویه ۲۰۰۷ | ٦.٥ | ۱۰۲۱ | ۱۰.۷ | ۷.٥ | ۱۱.۳ | ۳.۱ | ٦۸ |
| ۲٦ ژانویه ۲۰۰۷ | ۲.٥ | ۱۰۰٥ | ۱۱.٤ | ۷.٦ | ۱۲.۹ | ۲.۹ | ٦۰.۷ |
| ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷ | ۳.۷ | ۱۰۰۲ | ۱۰.۸ | ۷.٥ | ۱۲ | ۳.۱ | ٦٤ |
| ۲۸ ژانویه ۲۰۰۷ | ۱۲.٥ | ۹۹٤.٥ | ۱٤.۱ | ۸.۳ | ۱٤.۹ | ۰.٥ | ٤۷.٥ |
| ۲۹ ژانویه ۲۰۰۷ | ۱۲.۹ | ۹۹٦.۷ | ۱۰.٦ | ۷.٥ | ۱٤.۱ | ۰.٤ | ٦٤ |
| ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷ | ٥.۱ | ۹۹۷ | ۹.٤ | ٦.٤ | ۱۰.۲ | ٤.۱ | ۷۲ |
| ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ | ۹.۹ | ۹۹٦ | ۱۱.٦ | ۸.٥ | ۱۳.٦ | ٤.۸ | ٦۸.۸ |

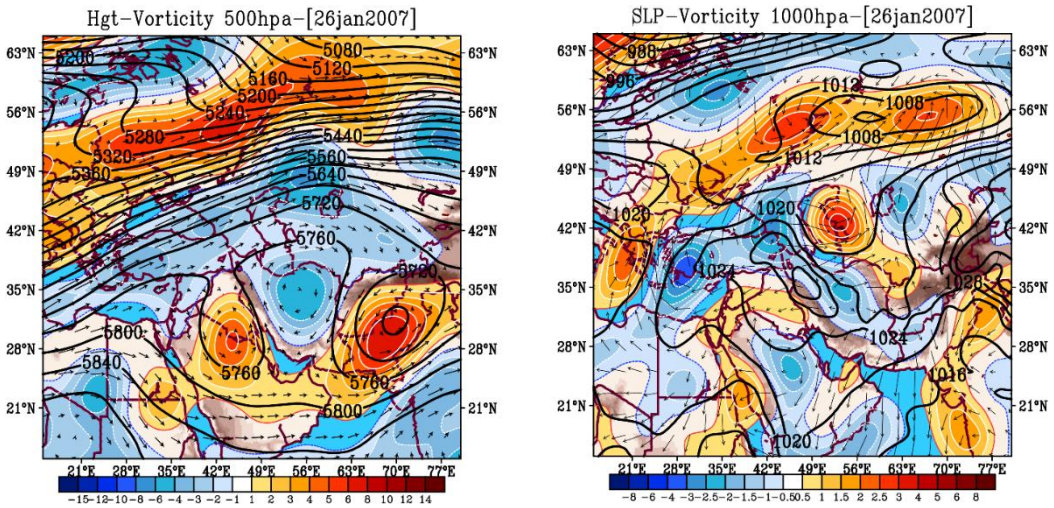
**۳-۲- وضعیت فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی**

با بررسی وضعیت فشار در تراز دریا در روز نخست مشخص شد که سلول پرفشاری بر روی نیمه غربی ایران تشکیل شده که ضمن تشکیل آن، جریان ساعتگردی بر منطقه حاکم شده که بیشینه این وضعیت مستقر بر جنوب کشور می‌باشد. در شرق اروپا سلول کم‌فشار قوی تشکیل شده که فشار مرکزی آن کمتر از ۱۰۰٤ هکتوپاسکال بوده که زبانه‌ای از این کم‌فشار تا جنوب دریای خزر کشیده شده است. این شرایط سبب شده تا جریان تاوایی مثبتی از شمال دریای خزر تا شمال شرق کشور به وجود آید. با گرادیان فشاری که بین دو سامانه ایجاد شده، جریان جنوبی در نیمه شمالی ایران ایجاد و شرایط برای انتقال هوای عرض‌های پایین‌تر به عرض‌های بالا صورت پذیرد. در تراز میانی بر روی کشور پشته قوی تشکیل شده که سبب شده در غرب این سامانه جریان غربی از حالت مداری خارج و به نصف‌النهاری تغییر پیدا کرده است، همچنین بر روی دریای سرخ کم ارتفاعی تشکیل و با تاوایی مثبت همراه شده است. با صعود هوا از روی مناطق غرب و جنوب غرب و انتقال آن با همگرایی فوقانی که بر روی پشته ایجاد شده، با فرونشست هوا و واگرایی سطحی شرایط برای عبور بسته هوا از روی البرز فراهم شود (شکل ٤). در روز ۲٦ ژانویه پشته تراز میانی قوی‌تر شده و کل محدوده کشور را در بر گرفته است. از طرفی در شرق و غرب این سامانه ناوه‌های حاصل از این پشته نیز عمیق‌تر شده و همراه با تاوایی قوی مثبت می‌باشند. با جریان واچرخندی به وجود آمده بر

روی ایران سبب شده تا با عبور پربند ۵۷۶۰ ژئوپتانسیل متر از روی سواحل خزری شرایط را برای فرونشست بسته هوا فراهم نماید. در سطح زمین کم‌فشار وقع در شرق اروپا به‌طرف شمال روسیه منتقل شده و جریان بسیار قوی تاوایی مثبت را به همراه دارد. از طرفی در سطح زمین هسته تاوایی مثبت واقع بر جانب شمال دریای خزر قوی‌تر و متمرکزتر شده است. این شرایط باعث شده تا شاخه شمالی جریانات شمال آنتی سیکلون واقع در غرب و جنوب غرب کشور به‌سوی نواحی خزری شارش یابد (شکل ۵). در روز بعد، از شدت‌جریان ساعتگرد واقع در غرب و شمال غرب کاسته شده که این شرایط در قسمت‌های شمالی نیز با تضعیف نسبی کم‌فشار واقع بر روی منطقه همراه شده است؛ اما با ورود زبانه‌ای از کم‌فشار بسیار قوی واقع در عرض‌های جنب قطبی شرایط برای جریان سیکلونی در منطقه فراهم می‌شود. در تراز میانی نیز هسته پر ارتفاع متمرکزتر و معطوف به نیمه شمال شرقی کشور شده و در قسمت جنوبی خود ناوه بسیار عمیقی را تجربه می‌نماید. به‌طوری‌که دو هسته بسیار قوی ناپایداری یکی بر روی خلیج‌فارس و دیگری بر شرق پاکستان منطبق می‌باشد (شکل ٦).

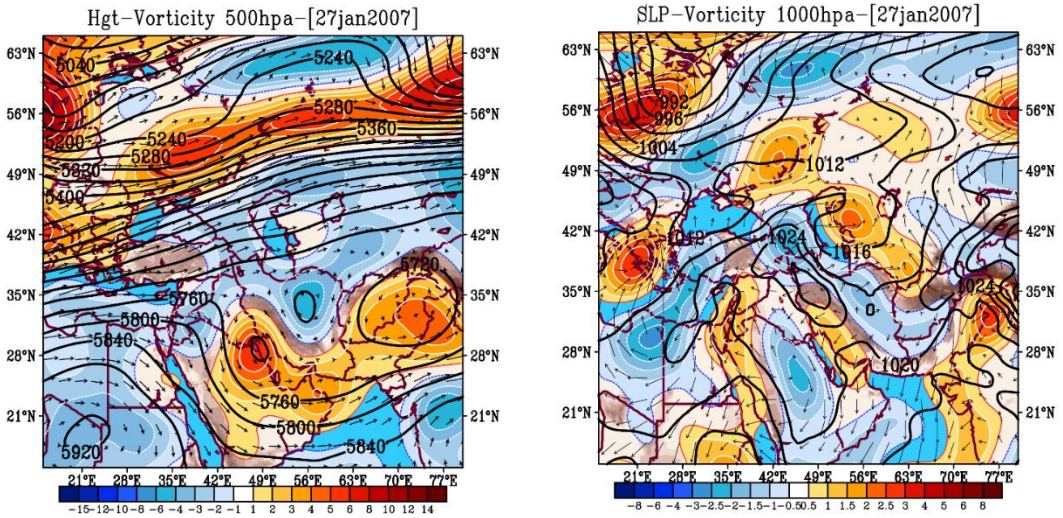



**شکل ٤- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۰۷**

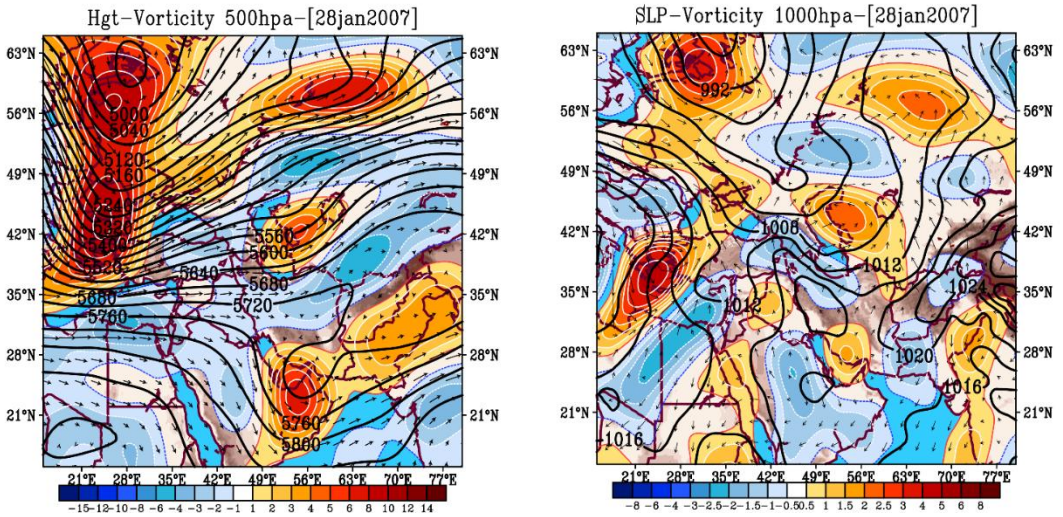



**شکل ۵- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲٦ ژانویه ۲۰۰۷**

با حرکت جنوب سوی کم‌فشار قطبی زبانه‌ای از آن تا جنوب دریای خزر وارد شده که این شرایط باعث شده با برخورد زبانه کم‌فشار مذکور با پرفشار واقع بر روی زاگرس، گرادیان شدید فشاری بر شمال غرب ایران و نواحی غرب خزری ایجاد گردد. با این وضع شرایط آنتی سیکلونی محدوده یاد شده را در بر گرفته است. در سمت مقابل و بر جانب شمال و شرق خزر هسته تاوایی مثبتی به وجود آمده و ناپایداری حاصل از این فرآیند را به همراه خود برای منطقه به همراه دارد. در تراز میانی به‌موازات تغییرات فشار تراز دریا، ناوه عمیقی در محدوده طول‌های ۲۰ تا ۲۸ درجه شرقی و ۳۵ تا ۷۰ درجه شمالی به وجود آمده است. بر روی ناحیه خزری نیز موج‌کوتاهی ایجاد شده که سبب شده هسته ناپایداری بین دریای خزر و دریاچه آرال به وجود آمده است (شکل ۷).



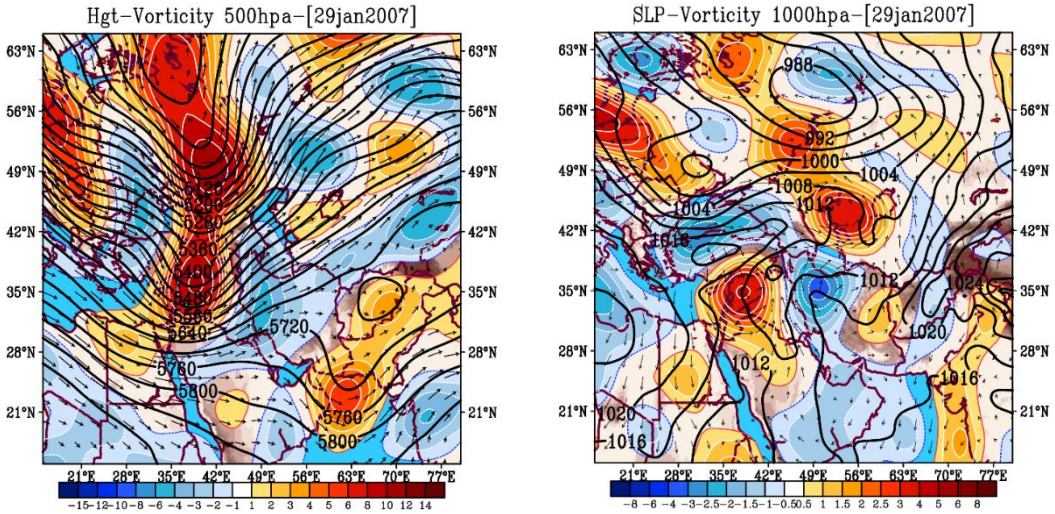

**شکل ٦- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷**



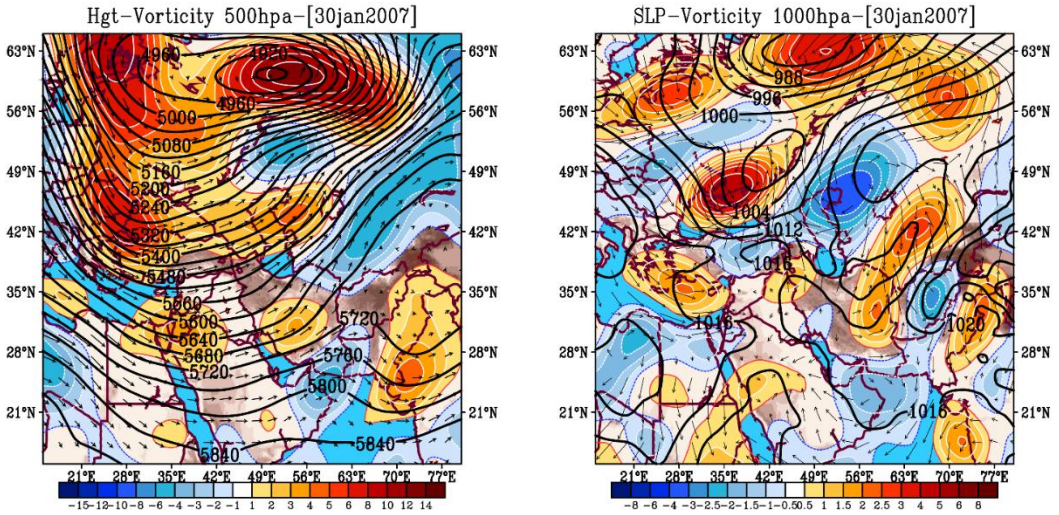

**شکل ۷- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۸ ژانویه ۲۰۰۷**

در روز ۲۹ ژانویه در دامنه‌های جنوبی البرز جریان تاوایی منفی بسیار قوی در سطح زمین به وجود آمده که با جریان تاوایی منفی واقع در شمال دریای مدیترانه ترکیب شده‌اند. از طرفی در دامنه‌های شمالی به دلیل نفوذ زبانه کم‌فشار جریان تاوایی مثبت بسیار قوی در محدوده به وجود آمده که همگرایی سطحی را به همراه دارد. با جنوبی شدن جریانات بر روی منطقه خزری ضمن تسهیل در عبور توده‌هوا از روی کوهستان، با

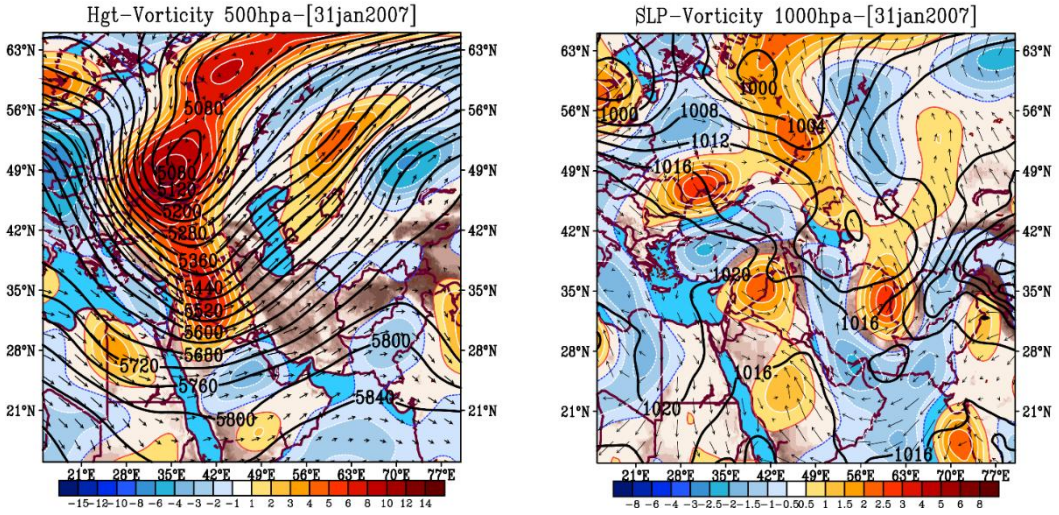
نزول خود در دامنه‌های شمالی با افزایش دما به‌صورت بی‌دررو هوای گرم همراه با وزش باد را به همراه دارد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه حاصل از کم‌فشار قطبی بر روی منطقه عمیق‌تر شده و در ضلع شرقی این ناوه جریان ساعتگرد قوی منطبق بر جنوب رشته‌کوه البرز تشکیل و تقویت شده است (شکل ۸). در روز ۳۰ ژانویه ناوه مذکور قوی‌تر شده و منطقه وسیعی را تحت استیلای خود دارد. محور ناوه به‌گونه‌ای است که سبب شده تا بر روی دریای سرخ و خلیج‌فارس جریان مثبت تاوایی ایجاد و ضمن آن جهت باد به سمت شمال باشد. همین امر در عبور هوا از روی البرز نقش مهمی را ایفا می‌کند. در سطح زمین با تشکیل پرفشاری در جنوب دریای سیاه و ورود آن به نواحی خزری، جریان قوی تاوایی منفی بر روی دریای خزر به وجود آمده است. با بررسی بردار باد مشخص شد که با فرونشست هوا بر روی منطقه جریان قوی واگرایی سطحی نیز به وجود آمده و جریان شمالی را برای ناحیه خزری ایجاد کرده است (شکل ۹). در روز ۳۱ ژانویه محور ناوه تراز میانی از حالت شمال–جنوب به شمال غرب–جنوب شرق تغییر کرده است. این تغییر سبب شده تا هوای ساکن واقع در ایران مرکزی وادار به حرکت شمال سو شده و به عرض‌های بالاتر حرکت نماید. با بررسی وضعیت فشار و تاوایی سطح زمین نیز مشخص شد که به دلیل ورود پربند ۱۰۱۲ هکتوپاسکال به مناطق شمالی و شرق کشور تاوایی مثبت افزایش یافته اما در نیمه غربی ضمن ایجاد تاوایی منفی یک جریان بسیار قوی جنوبی ایجاد کرده که به‌صورت جنوب به شمال از خلیج‌فارس تا مرکز دریای خزر ادامه دارد (شکل ۱۰).




**شکل ۸- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۹ ژانویه ۲۰۰۷**




**شکل ۹- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷**

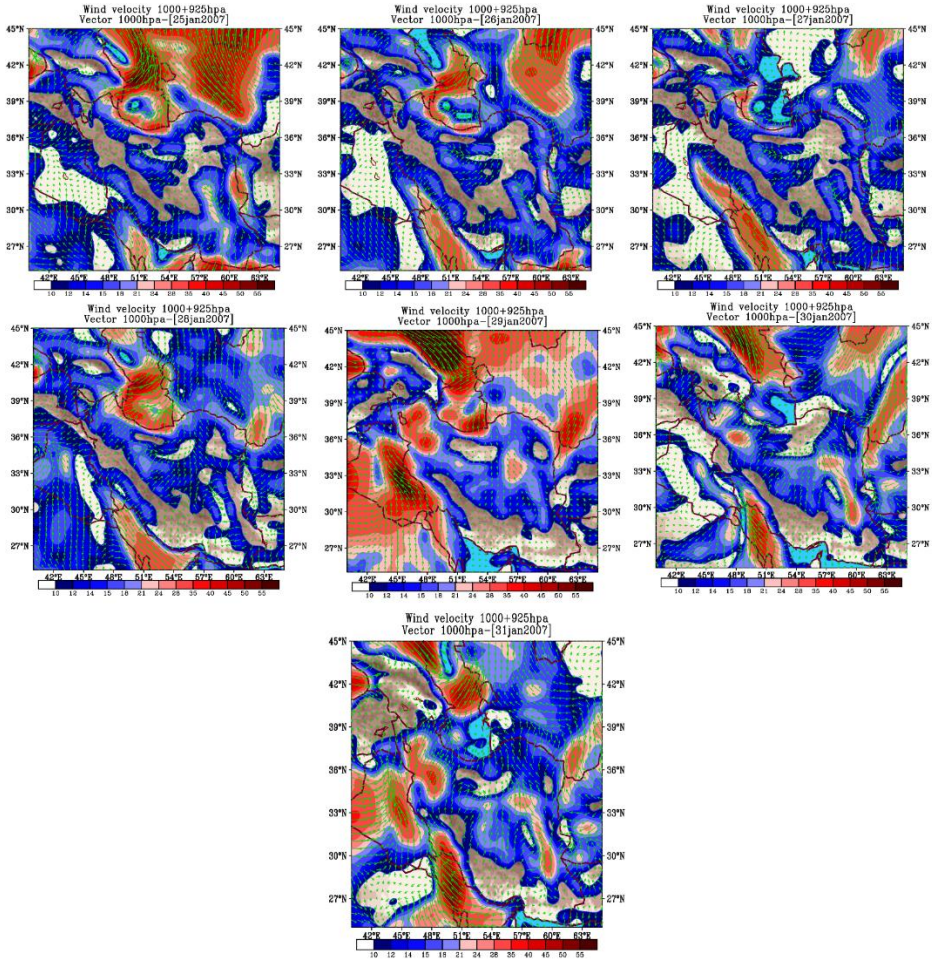



**شکل ۱۰- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷**

### ۳-۳- وضعیت سرعت باد در لایه‌های زیرین جو

با بررسی سرعت باد در لایه‌های زیرین جو مشخص شد که متوسط سرعت باد در روز نخست آتش‌سوزی در محدوده خزری به بیش از ۲۸ متر بر ثانیه رسیده است. این وضعیت از شرق استان اردبیل شروع و تا شرق استان گلستان ادامه دارد. در روز دوم دو هسته جداگانه بیشینه سرعت باد یکی منطبق بر استان مازندران و دیگری بر روی استان گیلان است که ادامه این وضعیت بر روی مناطق مرکزی دریای خزر

به بیش از ۳۵ متر بر ثانیه می‌رسد. در روز ۲۷ ژانویه از شدت هسته‌های تشکیل شده کاسته شده ولی هم چنان سرعت وزش باد در منطقه بالا می‌باشد. در روز ۲۸ ژانویه با تشکیل هسته سرعت باد که از شمال غرب کشور تا ایران مرکزی ادامه دارد، با نزدیک شدن به رشته‌کوه البرز به‌جز در مناطقی همچون استان تهران، به بیش از ١٤ متر بر ثانیه رسیده که با عبور از کوهستان در دامنه‌های پشت به باد، نزدیک به ۳۰ متر بر ثانیه رسیده است. روز ۲۹ ژانویه به شدت بادهای دامنه‌های رو به باد افزوده شده است. بدین‌گونه که در محدوده شمال استان یزد و آذربایجانات دو هسته قوی سرعت باد تشکیل و با هجوم به سمت عرض‌های بالاتر، از محدوده شرق استان گیلان تا شرقی‌ترین نقطه استان گلستان را تحت تأثیر خود قرار داده است. ملاحظه می‌شود که در استان مازندران بیشینه سرعت باد با بیش از ٤٥ متر بر ثانیه منطقه را در نوار ساحلی درنوردیده است. در روز ۳۰ ژانویه از شدت بادهای منطقه خزری جز در نیمه غربی این ناحیه کاسته شده و بیشتر منطبق بر نوار ساحلی می‌باشد. در روز ۳۱ ژانویه نیز یا سرعت گرفتن باد در مناطق غرب کشور، جریانات وارد منطقه خزری شده بیشترین تأثیرگذاری را در غرب ناحیه خزری می‌توان مشاهده نمود. با حرکت از مناطق غربی به شرق از سرعت باد کاسته شده است (شکل ۱۱).

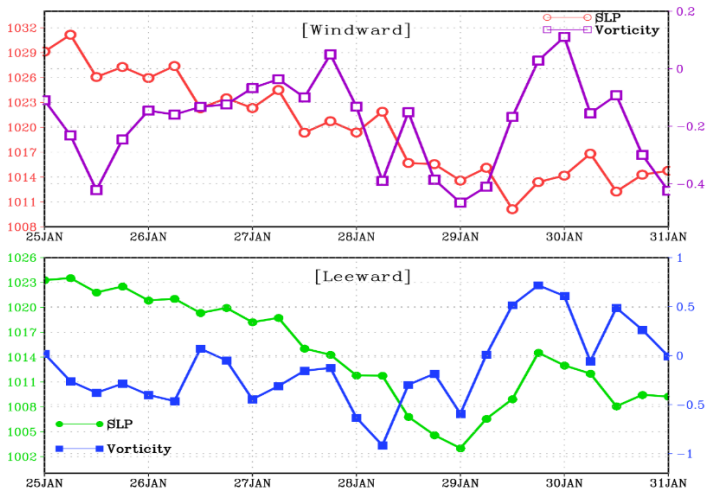



**شکل ۱۱- وضعیت سرعت باد در لایه‌های زیرین جو (متوسط گیری شده برای تراز ۱۰۰۰ تا ۹۲۵ ه پ) از ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷**

### ۳-٤- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان

به‌منظور بررسی وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان از متوسط منطقه‌ای این دو پارامتر به‌صورت ساعتی (هر ٦ ساعت یکبار) برای دوره ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد در محدوده رو به باد کوهستان فشار تراز دریا از ۱۰۳۲ هکتوپاسکال در روز نخست تا ۱۰۱٤ هکتوپاسکال متغیر بوده و از روز اول تا روز پایانی با کاهش نسبی فشار همراه بوده است. وضعیت تاوایی نیز جز در روز ۳۰ ژانویه در ساعت ۰۰ گرینویچ هرگز مثبت نبوده و همواره در طول دوره منفی می‌باشد. در دامنه‌های پشت به باد نیز تغییرات فشار در روزهای نخست روندی ملایم داشته و در روز ۲۸ ژانویه با شیبی تند و ناگهانی از مقدار آن کاسته شده است. طی این وضعیت تاوایی

از حالت منفی خارج و مثبت شده که بیشینه آن در ۲۹ ژانویه ساعت ۱۸ گرینویچ می‌باشد. با مقایسه فشار تراز دریا در سوی کوهستان مشخص می‌شود که طی کاهش فشار در دامنه‌های رو به باد در طی دوره آتش‌سوزی، فشار در مناطق پشت به باد با افزایشی ۸ هکتوپاسکالی همراه شده است (شکل ۱۲).



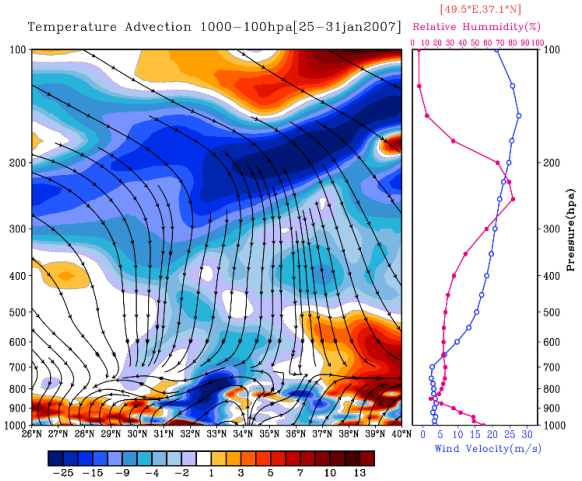

**شکل ۱۲- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ ه پ در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان (متوسط گیری شده برای طول‌های ٤٨ تا ٥٧ درجه شرقی برای هر دو سمت-عرض جغرافیایی برای محدوده رو به باد ۳۰ تا ۳۵ و برای پشت به باد کوهستان ۳٦ تا ٤٠ درجه شمالی)**

### ۳-۵- وضعیت دما و رطوبت

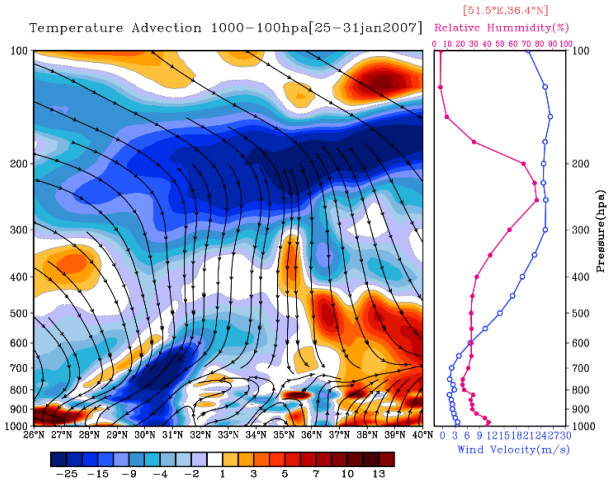
به‌منظور بررسی تغییرات دما و رطوبت در منطقه خزری اقدام به تهیه نیمرخ مقطع قائم جو برای پارامتر فرارفت دما و رطوبت نسبی شد. در همین راستا سه طول جغرافیایی به‌عنوان نماینده انتخاب و تغییرات دما در راستای نصف النهارات از عرض ۲٦ تا ٤٠ درجه شمالی موردبررسی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف متوسط کل دوره محاسبه گردید. در شکل ۱۳ در محدوده رو به باد کوهستان جز در پاره‌ای از مناطق، از ۳۱ تا ۳٦ درجه شمالی و از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال فرارفت سرد رخ داده که بیشینه آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال با ۲۵- درجه سانتی‌گراد بود؛ اما با فرونشست هوا، مابین طول‌های ۳۷ تا ٤٠ درجه شمالی، از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرارفت مثبتی به وقوع پیوسته که بیشینه آن در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکالی با بیش از ۱۲ درجه سانتی‌گراد در کل دوره است. با بررسی نمودار نقطه‌ای نیز مشاهده شد بیشینه رطوبت نسبی بین ترازها ۳۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال بوده و با کاهش ارتفاع از مقدار رطوبت نسبی نیز کاسته شده که از تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال تا سطح ۱۰۰۰ با نرخی افزایشی همراه شده است. نتایج حاصل از بررسی سرعت باد نیز نشان

داد از تراز ۱۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال سرعت باد تقریباً ثابت بوده اما از آن به بعد سرعت باد به بیش از ۲۵ متر بر ثانیه رسیده است.

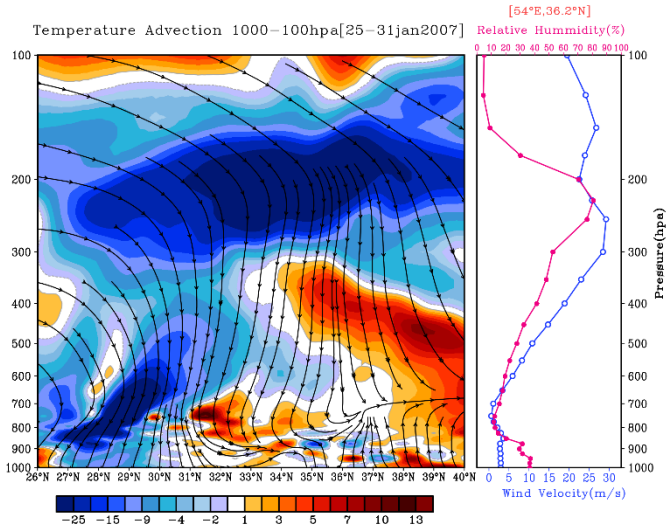
در شکل ١٤ نیز وضعیت تقریباً به‌مانند شکل ۱۳ است. در برخی نقاط مقادیر فرارفت مثبت دما با انتقال به ترازهای بالاتر، از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال شروع و تا سطح زمین ادامه دارد. جریان پایین‌سو حاکم نشان می‌دهد که از طول ٣٤ درجه به بالاتر جریان جنوب سویی در لایه‌های زیرین به وجود آمده که ضمن آن با عبور بسته هوا از روی کوهستان و سرازیر شدن آن در دامنه‌های بادپناه به دلیل نرخ افزایش دما با نزول آن بسته هوا نسبت به شرایط اولیه خود تا بیش از ۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما دارد. تغییرات رطوبت نسبی و باد نیز به ترتیب بیشینه این دو در ترازهای بالاتر از ٤٠٠ هکتوپاسکال رخ داده است. در شکل ۱۵ هسته فرارفت منفی دما واقع در ترازهای فوقانی منطقه وسیعی از عرض ۲۸ تا ۳۸ درجه را مابین ترازهای ۳۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال را در بر گرفته است. از طرفی از ٣٤ درجه به بالاتر و از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال تا سطح زمین فرارفت گرمی صورت پذیرفته که دارای دو بیشینه یکی در تراز ٤٠٠ و دیگری مابین تراز ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در دامنه‌های جنوب نیز با جنوب شدن جریانات در برخی از مناطق فرارفت گرم صورت پذیرفته ولی به‌مانند شرایط پشت به باد کوهستان نیست. تغییرات نمایه قائم رطوبت نسبی و سرعت باد نیز نشان داد از تراز ٤٠٠ تا سطح زمین جوی نسبتاً خشک در منطقه حکم فرماست. از طرفی این خشکی با وزش بادهای شدید همراه بوده که با نزدیک شدن به سطح زمین از مقدار آن کاسته شده است.




**شکل ۱۳- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ٤٩.٥ درجه شرقی و عرض ٢٦ تا ٤٠ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ٤٩.٥ درجه شرقی و ٣٧.١ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره**




**شکل ١٤- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ٥١.٥ درجه شرقی و عرض ٢٦ تا ٤٠ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ٥١.٥ درجه شرقی و ٣٦.٤ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره**

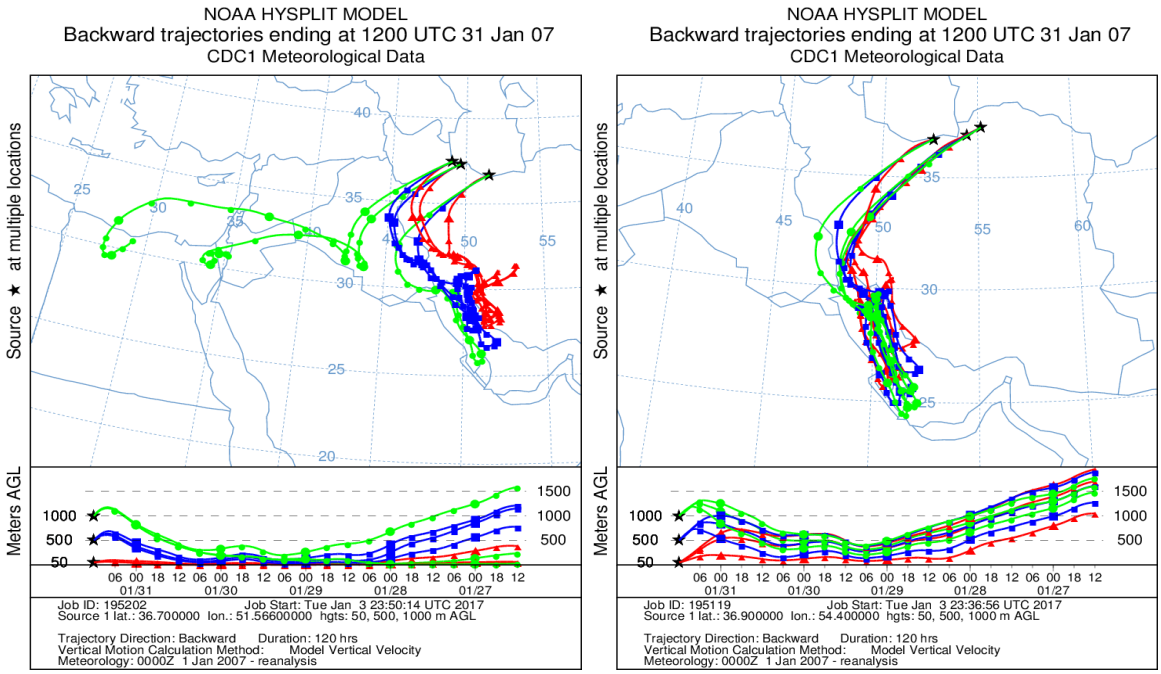



**شکل ١٥- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ٥٤ درجه شرقی و عرض ٢٦ تا ٤٠ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ٥٤ درجه شرقی و ٣٦.٢ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره**

### ٣-٦- ردیابی توده‌های هوای وارد شده به منطقه

برای ردیابی توده‌های هوا در ناحیه خزری، ٦ ایستگاه به‌عنوان نماینده انتخاب شد. به این صورت که در هر استان ٢ ایستگاه انتخاب و از روز دوم آتش‌سوزی (٢٦ ژانویه) تا ٣١ ژانویه مسیریابی شد. بررسی‌ها در

سه لایه ۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری صورت پذیرفت. در سه ایستگاه غربی کانون اصلی خلیج‌فارس بوده و مسیری که توده‌هوا طی کرده و به منطقه رسیده از جنوب غرب می‌باشد. گسترش عمودی حرکتی این بسته هوا حداکثر تا ارتفاع ۱۵۰۰ متری است. در ایستگاه‌های غربی جریان وارد شده به منطقه در ارتفاع ۵۰ متری، از ایران مرکزی حرکت به جنوب داشته و دوباره با جهتی جنوب غربی وارد منطقه ساحلی شده است. در ارتفاع ۵۰۰ متری نیز بسته هوا از روی خلیج‌فارس و مناطق ساحلی آن حرکت کرده و با عبور از مناطق غربی ایران به منطقه موردمطالعه سرازیر شده است. در ایستگاه مرکزی (بابلسر) بسته هوا از مناطق جنوبی ایران مسیریابی شد درحالی‌که در دو ایستگاه رشت و انزلی از شمال دریای سرخ و جنوب مدیترانه وارد مناطق شمالی ایران شده است (شکل ۱۶).

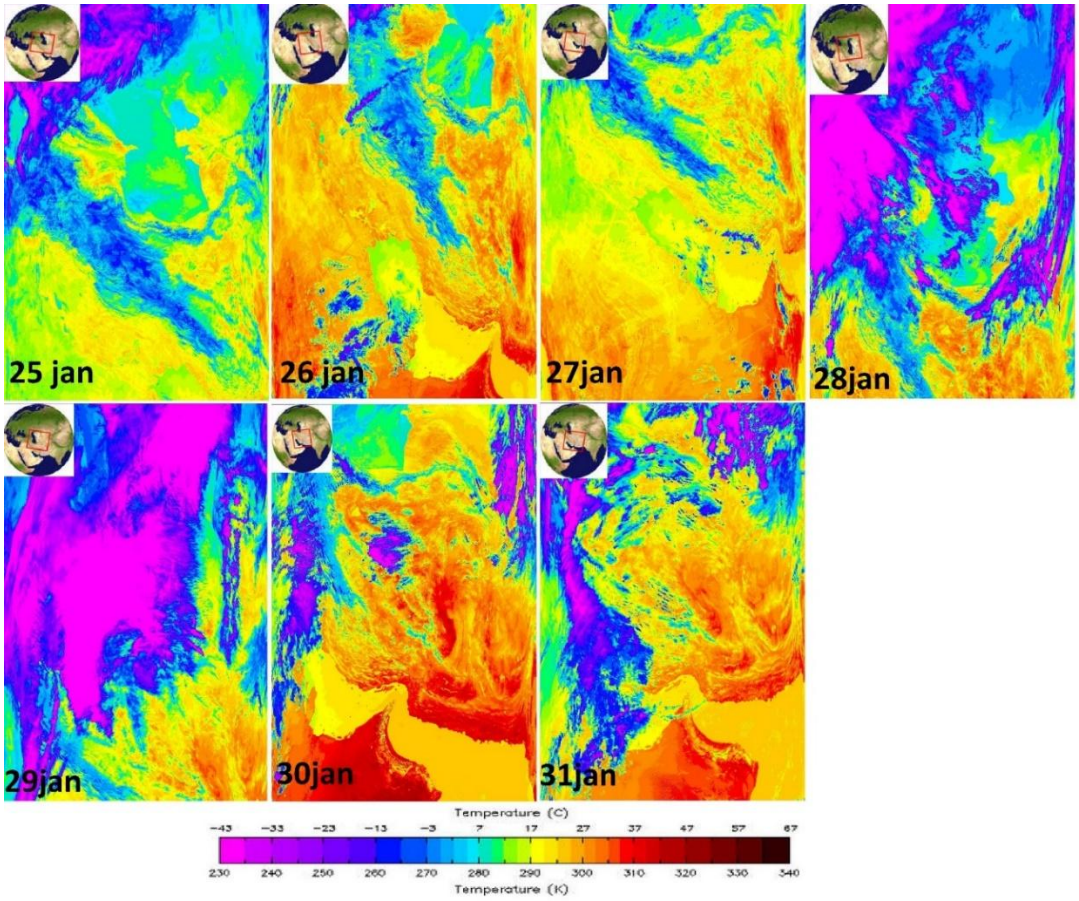



**شکل ۱۶- مسیریابی توده‌های هوای وارد شده به منطقه خزری با استفاده از مدل پسگرد ذرات معلق در ٦ نقطه از ۲٦ تا ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷**

### ۳-۷- وضعیت دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس

به‌منظور بررسی وضعیت دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده مودیس استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد در دامنه‌های جنوبی البرز و در مناطقی چون استان‌های قزوین، تهران و سمنان دمای سطح بالا می‌باشد. با حرکت بسته هوا به سمت عرض‌های بالاتر، ضمن صعود از دامنه‌های رو به باد کوهستان، دمای بسته هوا کاهش یافته و به پایین‌تر از ۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است. این امر در بررسی وضعیت فرارفت دما مشخص

شد. بدین‌صورت که در دامنه‌های جنوبی و بر روی ارتفاعات دمای هوا افت محسوس داشته است. با نزول هوا به قسمت بادپناه کوهستان، با افزایش بیش از ۱۰ درجه‌ای سانتی‌گراد همراه شده و ناحیه خزری را متأثر ساخته است. این وضعیت در ۷ روز همراه با آتش‌سوزی مشهود بود. با بررسی دقیق‌تر در دامنه‌های جنوب مناطقی که با کاهش شدید دما همراه شده نشان از تشکیل ابر است که این وضعیت در روزهای ۲۸ تا ۳۰ مشاهده می‌شود (شکل ۱۷).




**شکل ۱۷- وضعیت دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس**

## ٤- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی در استان‌های شمالی ایران، نتایج ذیل را در بر داشت. در زمان رخداد پدیده فون در پای دامنه‌های رو به باد کوهستان دما کاهش و با عبور بسته هوا از روی کوهستان و نزول آن بر دامنه‌های شمالی با افزایشی ۵ درجه‌ای همراه شده و که این افزایش با کاهش رطوبت نسبی همراه شده است. از سامانه‌های جوی مؤثر می‌توان به پرفشار سطحی در

ایران مرکزی و پشته قوی در تراز میانی جو اشاره نمود. در سمت بادپناه کم‌فشاری تشکیل شده که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه‌ای با محور شمال–جنوب همراه بوده که سبب شده تا گرادیان فشاری بین پرفشار ایران مرکزی و کم‌فشار واقع در شمال دریای خزر جریانات جنوب بر منطقه حاکم گردد. با انتقال بسته هوا و شارش یافتن آن در دامنه‌های شمالی البرز بادهای شدیدی شروع به وزیدن گرفته و این وزش هوای گرم و خشک سبب شده تا شرایط برای بروز آتش‌سوزی در مناطق مستعد فراهم گردد. با ردیابی و مسیریابی توده‌هوا مشخص شد که جریان هوا از جنوب غرب کشور شروع به حرکت کرده و از دامنه‌های البرز عبور و وارد منطقه شده است. لازم به توضیح است که این وضعیت برای نیمه شرقی ناحیه خزری حاکم بوده ولی برای نیمه غربی و به‌خصوص برای ارتفاع ۱۰۰۰ متری، جریاناتی از سوی شمال آفریقا و دریای سرخ حرکت کرده و وارد منطقه می‌شوند. **جهانبخش و همکاران (۱۳۹۹)** و **حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹٦)** نیز در بررسی خود بر روی سازوکار جوی آتش‌سوزی‌های شمال ایران دریافتند که جریانات جنوبی از علل عمده رخداد این پدیده هستند و از طرفی نرخ گرمایش بی دررو نیز طی فرآیند استاتیکی–دینامیکی فون در شمال ایران دارای نوسان بالایی می‌باشد که این وضعیت برای دو دامنه شمالی و جنوبی رشته‌کوه البرز حاکم است.

## کتابنامه


- پرنیان، علی؛ ۱۳۸۷. *شرایط ایجاد فون بر روی استان‌های گیلان و مازندران*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: صفاییان، پرویز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه فیزیک.
- جهانبخش، اسدی، حاجی محمدی، حسن؛ ۱۳۹۹. بررسی الگوهای همدیدی آتش‌سوزی جنگل (مطالعه موردی: جنگل‌های استان گلستان). *فضای جغرافیایی*، ۲۰(۷۰)، ۱۹–۳۵.
http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2704-fa.html
- حاجی محمدی، حسن، باعقیده، محمد، فلاح قالهری، غلامعباس؛ ۱۳۹٦. بررسی ساختار جو در زمان رخداد آتش‌سوزی در شمال ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. (۲۵)۷، ۱۸۷–۲۰٦.
https://gps.gu.ac.ir/article_54249.html
- حسن پور چماچایی، رضا؛ ۱۳۸۵. *بررسی سینوپتیکی باد گرم و اثر آن بر روی آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی استان گیلان*، پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: رضایی، پرویز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. گروه جغرافیا.
- رنجبر سعادت آبادی، عباس، پورمیرزا، جمیله؛ ۱۳۹٤. مطالعه هواشناختی پدیده گرمباد در استان گیلان. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۱۳(٤۰)، ٦۹–۹۰. https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2099
- شیرزادی، هما؛ ۱۳۷۱. *بررسی اوضاع سینوپتیکی و فیزیکی پدیده فون و اثرات مخرب آن در ایران*، پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: قائمی، هوشنگ، دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، گروه هواشناسی.

- عزیزی قاسم، یوسفی یداله (۱۳۸۸. گرمباد (باد فون) و آتش‌سوزی جنگل در استان‌های مازندران و گیلان (نمونه: آتش‌سوزی تاریخ ۲۵-۳۰ آذر ۱۳۸٤)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۹۲. ۱٥٤۰۷- ۱٥٤۳٤.
https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/55313889201.pdf

- De Wekker, S. F., & Snyder, B. J., 2013. Mountain weather research and forecasting: recent progress and current challenges (Vol. 750). F. K. Chow (Ed.). Dordrecht, The Netherlands: Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4098-3.
- Drobinski, P., Haeberli, C., Richard, E., Lothon, M., Dabas, A. M., Flamant, P. H & Steinacker, R., 2003. Scale interaction processes during the MAP IOP 12 south föhn event in the Rhine Valley.https://doi.org/10.1256/qj.02.35.
- Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography, 129(588), 729-753.https://doi.org/10.1256/qj.02.42.
- Gaffin, D. M., 2002. Unexpected warming induced by foehn winds in the lee of the Smoky Mountains. Weather and forecasting,17(4),907-915. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017%3C0907:UWIBFW%3E2.0.CO;2.
- Ghavidel, Y., Farajzadeh, M., & Khaleghi Babaei, M., 2016. Synoptic backgrounds of the widest wildfire in Mazandaran Province of Iran during December 11–13, 2010. Meteorology and Atmospheric Physics, 128(6), 763-777. https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-016-443-3.
- Grosvenor, D. P., King, J. C., Choularton, T. W., & Lachlan-Cope, T., 2014. Downslope föhn winds over the Antarctic Peninsula and their effect on the Larsen ice shelves. Atmospheric Chemistry and Physics, 14(18), 9481-9509. https://doi.org/10.5194/acp-14-9481-2014.
- Keeley, J. E., 2004. Impact of antecedent climate on fire regimes in coastal California. International Journal of Wildland Fire, 13(2), 173-182. https://www.publish.csiro.au/wf/WF03037.
- Klemp, J. B., & Lilly, D. R., 1975. The dynamics of wave-induced downslope winds. Journal of Atmospheric Sciences, 32(2), 320-339.
https://doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032%3C0320:TDOWID%3E2.0.CO;2.
- McGowan, H. A., & Sturman, A. P., 1996. Regional and local scale characteristics of foehn wind events over the South Island of New Zealand. Meteorology and Atmospheric Physics, 58(1), 151-164. https://doi.org/10.1007/BF01027562.
- Mofidi, A., Soltanzadeh, I., Yousefi, Y., Zarrin, A., Soltani, M., Masoompour Samakosh, J., & Miller, S. T., 2015. Modeling the exceptional south Foehn event (Garmij) over the Alborz Mountains during the extreme forest fire of December 2005. Natural Hazards, 75(3), 2489-2518. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1440-9.
- Richner, H. and Th. Gutermann., 2007. Statistical analysis of foehn in Altdorf, Switzerland. Extended Abstracts Volume 2, Int. Conf. Alpine Meteorol., June 4 to 8, 2007, Chambéry, France, 457-460.
https://www.researchgate.net/profile/HansRichner/publication/266889652_Statistical_analysisof_foehn_in_Altdorf_Switzerland/links/547330b70cf24bc8ea19c891/Statistical-analysis-of foehn-in-Altdorf-Switzerland.pdf.
- Speirs, J. C., Steinhoff, D. F., McGowan, H. A., Bromwich, D. H., & Monaghan, A. J., 2010. Foehn winds in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica: The origin of extreme warming events. Journal of Climate, 23(13), 3577-3598. https://doi.org/10.1175/2010JCLI3382.1.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.217-242 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.76651.1224 Open access

# Detection of Temperature Differences due to Urban and Suburban Land Use Changes (Case Study: Urmia City)

**Nasrin Alsadat Bazmi[a*], Zahra Hejazizadeh[b] Parviz Zeaiean Firouzabadi[c] Gholamreza Janbaz Ghobadi[d]**

[a] *PhD in Urban Climate, Islamic Azad University, Nour, Iran*
[b] *Professor in Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran*
[c] *Associate Professor of GIS and Remote Sensing, Kharazmi University,Tehran, Iran*
[d] *Associate Professor, Department of Geography, Islamic Azad University, Noor, Iran.*

***Received: 12 May 2022*** ***Revised: 15 August 2022*** ***Accepted: 29 August 2022***

## Abstract

The study aimed to explore land use changes and their relationship with the surface temperature using Landsat satellite images from 1990 to 2019. For this purpose, the urban land uses were classified and analyzed using 50 land sample positions from the visible composition of the Landsat images using the supervised classification algorithm in the GIS. The results showed that urban lands had undergone significant changes. The surface temperature of the different uses using the glow temperature algorithm showed that free lands at 33.5°C had the highest temperature, while the lowest average temperature at 25.4°C was for the use of gardens. In terms of temperature variability, the gardens at 7.5°C had the most variable average temperature, while the water agricultural zone at 2.1°C had the lowest level of temperature standard deviation. The results of correlation analysis between temperature difference and land use change showed that the correlation coefficient between temperature changes and urban areas was 0.86 and 0.82 in the irrigated agricultural zone. Regarding the use of gardens, waste lands, and marsh areas, the correlation between periodic land use changes and temperature changes was more than 0.8, which is significant at the reliability of 0.95. But at the level of rangelands, rain fed agriculture and water zone, the correlation or significant connection were not observed at the level of confidence.

**Keywords:** Urmia, Temperature Changes, Satellite Images, Land Use, Correlation Coefficient

*.Corresponding author: NasrinAlsadat Bazmi Email: bazmi.nasrin45@yahoo.com Tel:+989123219242

**How to cite this Article:** Kazemi, H., & Shariati, R. (2022). Detection of Temperature Differences due to Urban and Suburban Land Use Changes (Case Study: Urmia City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 217-242.
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.76651.1224**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76651.1224
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۲۴۲-۲۱۷**

مقاله پژوهشی

# آشکارسازی تفاوت‌های دمایی ناشی از تغییرات کاربری شهری و حومه (موردمطالعه: شهرستان ارومیه)

**نسرین‌السادات بزمی[1]- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، ایران.**
**زهرا حجازی‌زاده- استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.**
**پرویز ضیائیان‌فیروزآبادی- دانشیار سنجش‌ازدور دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.**
**غلامرضا جانبازقبادی- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، ایران.**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۷**

**چکیده**

این تحقیق با هدف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان ارومیه و ارتباط آن با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نگاشته شد. بدین منظور کاربری‌های اراضی شهرستان با استفاده از ۵۰ موقعیت نمونه زمینی حاصل از ترکیب مرئی تصاویر لندست با به‌کارگیری الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده در محیط GIS طبقه‌بندی و تحلیل گردید. نتایج نشان داد اراضی شهری با تغییرات چشمگیری روبرو بوده است. بررسی دمای سطحی کاربری‌های مختلف با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی نشان داد اراضی فاقد پوشش گیاهی با ۳۳/۵ درجه سلسیوس بالاترین دما را داشته‌اند؛ درحالی‌که کمترین میانگین دما با ۲۵/۴ درجه سلسیوس مربوط به کاربری باغات بوده است. از لحاظ تغییرپذیری دما، پهنه باغات با ۷/۵ درجه سلسیوس متغیرترین میانگین فضایی دما را داشته‌اند؛ درحالی‌که پهنه

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۲۱۹۲۴۲ Email:bazmi.nasrin45@yahoo.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
بزمی، نسرین السادات، حجازی زاده، زهرا، ضیاییان فیروز آبادی، پرویز، جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۴۰۳. آشکارسازی تفاوت‌های دمایی ناشی از تغییرات کاربری شهری و حومه (مورد مطالعه: شهرستان ارومیه). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۲۴۲-۲۱۷
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76651.1224

کشاورزی آبی با ۲.۱ درجه سلسیوس کمترین میزان انحراف معیار فضایی دما را داشته‌اند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین تفاوت دمایی و تغییرات کاربری اراضی نشان داد ضریب همبستگی بین تغییرات دمایی و تغییرات پهنه‌های شهری برابر ۰/۸٦ و در پهنه کشاورزی آبی برابر ۰/۸۲ بوده است. کاربری باغات، اراضی بایر و پهنه باتلاقی نیز همبستگی بین تغییرات دوره‌ای کاربری اراضی و تغییرات دما بیش از ۰/۸ بوده است و در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار هستند؛ اما در سطح پهنه‌های مراتع، کشاورزی دیم و پهنه آبی، همبستگی یا ارتباط معنی‌داری در سطح اطمینان مذکور مشاهده نگردید.

**کلیدواژه‌ها**: ارومیه، تغییرات دمایی، تصاویر ماهواره‌ای، کاربری اراضی، ضریب همبستگی.

**۱- مقدمه**

یکی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی که امروزه جهان با آن روبروست پدیده تغییر کاربری اراضی است (**موسوی‌و همکاران، ۱۳۹۵**). در طول نیم‌قرن گذشته، سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از جنگل‌زدایی و توسعه شهرها شده است. تغییرات سریع کاربری- پوشش زمین در مناطق شهری تبدیل به نگرانی عمده زیست‌محیطی و علت مشکلات زیست‌محیطی فراوان ازجمله کاهش فضای سبز و توسعه جزیره گرمایی شده است (**علوی پناه، ۱۳۹۲**). تمرکز صنایع و مراکز خدماتی در شهرها و فرصت‌های شغلی مهم‌ترین دلایل مهاجرت به سمت شهرهای بزرگ و افزایش جمعیت شهری است. این امر باعث توسعه فیزیکی و عموماً بدون برنامه شهرها می‌گردد که یکی از پیامدهای آن جزیره حرارتی شهر است (**کاویانی، ۱۳۸۷**).

در دهه‌های اخیر کاربری و پوشش اراضی در کلان‌شهرها تفاوت بسیاری نسبت به حومه‌های آن‌ها پیدا کرده است. این تفاوت‌ها سبب گردیده متوسط درجه حرارت در شهر چند درجه بیشتر از حومه آن باشد با توجه به اثر نامطلوب گرمای مزبور خصوصاً برای شهرهای با اقلیم‌های گرم، مطالعه و بررسی این پدیده ضروری به نظر می‌رسد (**ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲**). تغییرات کاربری اراضی بر طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های محیط‌زیست و منابع طبیعی مانند کیفیت آب، منابع زمینی‌وهوایی، فرآیندها و توابع اکوسیستم‌ها و سیستم‌های آب‌وهوایی تأثیرگذار است (**قادرمزی، ۱۳۸۳**)؛ بنابراین تشخیص به‌موقع و دقیق این نوع تغییرات، پایه و اساس درک بهتر روابط و تعاملات میان انسان و پدیده‌های طبیعی است و درنتیجه مدیریت بهتر و استفاده مناسب‌تر از منابع طبیعی را فراهم می‌کند (**شنانی هویزه و زارعی، ۱۳۹۵**).

در این راستا جیانگ و تیان[1] (۲۰۱۰)، شاخص فضایی درجه حرارت پوشش گیاهی را محاسبه کردند، تا اثرات تغییرات کاربری را در سطح شهر به دست آورند. نتایج نشان داد تغییرات شدید کاربری پوشش زمین منجر به ایجاد جزایر حرارتی می‌شوند. وانگ و همکاران[2] (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER با تحلیل چند زمانه به برآورد رابطهٔ میان الگوی حرارتی شهری و توصیف گرمای بیوفیزیکی در شهر ایندیانا پولیس آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از این تصاویر می‌توان نقشهٔ درجه حرارت سطح زمین را با ماسک کردن آب و پوشش گیاهی با دقت بهتری تهیه کرد. جان و جین[3] (۲۰۱٤) دمای سطح زمین را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در آمریکا بررسی کردند. نتایج نشان داد امکان کاهش دمای هوا در مناطق مسکونی و شهری با استفاده از محوطه محصور در مناطق سبز امکان‌پذیر است. ژاو و جکسون[4] (۲۰۱۵) به بررسی واداشت‌های بیوفیزیکی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و ASTER در نواحی شمالی آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که همزمان با تغییر در پوشش سطح زمین و از بین بردن جنگل و تبدیل آن‌ها به نواحی کشاورزی، دمای سطح خاک و میزان تبخیر و تعرق به‌صورت معنی‌داری تغییر خواهد کرد. سونگ و وو[5] (۲۰۱٦)، به بررسی تأثیر ترکیبی و فیزیکی شهری در ایالت ویسکانسین آمریکا پرداختند. نتایج حاکی از نقش بی‌چون‌وچرای سطوح غیرقابل نفوذ در تنوع جزایر حرارتی مناطق شهری بود. پرافل و پرادیپیکا[6] (۲۰۱۷) تأثیر منفی شهرنشینی در طول زمان و تأثیر آن بر روند افزایش دما و تخریب بوم‌شناختی شهری، با استفاده از داده‌های حرارتی لندست و مطالعات میدانی در شهر لکنونا در هند را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد توزیع فضایی سطح زمین تحت تأثیر تغییرات پوشش زمین و علل آلودگی قرار گرفته است. هی[7] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و سنجنده‌های TM، $ETM^+$، MMS و OLI به ارزیابی سپیدایی سطحی پرداختند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که میزان RMSE در برآورد پوشش برف کمتر از ۰/۰۳٤ است.

**هاشمی دره بادامی و همکاران (۱۳۹٤)** به تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی در شهر رشت با استفاده از تصاویر لندست پرداختند. نتایج نشان داد در بیشتر منطقه موردمطالعه دمای سطح زمین دارای روند افزایشی و کسر پوشش گیاهی دارای روند کاهشی است. **مزیدی و همکاران (۱۳۹۵)** اقدام به بررسی تأثیر توسعه شهری و تغییرات کاربری بر عناصر آب‌وهوایی با استفاده تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست در دو شهر شیراز و فسا نمودند. نتایج نشان داد کمیت‌های کمینه دما و

1 Jiang, and Tian
2 Wong et al
3 Jun and Jean
4 Zhao and Jackson
5 Song and Wu
6 Prafull and Pradipika
7 He et al

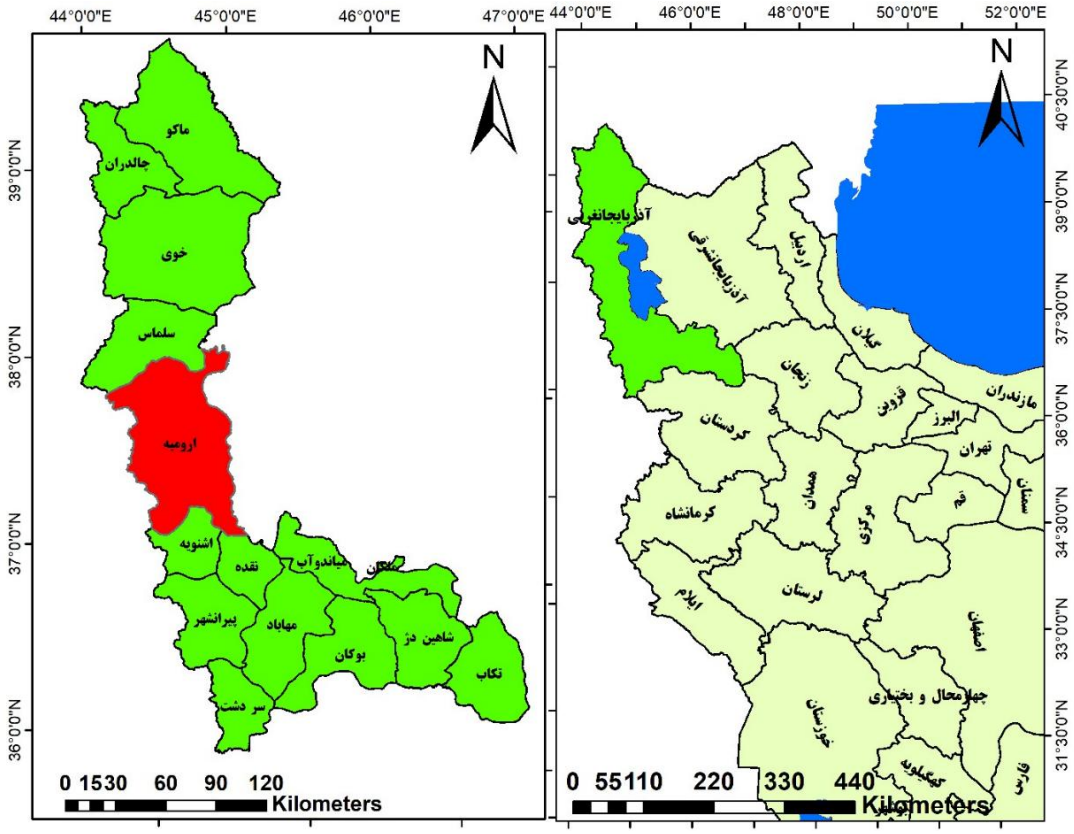
رطوبت نسبی فسا و کمینه و بیشینه رطوبت نسبی شیراز روند کاهشی و سایر کمیت‌ها روند افزایشی داشته‌اند. **نارنگی فرد و همکاران (۱۳۹۵)** به بررسی واکاوی الگوهای دمایی در ارتباط با کاربری‌های شهری با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست در شهر کرمانشاه پرداختند. یافته‌های پژوهش بیانگر پنج دامنه دمایی و سه کاربری مسکونی، پوشش گیاهی و بایر استخراج شده در شهر بود. **کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹٦)** به پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹٤-۱۳٦٤ با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست پرداختند. نتایج نشان داد که اراضی ساخته شده با رشد ۹۰ درصدی و اراضی کشاورزی با کاهش چشمگیری مواجه بوده‌اند. **ذرتی پور و همکاران (۱۳۹۸)** با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور به تأثیر کاربری اراضی بر شاخص حرارتی، سپس کارایی باندهای حرارتی در تعیین دمای کاربری اراضی در بندر امام خمینی استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد، مناطق صنعتی و کارخانه‌ها، با جذب طول‌موج مادون‌قرمز حرارتی و افزایش گسیل مندی، نسبت به پوشش‌های درختی و رودخانه‌ها تأثیر بیشتری در بالا بردن میانگین نسبی دمای منطقه در محدوده صنعتی و شهری داشته‌اند.

دمای سطح زمین (LST) عامل مهم در مطالعات جهانی و تغییر و تعادل گرماست و به‌عنوان یک نماینده برای تغییر آب‌وهوا به شمار می‌رود (سریواستوا[1]، ۲۰۰۹). به‌طوری‌که عامل مهمی در کنترل فیزیکی-شیمیایی و فرآیندهای زیستی زمین محسوب می‌شود (**علوی‌پناه، ۱۳۸۷**). لذا با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این پژوهش، تحلیل فضایی تغییرات دمای ارومیه در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور است.

## ۲- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه پژوهش، شهرستان ارومیه بین طول در استان آذربایجان غربی در شمال غرب کشور است. این شهرستان از لحاظ مساحت با داشتن وسعتی در حدود ۵۳۱۲ کیلومترمربع (۱٤/۲ درصد استان) وسیع‌ترین شهرستان استان آذربایجان غربی و مرکز این استان است. طیف ارتفاعی این شهرستان از ۱۰۰۰ متر تا بیش از ۳۵۰۰ متر از سطح دریا است که ازنظر مختصات جغرافیائی در ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ٤۵ درجه و ٤ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. شکل (۱).

1 Srivastava




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه**

## ۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از تحلیل‌های آماری شامل همبستگی و اندازه‌گیری وسعت هر یک از تغییرات کاربری‌ها و تصاویر ماهواره‌ای لندست طی ۵ دوره آماری از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹، در شهرستان ارومیه موردبررسی و آشکارسازی قرار گرفت. سپس تأثیرات دمایی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان ارومیه با استفاده از تحلیل‌های آمار فضایی موردبررسی قرار گرفت. برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ تا ۸ با گام‌های زمانی ۸ ساله با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده[1] استفاده شده است.

برای رسیدن به هدف تحقیق از دو دسته داده استفاده شد. دسته اول شامل داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ی لندست از آرشیو سایت تحقیقات زمین‌شناسی ایالات متحد (USGS) و دسته دوم داده‌های زمینی برداشت شده از ایستگاه هواشناسی ارومیه است. داده‌های سنجش‌ازدوری که شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ تا ۸ طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۹ برای ماه می یا اردیبهشت‌ماه هرسال است. با توجه به اینکه

1 Supervised Classification

تصاویر سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ که مربوط به لندست ۷ است، در این دوره دارای ۲۱ درصد داده مفقوده بود، بنابراین به‌جای تصاویر این ماهواره از تصاویر لندست ۵ برای این دوره استفاده گردید. دسته دوم از داده‌های دمای سطح زمین بود که از باندهای حرارتی لندست استخراج گردید و برای کنترل آن از داده‌های دمای ثبت شده ایستگاه سینوپتیک ارومیه نیز استفاده گردید.

**۱-۳- آشکارسازی تغییرات کاربری‌های مختلف**

جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه، ابتدا کاربری‌های اراضی شهرستان ارومیه با استفاده از چندین موقعیت نمونه‌برداری زمینی[1] حاصل از ترکیب مرئی تصاویر لندست، تصاویر Google Earth و مشاهدات میدانی با به‌کارگیری الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده[2] در محیط GIS طبقه‌بندی گردید.

سپس تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، اقدام به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده گردید. در تحقیق حاضر از ضرایب صحت کلی[3]، ضریب کاپا[4]، صحت تولیدکننده[5]، صحت کاربر[6]، خطای Omission و خطای Commission جهت بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده گردید. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه ۱ به دست می‌آید (رید[7]، ۱۹۹۸).

$$\mathbf{OA} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{N}}\sum \mathbf{P_{ii}} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا؛ OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum \boldsymbol{P_{ii}}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا است. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرائی که مقایسه دقت طبقه‌بندی موردتوجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. شاخص کاپا از طریق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$\mathbf{Kappa} = \frac{\mathbf{po - pc}}{\mathbf{1 - pc}} \qquad (۲)$$

در رابطه ۲؛ po درستی مشاهده شده و pc توافق مورد انتظار است. دقت تولیدکننده، احتمال این که یک پیکسل در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک

1 Ground Trouthing
2 Maximum likelihood
3 Overall accuracy
4 Kappa coefficient
5 Producer’s Accuracy
6 User’s Accuracy
7 Ridd

کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد می‌باشد که از طریق روابط ۳ و ٤ محاسبه می‌گردند (رید، ۱۹۹۸).

$$\textbf{Producers Accuracy} = \frac{\textbf{ta}}{\textbf{tg}} * \textbf{100} \quad (۳)$$

$$\textbf{Users Accuracy} = \frac{\textbf{ta}}{\textbf{n}} * \textbf{100} \quad (۴)$$

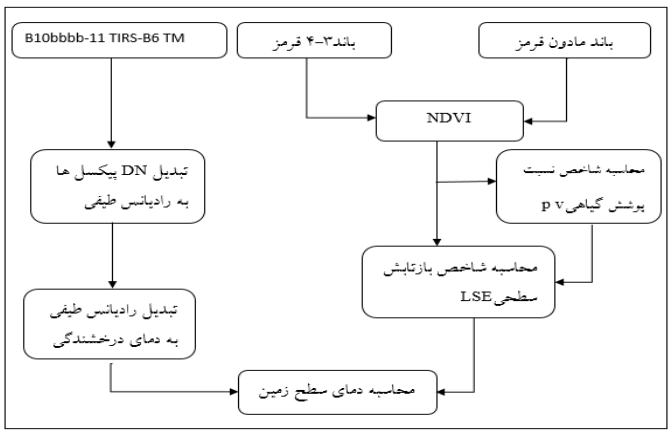
در روابط بالا؛ PA درصد دقت کلاس a برای دقت تولیدکننده، ta تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به‌عنوان کلاس a، ga تعداد پیکسل‌های کلاس a درواقعیت زمینی، UA درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر و n1 تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه‌بندی است.

### ۲-۳- محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی لندست

برای محاسبه دمای تابشی ابتدا باید داده‌های مادون‌قرمز حرارتی به رادیانس تبدیل شود. درواقع پس از استفاده از عکس قانون پلانک (برای تبدیل رادیانس به دمای تابشی) لازم است دمای تابشی به دمای واقعی تبدیل شود که از رابطه (۵) دمای تابشی محاسبه می‌شود (**المدرسی و محمدپور، ۱۳۹۳**).

$$Tb = \frac{K2}{Ln[\frac{K1}{R} + 1]} \quad (۵)$$

در این رابطه دمای تابشی برحسب درجه کلوین می‌باشد و k1 و k2 ضریب کالیبراسیون هستند که مقدار آن در فرا داده تصاویر موجود می‌باشند. الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی لندست در شکل (۲) آورده شده است.




**شکل ۲- الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین از باندهای حرارتی لندست**

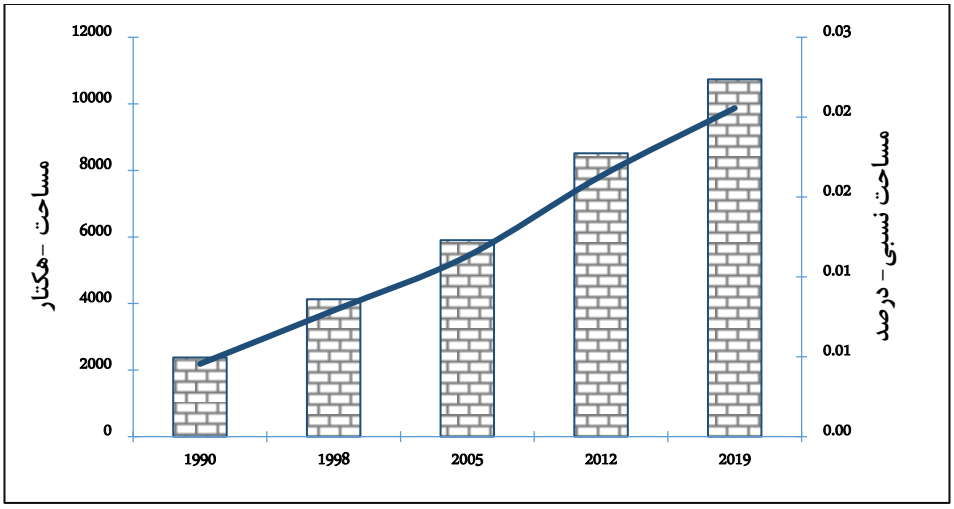
## ٤- نتایج و بحث

### ۱-٤- تحلیل تغییرات کاربری اراضی

نتایج حاصل از تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهرستان ارومیه طی دوره آماری موردبررسی (۱۹۹۰-۲۰۱۹)، در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس نتایج، کاربری اراضی شهری در شهرستان ارومیه طی دوره آماری ۳۰ ساله موردبررسی با تغییرات چشمگیری روبرو بوده است. این کاربری طی همه دوره‌های موردبررسی روند افزایشی داشته است؛ به‌طوری‌که مساحت این کاربری از ۲۰۰۰ هکتار در سال ۱۹۹۰، به بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۹، رسیده است و با افزایشی ۵ برابری طی دوره ۳۰ سال مواجه بوده است (شکل ۳). بر اساس نتایج، بیشترین ضریب رشد کاربری شهری مربوط به دوره ۱۹۹۰-۱۹۹۸ بوده است که در این دوره شهر ارومیه با یک رشد ۰/۷٤ درصدی روبرو بوده است و کمترین میزان رشد نیز در دوره آخر یعنی ۲۰۱۲-۲۰۱۹ ثبت شده است که برابر ۰/۲٦ مساحت شهر در سال ۲۰۱۲ بوده است (جدول ۱).

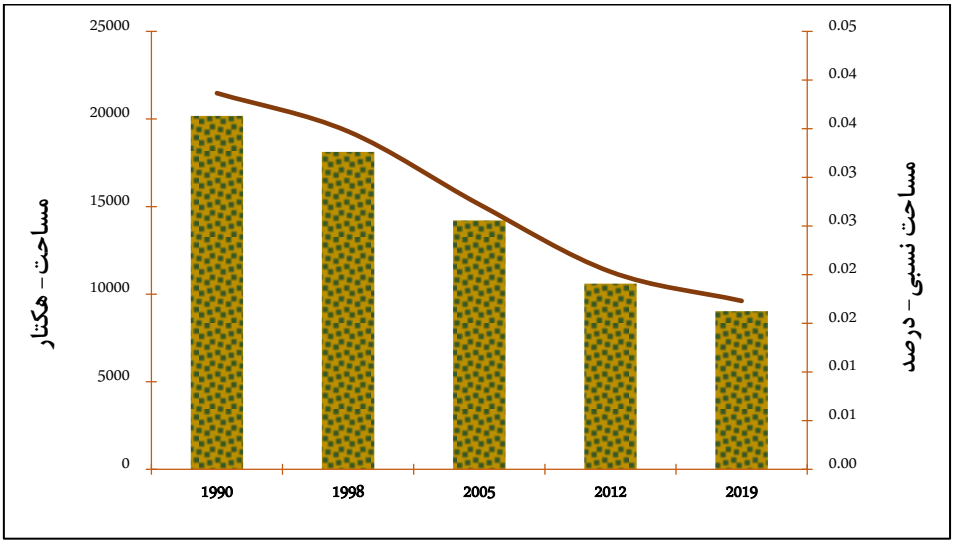
**جدول ۱- درصد تغییرات دوره‌ای کاربری‌های اراضی آشکارشده در شهرستان ارومیه طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۹**

| سال | پهنه باتلاق | پهنه بایر | پهنه باغات | پهنه مراتع | پهنه کشاورزی دیم | پهنه کشاورزی آبی | پهنه آب | پهنه شهری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 1998 | -0/10 | -0/10 | 0/13 | -0/01 | -0/08 | 0/34 | 0/03 | 0/74 |
| 2005 | -0/22 | -0/20 | 0/12 | 0/05 | -0/05 | 0/15 | -0/09 | 0/43 |
| 2012 | -0/25 | -0/12 | 0/18 | -0/04 | -0/03 | 0/10 | -0/05 | 0/44 |
| 2019 | -0/15 | -0/23 | 0/10 | -0/10 | 0/02 | 0/21 | -0/26 | 0/26 |



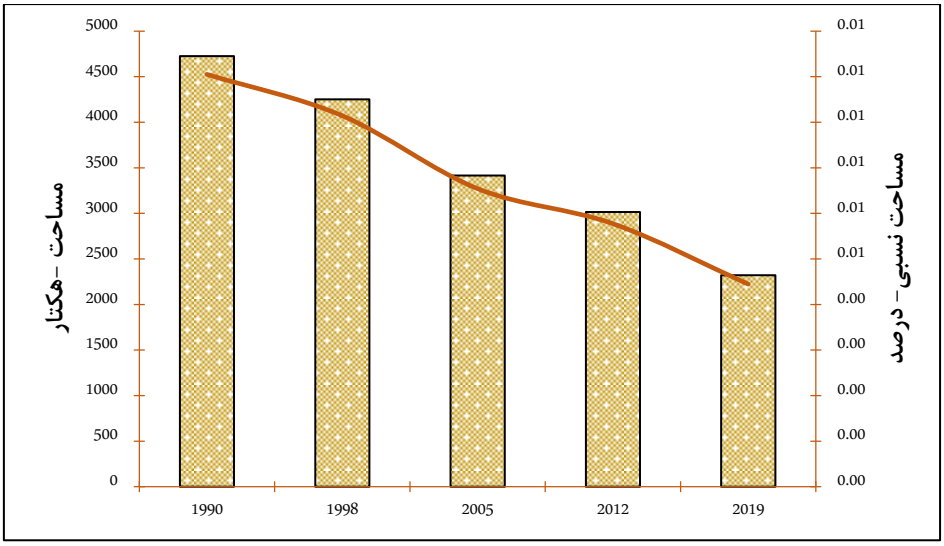

**شکل ۳- تغییرات مساحت کاربری اراضی شهری در شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

عرصه‌های باتلاقی و لجن‌زارهای غرب دریاچه ارومیه که در بخش شرقی شهرستان ارومیه قرار دارند، در سال ۱۹۹۹۰ بیش از ٤ درصد از مساحت کل شهرستان ارومیه که برابر ۲۰ هزار هکتار از مساحت اراضی شهرستان بود را در برگرفته بود اما این کاربری روند کاهشی چشمگیری را طی دوره ۳۰ ساله ۱۹۹۰-۲۰۱۹ طی کرده است. همان‌طور که در شکل (٤) دیده می‌شود، طی دوره موردبررسی از مساحت ۲۰ هزار هکتار به کمتر از ٦۰۰۰ هکتار رسیده است. بیشترین کاهش در این کاربری طی دو دوره ۲۰۰۵ و ۲۰۱۲ ثبت شده است که در این دو دوره مساحت این کاربری به ترتیب ۲۲ درصد و ۲۵ درصد کاهش داشته است.



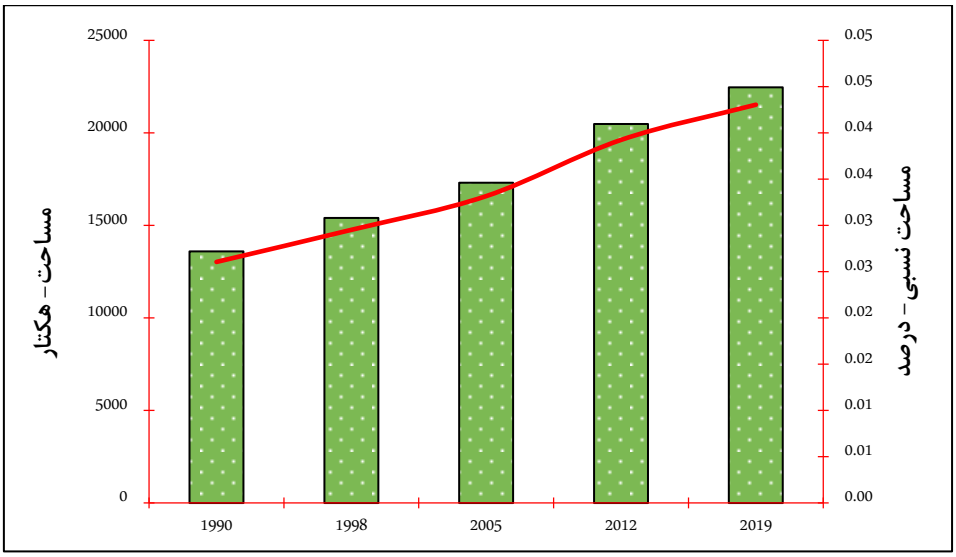

**شکل ٤- تغییرات مساحت کاربری اراضی پهنه‌های باتلاقی شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

اراضی بایر نیز طی دوره ۳۰ ساله موردبررسی روند کاهشی داشته است. به‌طوری‌که طی دوره موردبررسی مساحت این اراضی در شهرستان ارومیه از ٤۵۰۰ هکتار به کمتر از ۲۵۰۰ هکتار رسیده است. بیشترین نرخ تغییرات در این کاربری اراضی مربوط به دو دوره ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ بوده است که در این دوره‌ها، این کاربری به ترتیب ۲۳ درصد و ۲۵ درصد کاهش مساحت داشته‌اند (شکل ۵).



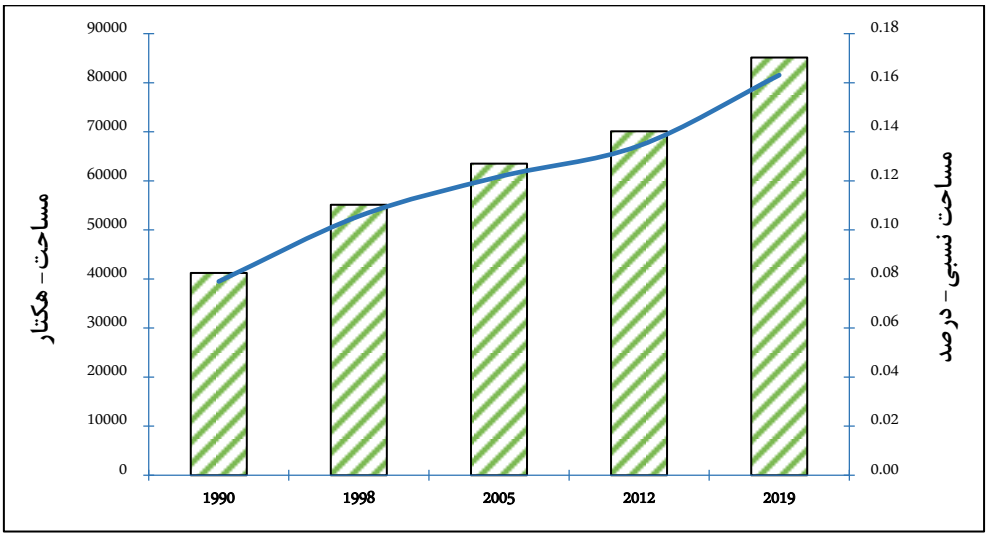

**شکل ۵- تغییرات مساحت کاربری اراضی بایر شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

اراضی با کاربری باغات نیز طی همه دوره‌های موردبررسی روند افزایشی داشته است (شکل ٦). این کاربری در سال ۱۹۹۰ مساحتی در حدود ١٤ هزار هکتار از شهرستان ارومیه را در برگرفته بود؛ درحالی‌که در سال ۲۰۱۹ مساحت آن به بیش از ۲۰ هزار هکتار رسیده است. در همه دوره‌های موردبررسی مساحت این کاربری روند افزایشی داشته است. بیشترین میزان افزایش نرخ تغییرات استخراج شده مربوط به دوره ۲۰۱۲ بوده است که در این دوره مساحت باغات شهرستان ۱۸ درصد نسبت به سال ۲۰۰۵ افزایش داشته است (جدول ۱).



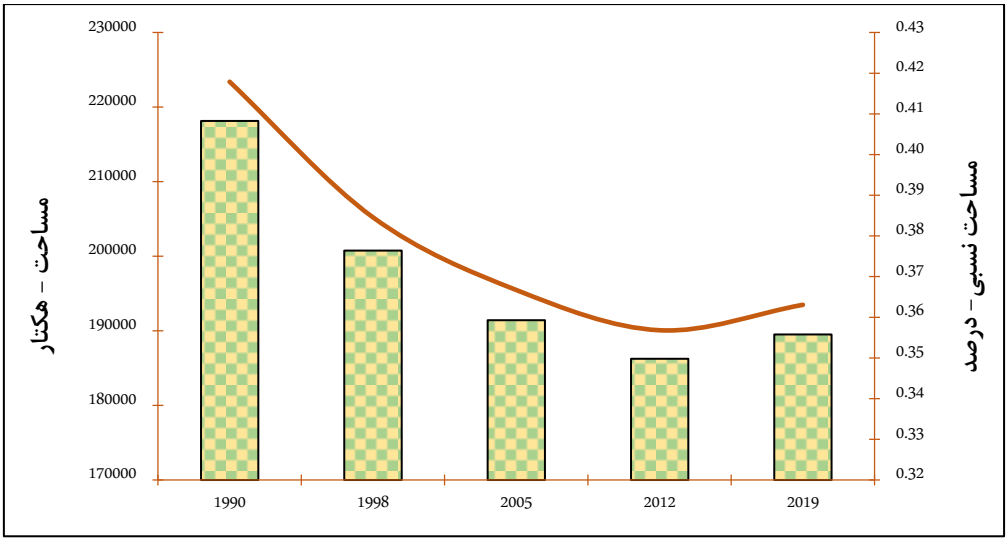
**شکل ٦- تغییرات مساحت کاربری اراضی پهنه باغات شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

اراضی با کاربری کشاورزی آبی نیز همچون اراضی باغی طی همه دوره‌های موردبررسی روند افزایشی داشته است. این کاربری در سال ۱۹۹۰ مساحتی در حدود ٤۰ هزار هکتار از شهرستان ارومیه را در برگرفته بود درحالی‌که در سال ۲۰۱۹ مساحت آن به بیش از ۸۰ هزار هکتار رسیده است (شکل ۷). بر اساس نتایج بیشترین میزان افزایش مربوط به دوره ۱۹۹۸ و سپس ۲۰۱۹ بوده است که در این دوره مساحت پهنه کشاورزی شهرستان ۳٤ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ و ۲۱ درصد نسبت به سال ۲۰۱۲ افزایش داشته است (جدول ۱).



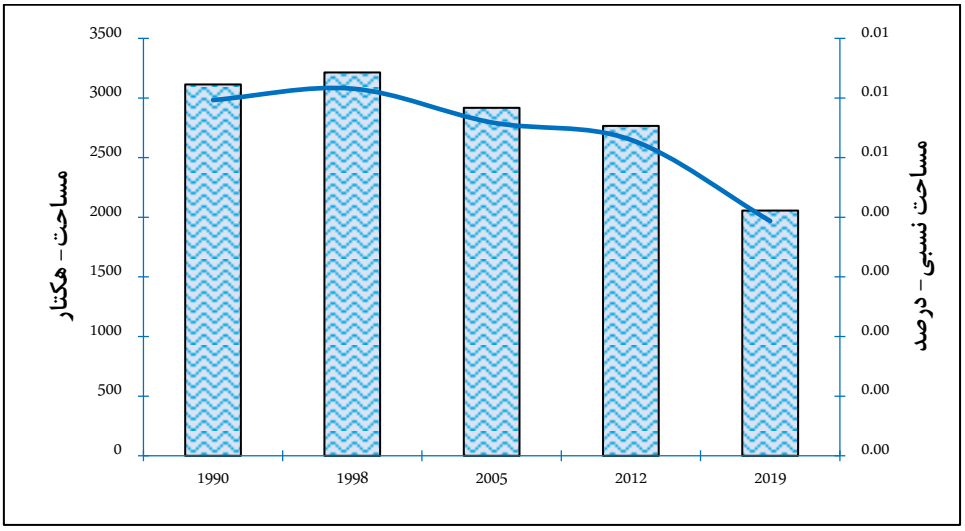

**شکل ۷- تغییرات مساحت کاربری اراضی پهنه کشاورزی آبی شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

بررسی تصاویر نشان داد که پهنه اراضی کشاورزی دیم، بعد از پهنه مراتع، وسیع‌ترین کاربری اراضی شهرستان ارومیه است؛ اما برخلاف اراضی کشاورزی آبی که روند افزایشی دارد، اراضی کشاورزی دیم با شیب نسبتاً ملایمی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ روند کاهشی داشته تا اینکه از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ حدود ۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. شکل (۸).



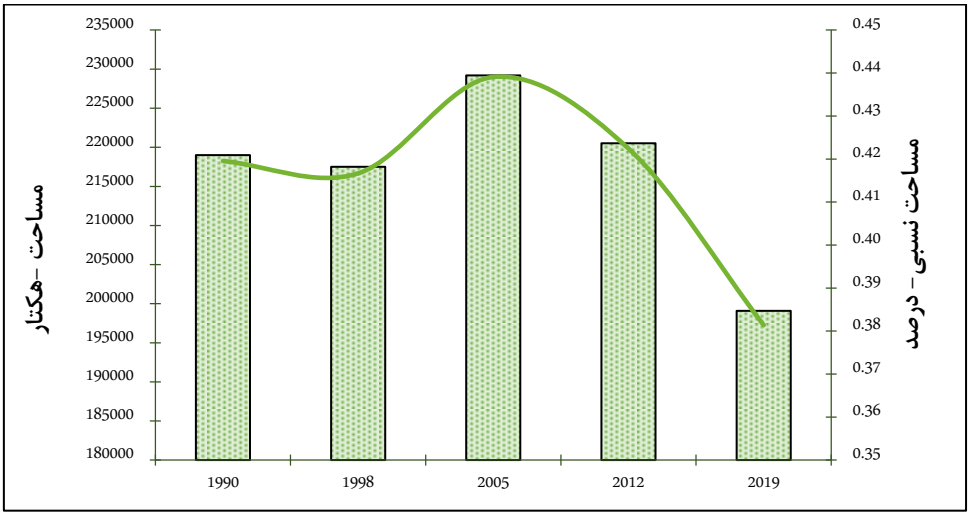

**شکل ۸- تغییرات مساحت کاربری اراضی پهنه کشاورزی دیم شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

پهنه‌های آبی نیز در سطح شهرستان ارومیه روند کاهشی داشته‌اند. این پهنه بیشترین میزان کاهش را در دوره ۲۰۱۲-۲۰۱۹ داشته است به‌گونه‌ای که مساحت پهنه آبی در سال ۲۰۱۹، حدود ۲۶ درصد نسبت به سال ۲۰۱۲ کاهش داشته است (شکل ۹ و جدول ۱).




**شکل ۹- تغییرات مساحت کاربری اراضی پهنه‌های آبی شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

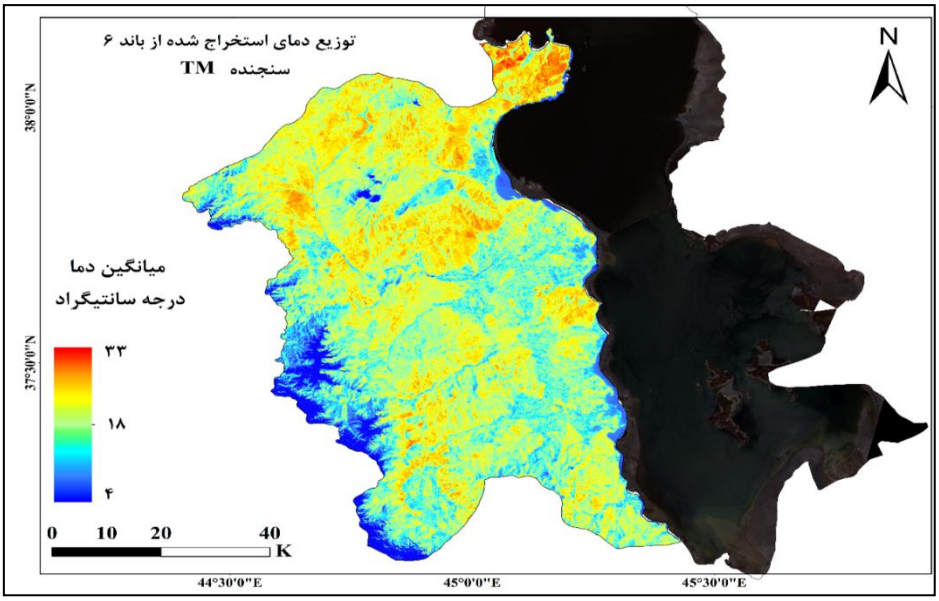
مراتع که وسیع‌ترین پهنه پوشش اراضی شهرستان ارومیه است، طی دوره موردبررسی دو روند متفاوت را طی کرده است. از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۸ این اراضی تغییر قابل‌توجهی نداشته است اما از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ این اراضی روند افزایشی داشته‌اند. درحالی‌که بعد از سال ۲۰۰۵ اراضی مرتعی شهرستان روند کاهشی قابل‌ملاحظه‌ای را طی کرده است. در سال ۲۰۱۹ وسعت مراتع شهرستان با ۱۰ درصد کاهش نسبت به سال ۲۰۱۲، به کمترین وسعت خود طی دوره آماری موردبررسی یعنی کمتر از ۲۰ هزار هکتار رسید. (شکل ۱۰ و جدول ۱).




**شکل ۱۰- تغییرات مساحت کاربری اراضی مراتع شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردمطالعه**

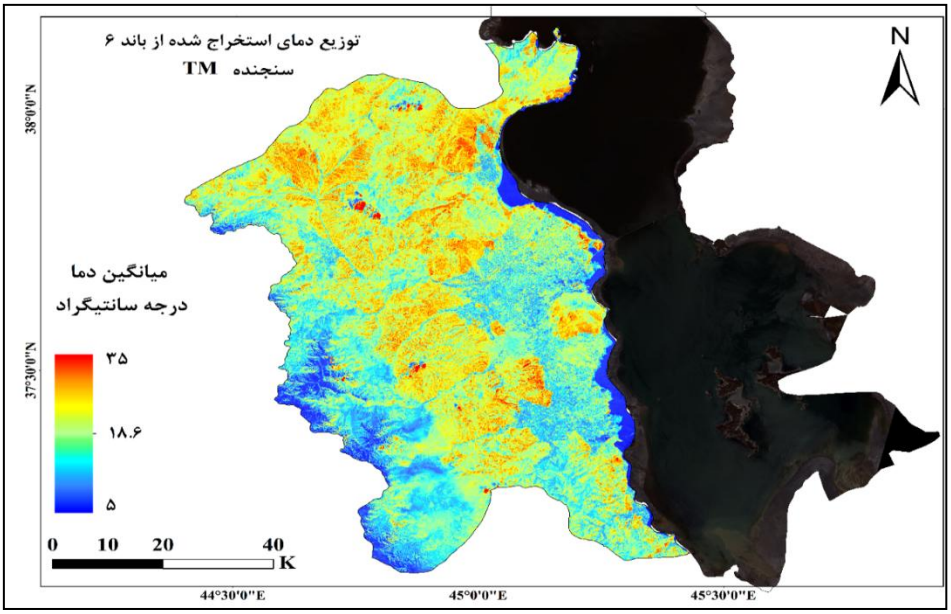
**۲-٤- تغییرات دمایی**

در این بخش ویژگی‌های دمایی شهرستان ارومیه طی ۳ دهه اخیر با استفاده از تصاویر حرارتی باندهای ماهواره لندست موردبررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۱۱) توزیع فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در ماه می سال ۱۹۹۰، ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل، دمای سطح شهرستان از ٤ تا ۳۳ درجه سلسیوس متفاوت بوده است. ارتفاعات غربی شهرستان که عموماً پوشیده از برف بوده‌اند، در این دوره دمایی در حدود ٤ درجه سلسیوس داشته‌اند درحالی‌که اراضی بایر و اراضی تحت کشاورزی دیم شهرستان بالاترین دما را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۲۰ درجه سلسیوس بوده است درحالی‌که انحراف معیار فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ٤ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین در این ضریب تغییرپذیری فضایی دما در سطح شهرستان ارومیه در دوره اول برابر ۱۵ درصد میانگین بوده است.



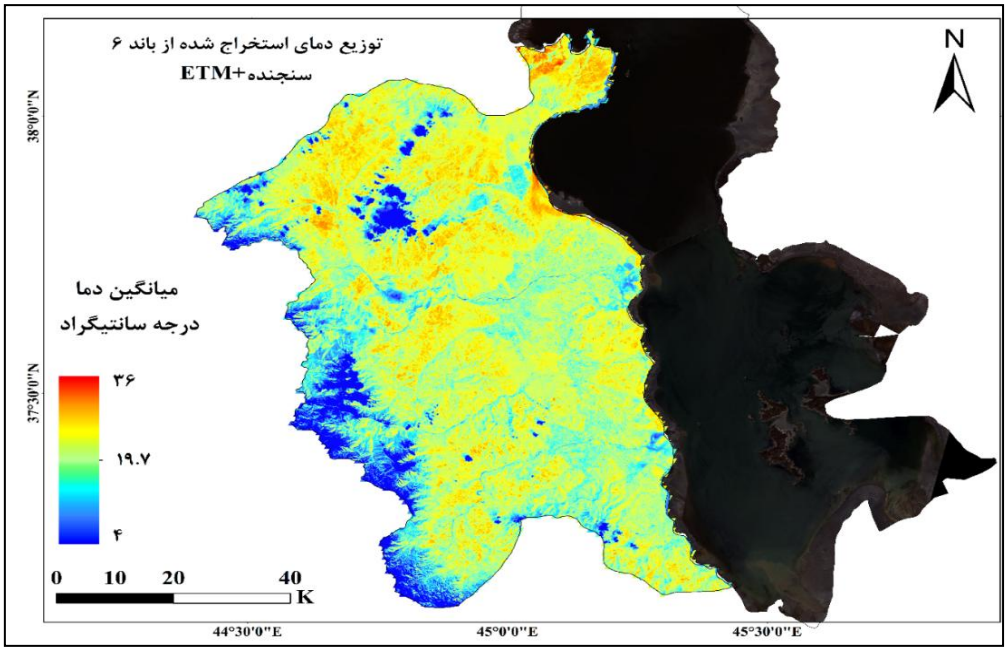

**شکل ۱۱- ویژگی‌های دمای سطح زمین استخراج شده از باند ٦ ماهواره لندست ۵ با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی برای دوره اول**

در شکل (۱۲) توزیع فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه برای دوره دوم ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، دمای سطح شهرستان از ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بوده است. ارتفاعات غربی شهرستان که عموماً پوشیده از برف بوده‌اند، در این دوره دمایی در حدود ۵ درجه سلسیوس داشته‌اند درحالی‌که اراضی بایر و اراضی تحت کشاورزی دیم شهرستان، بالاترین دما را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۱۹/۳ درجه سلسیوس بوده است درحالی‌که انحراف معیار فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۵/۲ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین در این ضریب تغییرپذیری فضایی دما در سطح شهرستان ارومیه طی دوره دوم برابر ۲٦ درصد میانگین بوده است.



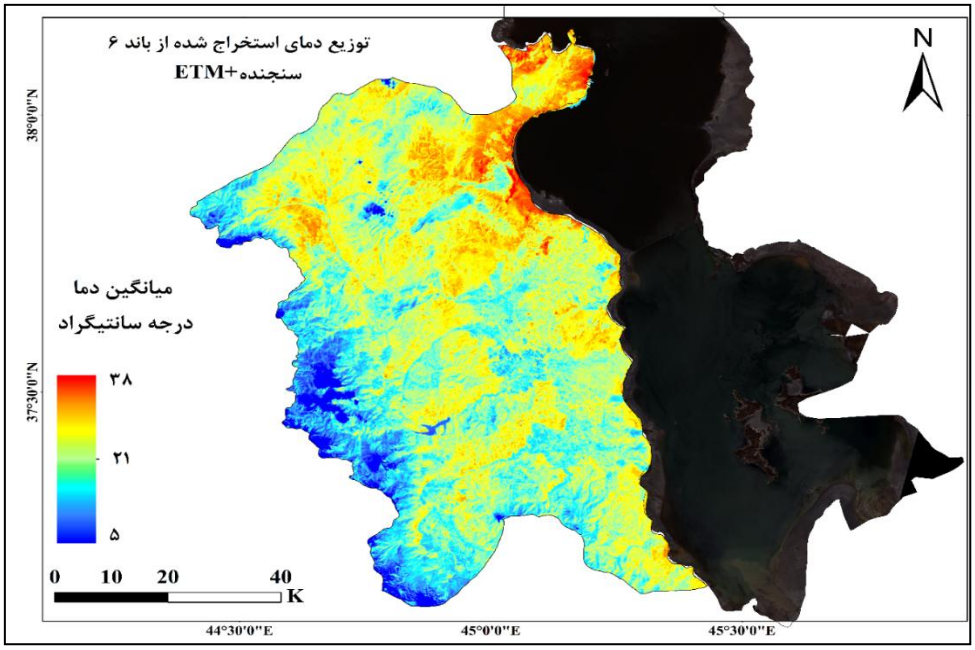

**شکل ۱۲- ویژگی‌های دمای سطح زمین استخراج شده از باند ٦ ماهواره لندست ۵ با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی برای دوره دوم**

در شکل (۱۳) توزیع فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه برای دوره سوم، ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل، دمای سطح شهرستان از ٤ تا ٣٦ درجه سلسیوس متفاوت بوده است. ارتفاعات غربی شهرستان که عموماً پوشیده از برف بوده‌اند، در این دوره دمایی در حدود ۵ درجه سلسیوس داشته‌اند درحالی‌که اراضی بایر و اراضی تحت کشاورزی دیم شهرستان بالاترین دما را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۲۰/۱ درجه سلسیوس بوده است درحالی‌که انحراف معیار فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۵/۲ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین ضریب تغییرپذیری فضایی دما در سطح شهرستان ارومیه در دوره سوم برابر ۲۸ درصد میانگین بوده است.



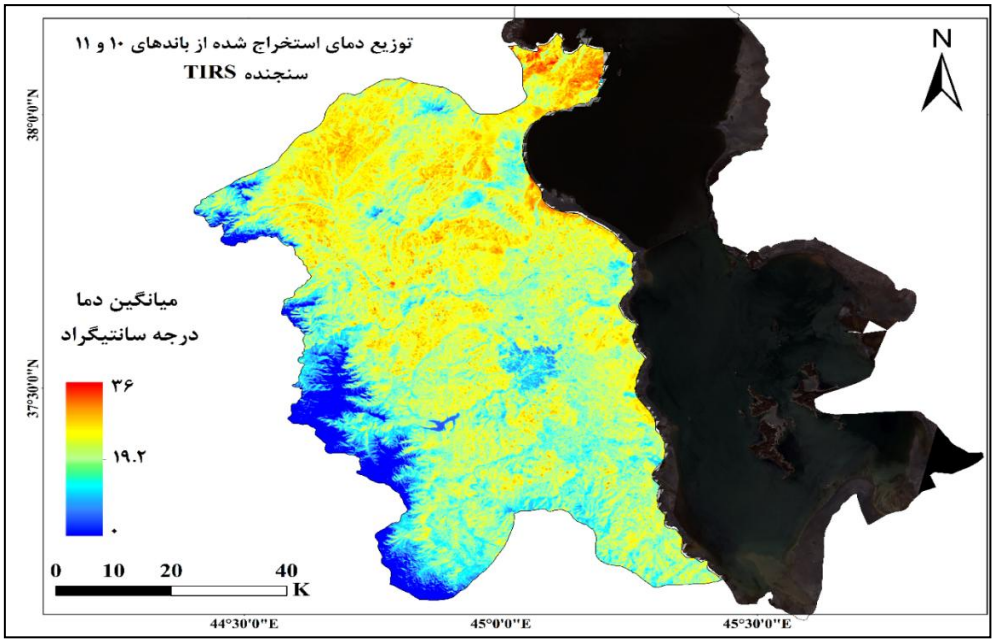

**شکل ۱۳- ویژگی‌های دمای سطح زمین استخراج شده از باند ٦ ماهواره لندست ۵ با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی برای دوره سوم**

در شکل (١٤) توزیع فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه برای دوره چهارم، ارائه شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، دمای سطح شهرستان از ۵ تا ۳۸ درجه سلسیوس متغیر بوده است. ارتفاعات غربی شهرستان که عموماً پوشیده از برف بوده‌اند، در این دوره دمایی در حدود ۵ درجه سلسیوس داشته‌اند درحالی‌که اراضی بایر و اراضی تحت کشاورزی دیم شهرستان بالاترین دما را که بالاتر از ۳۳ درجه سلسیوس بوده است به خود اختصاص داده است. میانگین فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۲۰/٦ درجه سلسیوس و انحراف معیار فضایی نیز برابر ۵/۵ درجه سلسیوس بوده است. بر این اساس ضریب تغییرپذیری فضایی دما در سطح شهرستان ارومیه در دوره چهارم برابر ٢٦ درصد میانگین بوده است.




**شکل ١٤- ویژگی‌های دمای سطح زمین استخراج شده از باند ٦ ماهواره لندست ۵ با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی برای دوره چهارم**

توزیع فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در طی دوره پنجم نشان می‌دهد که دمای سطح شهرستان از ۵ تا ٣٦ درجه سلسیوس متفاوت بوده است. ارتفاعات غربی شهرستان که عموماً پوشیده از برف بوده‌اند، در این دوره دمایی در حدود ۵ درجه سلسیوس داشته‌اند درحالی‌که اراضی بایر و اراضی تحت کشاورزی دیم شهرستان بالاترین دما را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین فضایی دمای سطح شهرستان در این دوره برابر ۲۰/۳ درجه سلسیوس و انحراف معیار فضایی نیز برابر ٤/٩ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین ضریب تغییرپذیری فضایی دما در سطح شهرستان ارومیه در دوره پنجم برابر ٢٦ درصد میانگین بوده است (شکل ۱۵)



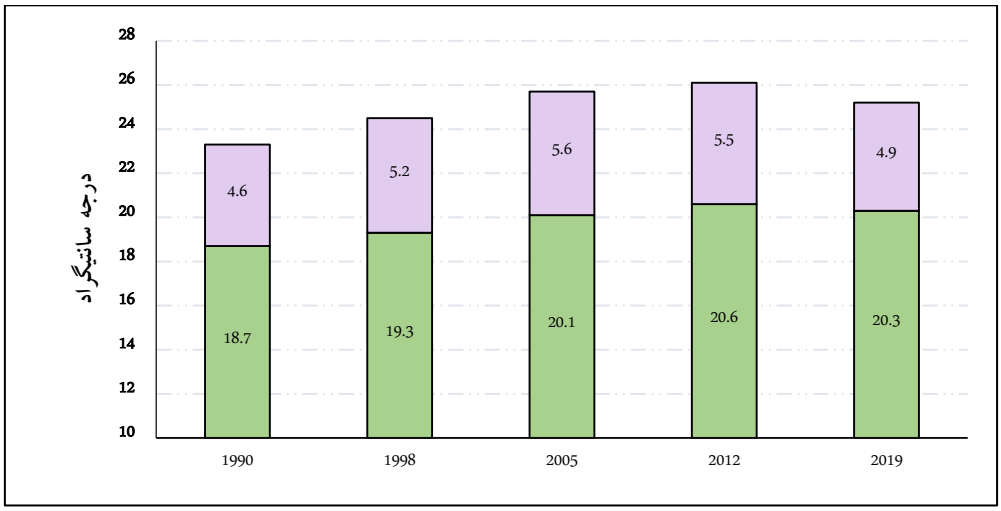

**شکل ۱۵- ویژگی‌های دمای سطح زمین استخراج شده از باند ٦ ماهواره لندست ۵ با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی برای دوره پنجم**

در جدول (۲) میانگین فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه طی ۵ دوره موردبررسی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، میانگین دمای سطح شهرستان طی دوره موردبررسی یک‌روند افزایشی داشته است به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۰، میانگین دمای سطح شهر برابر ۱۸/۷ درجه سلسیوس بوده است درحالی‌که در سال ۲۰۱۹ این میانگین به ۲۰/۳ درجه سلسیوس رسیده است که نشان‌دهنده افزایش ۱/۷ درجه سلسیوس در میانگین دمای سطح شهرستان ارومیه طی ۳۰ سال اخیر است. علاوه بر میانگین دما، دمای بیشینه ارومیه نیز همواره روند افزایشی داشته است. به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۰ برابر ۳۳ درجه سلسیوس بوده است اما بیشینه دما در سال ۲۰۱۹ این دما به ۳٦ درجه سلسیوس رسیده است.

**جدول ۲- مشخصات آمار فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در دوره‌های آماری موردبررسی- استخراج شده از باندهای حرارتی تصاویر لندست با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی**

| دوره | میانگین فضایی به درجه سلسیوس | انحراف معیار فضایی به درجه سلسیوس | ضریب تغییرپذیری دما به درصد | کمینه دما | بیشینه دما |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۹۹۰ | ۱۸/۷ | ٤/٦ | ۲۱ | ٤ | ۳۳ |
| ۱۹۹۸ | ۱۹/۳ | ۵/۲ | ۲٦ | ۵ | ۳۵ |
| ۲۰۰۵ | ۲۰/۱ | ۵/٦ | ۲۸ | ٤ | ۳٦ |
| ۲۰۱۲ | ۲۰/٦ | ۵/۵ | ۲٦ | ۵ | ۳۸ |
| ۲۰۱۹ | ۲۰/۳ | ٤/۹ | ۲٦ | ٤ | ۳٦ |

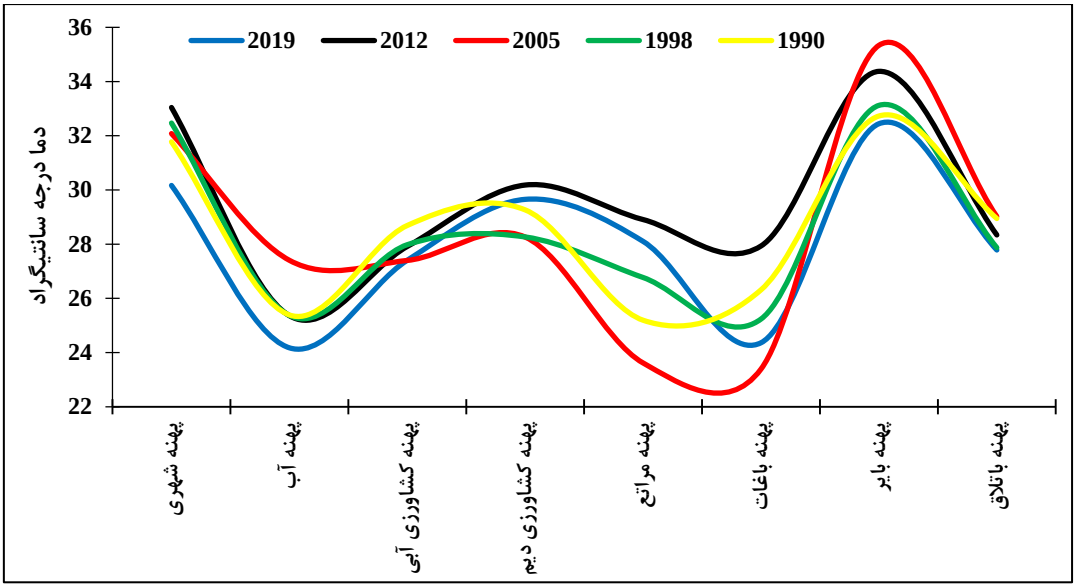
علاوه بر میانگین فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه، انحراف معیار فضایی و به‌تبع آن ضریب تغییرپذیری فضایی دمای هوای سطح شهرستان ارومیه روند افزایشی داشته است (شکل ١٦)؛ بنابراین در کنار افزایش دمای سطح شهرستان ارومیه توزیع فضایی دمای سطح شهرستان نیز به سمت ناهمگون‌تر شدن تمایل پیدا کرده است.




**شکل ١٦- مشخصات آمار فضایی میانگین و انحراف معیار فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در دوره‌های آماری موردبررسی- استخراج شده از باندهای حرارتی تصاویر لندست با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی**

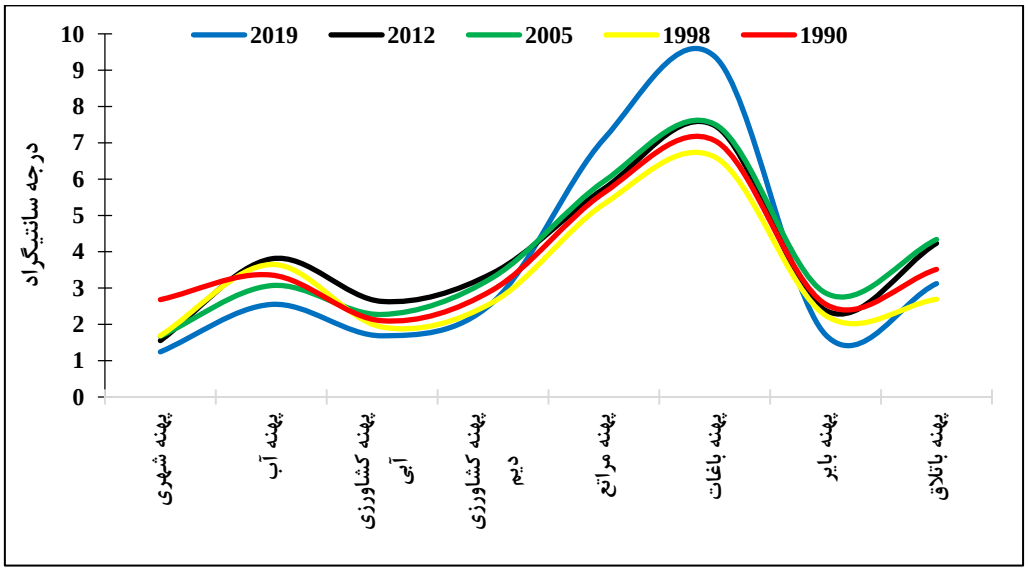
### ٤-٣- تحلیل ویژگی‌های دمایی طبقات کاربری اراضی

در شکل (١٧) روند تغییرات میانگین فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در کاربری‌های موردمطالعه آورده شده است. اراضی با پوشش بایر یا اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی در سطح شهرستان بالاترین دما را داشته‌اند. دمای این کاربری‌ها در ماه می (٢٧ اردیبهشت) به‌طور متوسط به ٣٣/٥ درجه سلسیوس رسیده است. درحالی‌که اراضی با کاربری پهنه‌های شهری، از لحاظ میانگین فضایی دمای هوا، در جایگاه دوم بین کاربری‌های استخراج شده، قرار گرفته است و به ٣٢/٤ درجه سلسیوس رسیده است. کمترین میانگین دما، مربوط به کاربری باغات سطح شهرستان ارومیه بوده است که میانگین فضایی دمای سطح این کاربری به ٢٥/٤ درجه سلسیوس رسیده است (دمای روز ١٧ می یا ٢٧ اردیبهشت) و بعد از این کاربری، پهنه‌های آبی کمترین دما را داشته‌اند به‌طوری‌که میانگین دمای این پهنه‌ها به ٢٥/٨ درجه سلسیوس رسیده است.




**شکل ۱۷- میانگین فضایی دمای هرکدام از کاربری‌های اراضی استخراج شده، طی ۵ دوره آماری موردبررسی**

از لحاظ تغییرپذیری دما در سطح هرکدام از کاربری‌های موردبررسی، مشخص گردید که پهنه باغات متغیرترین میانگین فضایی دما را داشته‌اند به‌طوری‌که شاخص انحراف معیار فضایی دما در سطح این کاربری به ۵/۵ درجه سلسیوس می‌رسد درحالی‌که پهنه کشاورزی آبی و سپس پهنه آبی کمترین میزان انحراف معیار فضایی دما را داشته‌اند که به ترتیب برابر با ۱/ ۲ و ۲/۷ درجه سلسیوس بوده است (شکل ۱۸).




**شکل ۱۸- انحراف معیار فضایی دمای هرکدام از کاربری‌های اراضی استخراج شده، طی ۵ دوره آماری موردبررسی**

### ٤-٤- تغییرات دوره‌ای دما در پهنه کاربری‌های آشکار شده

در جدول (۳) تغییرات میانگین فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در هرکدام از کاربری‌های اراضی آشکارشده، آورده شده است. بر اساس نتایج میانگین دمای پهنه شهری در سال ۱۹۹۰، برابر ۳۱/۵ درجه سلسیوس بوده است درحالی‌که در سایر دوره‌های موردبررسی میانگین دمای سطح این کاربری بیشتر بوده و روند افزایشی داشته است.

**جدول ۳- مشخصات آمار فضایی دمای سطح هرکدام از کاربری‌های آشکار شده شهرستان ارومیه در دوره‌های آماری موردبررسی- استخراج شده از باندهای حرارتی تصاویر لندست با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی**

| سال | پهنه شهری | پهنه آبی | پهنه کشاورزی آبی | پهنه کشاورزی دیم | پهنه مراتع | باغات | اراضی بایر | پهنه‌های باتلاقی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 31/5 | 25/2 | 27/4 | 28/3 | 27/1 | 25/3 | 32/7 | 27/8 |
| 1998 | 32/5 | 25/4 | 28 | 29/7 | 26/8 | 25/2 | 32/9 | 27/9 |
| 2005 | 32/1 | 25/4 | 27/4 | 28/3 | 27/6 | 25/4 | 33/3 | 28 |
| 2012 | 33 | 25/5 | 28/1 | 30/2 | 27/9 | 25/6 | 34/4 | 28 |
| 2019 | 33 | 25/4 | 28/7 | 30 | 27/7 | 25/7 | 34/2 | 28/2 |

### ٥-٤- رابطه بین تفاوت‌های دمایی و تغییرات کاربری اراضی شهرستان ارومیه

در این بخش اقدام به تحلیل همبستگی بین روند ۳۰ ساله دمای هرکدام از کاربری‌های موردبررسی با تغییرات آن کاربری طی دوره موردمطالعه (۱۹۹۰-۲۰۱۹)، در شهرستان ارومیه استفاده شده است و آنالیز همبستگی با استفاده از تحلیل کواریانس پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value= 0.05) انجام گرفت. پیش نیاز استفاده از مدل تحلیل همبستگی پیرسون، آگاهی از نرمال بودن توزیع سری زمانی دو متغیر دما و کاربری اراضی مربوط به هر کاربری است که این پیش نیاز از طریق آزمون نرمال‌سازی کلموگراف اسمیرانف در سطح اطمینان ۰/۹۵ بررسی و اثبات گردید و نتایج تحلیل همبستگی فضای که پیش نیاز ارائه مدل برآوردگر دما بر اساس تغییرات کاربری می‌باشد در جدول (٤) ارائه شد. بر اساس نتایج حاصل ارتباط بین تغییرات دمایی و تغییرات مساحت در سطح کاربری شهری در شهرستان ارومیه برابر ۰/۸٦ بوده است که این میزان همبستگی در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده است (Sig= 0.0002). در سطح پهنه‌های آبی نیز میزان همبستگی آشکارشده برابر ۰/۲۲- بوده است که معنی‌دار نشده است (Sig= ۰/۰۷۵). در سطح پهنه‌های کشاورزی آبی نیز، همبستگی مستقیم معنی‌داری بین تغییرات دما و تغییرات مساحت این پهنه کاربری وجود داشته است. میزان همبستگی در این پهنه برابر ۰/۸۲ بوده است که در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار شده است (Sig= 0.0003).

**جدول ٤- آنالیز همبستگی بین تغییرات دوره‌ای دما و کاربری اراضی طی دوره موردبررسی (۱۹۹۰-۲۰۱۹)**

| نوع کاربری اراضی | همبستگی | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|
| پهنه شهری | 0.86 | 0.0002 |
| پهنه آب | -0.22 | 0.075 |
| پهنه کشاورزی آبی | 0.82 | 0.0003 |
| پهنه کشاورزی دیم | -0.27 | 0.095 |
| پهنه مراتع | -0.31 | 0.12 |
| پهنه باغات | 0.91 | 0.0001 |
| پهنه بایر | -0.94 | 0.0001 |
| پهنه باتلاق | -0.92 | 0.0001 |

در پهنه کشاورزی دیم بر خلاف کشاورزی آبی، ارتباط معنی‌داری بین تغییرات سری زمانی دمای سطح این کاربری با تغییرات فضایی این پهنه کاربری مشاهده نگردید و میزان همبستگی آن برابر با ۰/۲۷- بوده است (Sig=0.09). در پهنه مراتع نیز با همبستگی برابر با ۰/۳۱- ارتباط معنی‌دار مشاهده نشد. درمجموع بر اساس نتایج در کاربری‌های شهری، باغات، اراضی بایر، کشاورزی آبی و پهنه باتلاقی، همبستگی بین تغییرات دوره‌ای کاربری اراضی و تغییرات دما معنادار بوده است.

## ۵- نتیجه‌گیری

دمای هوا یا دمای رویه‌ای سطح زمین درواقع کمیتی است که سرعت متوسط حرکت مولکول‌های هوا یا لایه رویه‌ای سطح زمین را نشان می‌دهد. این کمیت یک مؤلفه بسیار مهم در چرخه انرژی و آب در سیستم جو-زمین است و تعیین‌کننده بسیاری از فعالیت‌های حیاتی سطح زمین از قبیل فتوسنتز، جابجایی فضایی انرژی در سطح زمین و شکل‌گیری سیستم‌های سینوپتیک، سیکل فرسایش و هوازدگی و فعالیت‌های بیولوژیک گونه‌های مختلف است. دمای هوا یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین شاخص‌هایی است که در مطالعات تغییرات آب‌وهوایی به آن استناد می‌گردد.

برنامه‌ریزی کاربری اراضی، به استفاده مناسب در توسعه مدیریت زمین برای مقاصد مختلف نظیر تولید مواد غذایی، خانه‌سازی، گسترش شهرها و صنایع، تأمین مواد خام، تولید برق، حمل‌ونقل و مناطق تفریحی و گردشگری و... مربوط است (**کرمپور و همکاران، ۱۳۹۷، ٦۹**). این برنامه‌ریزی‌ها با هدف تطابق اراضی بر اساس قابلیت‌های آتی و انتخاب کاربری مناسب به طریقی است که بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست، کلیه نیازها را به اندازه کافی تأمین نماید. بر همین اساس نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی مدیران و برنامه-ریزان را در امر اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری اصولی یاری نموده و نقش بسیار مهمی را در توسعه و

برنامه‌ریزی منطقه‌ای ایفا می‌نماید. درواقع می‌توان گفت که نقشه‌های دقیق و به‌روز کاربری اراضی در هر منطقه جز نقشه‌های پایه در پایش و مدیریت منابع طبیعی می‌باشد و می‌تواند از کاربردی‌ترین ابزارها جهت مدیریت بهینه نواحی مورداستفاده انسان‌ها باشد. تغییرات کاربری‌های گسترده‌ای که در دهه‌های اخیر در ساختار فضایی شهرها رخ داده است، اثرات جانبی گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف اعم از هیدرولوژی، تغییر در بودجه تابشی، تغییر در نسبت آلبدو، تغییر در رژیم‌های رطوبتی و تبخیر و تعرق، تغییرات حرارتی در میکرواقلیم و حتی تغییر در ارتفاع لایه‌مرزی در بر داشته است (**یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۷، ۵۷**). تغییرات دمایی، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تغییر در کاربری اراضی است. واداشت‌های حرارتی متفاوت و کاملاً متضادی که کاربری‌ها یا به عبارت کلی‌تر پوشش‌های اراضی جدید در میکرواقلیم و اقلیم منطقه ایجاد می‌کنند، می‌تواند الگوهای حرارتی جدیدی در منطقه ایجاد کند. آرایش فضایی دما در لایه سطح زمین (ارتفاع دو متری از سطح زمین) درواقع به‌طور مستقیم از واداشت‌های حرارتی پوشش سطحی زمین ناشی می‌شود. ایجاد یخبندان‌های تابشی شدید در شب‌های صاف و آرام زمستان و اوایل بهار، ایجاد سرمازدگی‌های با منشاهای غیرسینوپتیکی و تابشی، به‌طور مستقیم ناشی از واداشت‌های متفاوت حرارتی کاربری‌های اراضی تغییر داده شده می‌باشد. از اثرات غیرمستقیم واداشت‌های حرارتی یا دمایی تغییرات کاربری اراضی تغییر در سرعت و جهت بادهای نزدیک به سطح زمین می‌توان به تغییر در الگوهای ابرناکی به‌ویژه ابرهای جوششی سطح پایین، تغییر در الگوهای ایجاد مه، ریز باران، تگرگ‌های کوچک‌مقیاس، بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت و کوچک‌مقیاس، تغییر در الگوی تبخیر و تعرق منطقه، تغییر در الگوهای بیلان آب و انرژی منطقه، تغییر در قابلیت میزان مصرف انرژی‌های گرمایشی و سرمایشی به‌ویژه در محیط‌های شهری و روستایی، همگی از اثرات غیرمستقیم واداشت‌های حرارتی تغییرات کاربری اراضی به شمار می‌روند. آگاهی از این تأثیرات گسترده تغییر در کاربری‌های اراضی در شهرها و حومه شهرها، می‌تواند زمینه را برای مدیریت بهتر و بهینه‌تر این تأثیرات آماده سازد. شهرستان ارومیه به‌واسطه نزدیکی به دریاچه ارومیه و سطوح بالای آب‌های زیرزمینی در دهه‌های اخیر شاهد تغییرات گسترده‌ای در کاربری اراضی بوده است. به‌نحوی‌که از عرصه‌های طبیعی و پوشش‌های طبیعی اراضی طی ۳ دهه اخیر به زمین‌هایی با کاربری انسانی و نواحی مسکونی شهری تبدیل شدند. این تغییرات گسترده به زمین‌های هموار اطراف دریاچه نیز تعدی کرده است. آگاهی از تبعات و تأثیرات اقلیم‌شناختی این تغییرات کاربری اراضی در این منطقه با توجه به حساسیت منطقه بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد. بررسی تفاوت‌های دمایی و تغییرات کاربری اراضی شهرستان ارومیه و مدل‌سازی بین این دو فاکتور با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و آمار فضایی صورت خواهد گرفت که تاکنون در این شهرستان موردبررسی قرار نگرفته است.

در این پژوهش تفاوت‌های دمایی و تغییرات کاربری اراضی شهرستان ارومیه با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و آمار فضایی برای دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ ها در ۵ دوره آماری با فواصل ۸ ساله موردبررسی قرار گرفت. تغییرات کاربری اراضی در شهرستان ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نسل ٤ تا ۸ و الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده بیشینه مشابهت، موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد به‌طورکلی در شهرستان ارومیه می‌توان ۸ کاربری عمده و اصلی را تشخیص داد که شامل، پهنه‌های شهری، کشاورزی آبی و دیم، باغات، اراضی بایر، پهنه‌های آبی و باتلاقی است که بیانگر ایجاد تغییرات نسبتاً گسترده در برخی کاربری‌های سطح شهرستان بوده است.

بررسی ویژگی‌های دمایی کاربری‌های مختلف سطح شهرستان ارومیه نیز با استفاده از الگوریتم دمای درخشندگی از روی باندهای حرارتی ماهواره‌های لندست ٤ تا ۸ استخراج گردید. میانگین دمای مربوط به هر کاربری و درنهایت روند تغییرات دمایی در کنار تغییرات کاربری اراضی در طی دوره آماری موردبررسی قرار گرفت. روند تغییرات میانگین فضایی دمای سطح شهرستان ارومیه در کاربری‌های متفاوت، بیانگر آن است که اراضی با پوشش بایر یا اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی در سطح شهرستان بالاترین دما را داشته-اند. دمای این کاربری‌ها در ماه می (۲۷ اردیبهشت) به‌طور متوسط به ۳۳/۵ درجه سلسیوس رسیده است. پس از آن اراضی با کاربری شهری با میانگین فضایی دمای برابر با ۳۲/٤ درجه سلسیوس در جایگاه دوم قرار گرفته است. کمترین میانگین دما با ۲۵/٤ درجه سلسیوس مربوط به کاربری باغات و سپس پهنه‌های آبی با ۲۵/۸ درجه سلسیوس است. از لحاظ تغییرپذیری دما نیز مشخص گردید که پهنه باغات متغیرترین میانگین فضایی دما را داشته‌اند به‌طوری‌که شاخص انحراف معیار فضایی دما در سطح این کاربری به ۷/۵ درجه سلسیوس رسیده است درحالی‌که پهنه کشاورزی آبی و سپس پهنه آبی به ترتیب با ۱/ ۲ و ۲/۷ درجه سلسیوس کمترین میزان انحراف معیار فضایی دما را داشته‌اند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی نیز نشان داد که در ۵ پهنه کاربری اراضی باغات؛ اراضی بایر، پهنه‌های باتلاقی، پهنه‌های شهری و کشاورزی آبی، همبستگی خطی معنی‌داری بین تغییرات دمایی و تغییرات کاربری اراضی برقرار بوده است. ارتباط بین تغییرات دمایی و تغییرات مساحت نیز در سطح کاربری پهنه‌های شهری در شهرستان ارومیه برابر ۰/۸٦ بوده است، این میزان همبستگی در این پهنه کشاورزی آبی برابر ۰/۸۲ بوده است. در سه کاربری باغات، اراضی بایر و پهنه باتلاقی، همبستگی بین تغییرات دوره‌ای کاربری اراضی و تغییرات دما بیش از ۰/۸ بوده است که همبستگی‌های مذکور در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value= 0.05) معنی‌دار بوده است؛ اما در سطح پهنه‌های مراتع، کشاورزی دیم و پهنه آبی، ارتباط معنی‌داری مشاهده نگردید.

کتابنامه


- المدرسی، سیدعلی؛ مهدی، محمدپور؛ ۱۳۹۳. بررسی و پهنه‌بندی آلودگی ناشی از زباله‌های محل دفن بر خاک و کاربری‌های اراضی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهر یزد)، *فصلنامه علوم و مهندسی محیط‌زیست*، ۱ (٤)، ٥۱-٦۲. magiran.com/p1408038
- ذرتی پور، امین؛ فیروزی نژاد، مرجان؛ دلفان حسن‌زاده، خلیل؛ ۱۳۹۸. تأثیر کاربری اراضی بر تغییرات شاخص حرارتی زمین در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: بندر امام خمینی، خوزستان). *مرتع و آبخیزداری* (منابع طبیعی ایران)، ۷۲(۱)، ۸۲-٦۹. https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.255212.1244
- ساسانپور، فرزانه؛ ضیاییان، پرویز؛ بهادری، مریم؛ ۱۳۹۲. بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران. *جغرافیا*، ۲۲ (۳٤)، ٤٥٥- ٤٦٥. https://www.sid.ir/paper/484353/fa#downloadbottom
- شنانی هویزه، سیده مائده؛ زراعی حیدر؛ ۱۳۹٥. بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دو دهه دوره زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ابوالعباس). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*،۷(۱٤)، ۲٤٤-۲۳۷. http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.7.14.244
- علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۸۷. *سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- علوی پناه، سیدکاظم؛ ۱۳۹۲. *کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین* (خاک). تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- قادرمزی، حامد؛ ۱۳۸۳. *نقش روستا شهرها در توسعه روستاهای پیرامونی؛ مطالعه موردی روستاشهر دهگلان*، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- کریمی فیروزجایی، محمد؛ کیاورز، مجید؛ علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹٦. پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹٤-۱۳٦٤. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ٥ (۳)، ۱٥۱-۱۲۳. http://dx.doi.org/10.29252/jgit.5.3.123
- کاویانی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۷. *میکروکلیماتولوژی*، تهران، انتشارات سمت.
- کرمپور، مصطفی؛ شجاعی مقدم، رحمت الله؛ نصیری، بهروز؛ طهماسبی پور، ناصر؛ ۱۳۹۷. بررسی و تحلیل چرخه‌ها و الگوی خودهمبستگی فضایی بارش‌های ماهانه ایران، *فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸(٥۱): ۲۳٥-۲٥۱. http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.51.235
- مزیدی، احمد؛ نارنگی فرد، مهدی؛ ۱۳۹٥. تأثیر توسعه شهری و تغییرات کاربری بر عناصر آب‌وهوایی شهر شیراز و فسا، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱٦(٤)، ٥٥-٦۹. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1395.16.40.7.8
- موسوی سیدحجت؛ رنجبر، ابوالفضل؛ حاصلی، مهدی؛ ۱۳۹٥. پایش و روندیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه ابرکوه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۱٤ - ۱۹۷٦، *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲٥(۹۷)، ۱٤٦-۱۳۰. https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.20141

- نارنگی فرد، مهدی؛ مزیدی، احمد؛ عبدلی، اسماعیل؛ ۱۳۹۵. واکاوی الگوهای دمایی در ارتباط با کاربری‌های شهری با بکارگیری داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)، *مجله مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، ۱۱(۳۵)، ۳۱-۱۷. https://journals.iau.ir/article_525304.html?lang=en
- هاشمی دره بادامی، سیروس؛ علوی پناه، سید کاظم؛ کاظم زاده، علی؛ ۱۳۹٤. تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری- پوشش زمین، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی برنامه ریزی شهری*، ۳ (۱)، ۱-۱۷. https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2015.54436
- یاراحمدی؛ داریوش؛ زارعی چقابلکی، زهرا؛ حلیمی، منصور؛ ۱۳۹۷. آشکار سازی تأثیر کاربری اراضی در تغییر پذیری زمانی مکانی سالانه ارتفاع لایه مرزی (مطالعه موردی شهر کرمانشاه)، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵ (۳): ۵۳-٦٦ . http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.5.3.53
- He, T., Liang, S., Wang, D., Cao, Y., GAO, F., Yu, Y., Feng, M., 2018. Evaluating land surface albedo estimation from Landsat MSS, TM, ETM+, and OLI data based on the unified direct estimation approach. Remote Sensing of Environment, 204: 181-196. https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S0034425717304947.
- Jiang, J., Tian, G., 2010. Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. Procedia environmental sciences, 2: 571-575. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610000952.
- Jun P K., Jean M G., 2014. Land Use Planning and urban heat Island. Environment and planning, 41(6):1-35. https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/b130091p.
- Prafull Singh, Pradipika Verma., 2017. Impact of Land use Change and Urbanization on Urban Heat Island in Lucknow City, Central India. A Remote Sensing Based Estimate. 32(16), 1-33. https://www.researchgate.net/publication/315728541.
- Ridd, M.K., Liu, J., 1998. A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment. Journal of Remote Sensing Environment, 63, 95-100. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425797001120.
- Song, Y., Wu, C., 2016. Examining the impact of urban biophysical composition and neighboring environment on surface urban heat island effect. Advances in Space Research, 57(1), 96-109. https://www.researchgate.net/publication/284077575.
- Srivastava, P.K., Majumdar, T.J., Bhattacharya, A. K., 2009. Surface Temperature Estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 $ETM^+$ Thermal Infrared Data, Advances in Space Research, 4(3), 1563-1574. https://journals.ut.ac.ir/article_85218.
- Tan, Jianguo., Youfei Zheng, Xu Tang, Changyi Guo, Liping Li, Guixiang Song, Xinrong Zhen, Dong Yuan, Adam J Kalkstein, Furong Li., 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. International journal of biometeorology, 54(1), 75-84. https://www.researchgate.net/publication/26787109.
- Wong E, Akbari H, Bell R, Cole D., 2011. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Environmental Protection Agency retrieved May 12, 20-31. https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium.
- Zhao k, and Jackson R B., 2014. Biophysical forcings of land-use c hanges from potential forestry activities in nor th Amer ica, Ecological Monog raphs, 84(2), 329–353. https://www.jstor.org/stable/43187893.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.243-264 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.76097.1211 Open access

# Multidecadal Investigation of Integrated Surface Ultra-Violet Radiation and its Consistency with Total Column Ozone and Cloudiness

**Haniyeh Baziyarpour[a], Ali Akbar Sabziparvar[b*]**

[a] *PhD Candidate in Agrometeorology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran*
[b] *Professor in Meteorology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran*

***Received: 7 April 2022*** ***Revised: 4 July 2022*** ***Accepted: 6 July 2022***

## Abstract

Solar radiation that reaches the Earth's surface has a significant impact on human health, agricultural productivity, terrestrial, aquatic ecosystems, and air quality. The difficulties from shortage of experimental field data motivate the researchers to rely on other database such as satellites and reanalysis radiation data. In the present work, the integrated daily solar ultraviolet-visible radiation (total integral of ultraviolet-visible radiation from 200 to 440 nm) was extracted from the ERA5 reanalysis database during the historical period of 1979-2020. Moreover, Total Column Ozone (TCO), and the Percentage of Cloudiness (CF) were obtained from the same database. The study area was divided into eight clusters by Analytic Hierarchy Process (AHP) method and trend analysis was performed using Mann-Kendall test. Results indicated that mean annual integrated UV-VIS 200-440 radiation of north and northwest of the country has experienced a positive trend during the last four decades, but no significant trend was detected for other parts of the country. The study of the TCO also showed that in all eight clusters, the TCO trend during 1979 to 2000 has experienced a significant decreasing trend, but has increased from 2001 onward. The linear regression equations between UV-VIS200-440 with TCO and CF were also constructed for all time scales (monthly, seasonal, annual) and the corresponding coefficients of correlation were calculated accordingly. The maximum annual correlation (r) was found between UV-VIS200-440 and the cloudiness (0.81). However, the highest r between UV-VIS200-440 and the TCO was 0.25. This result highlights that the variation in cloudiness plays more important role on determination of surface UV radiation than the changes in ozone concentration. This study did not investigated the influence of aerosol optical depth on UV radiation. This issue demands further investigation for evaluating the impact of aerosols on incoming surface UV radiation reaching the ground.

**Keywords:** Iran UV Zoning, Analytic Hierarchy Process (AHP), Mann-Kendal Test, ERA5 Database, UV Trend

*.Corresponding author: AliAkbar Sabziparvar Email: swsabzi@basu.ac.ir Tel: 09121859970

**How to cite this Article:** Baziyarpour, H., & Sabziparvar, A.A. (2024). Multidecadal investigation of integrated surface Ultraviolet radiation and its consistency with total column ozone and cloudiness. *Journal of Geography and Environmental Hazards*,*13*(1),243-264.
**DOI:10.22067/geoeh.2022.76097.1211**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76097.1211
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱٤۰۳، صص ۲٦٤-۲٤۳**

مقاله پژوهشی

# واکاوی چنددهه‌ای تغییرات تابش تجمعی روزانه فرابنفش سطحی در ایران و همبستگی آن با تغییرات ازون کلی و ابرناکی

**هانیه بازیارپور- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران**
**علی‌اکبر سبزی‌پرور[1] - استاد هواشناسی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/٤/۱۳ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/٤/۱۵**

**چکیده**

تابش فرابنفش خورشیدی رسیده به سطح زمین تأثیر بیولوژیکی قابل‌توجهی بر سلامت انسان، حیوانات، گیاهان و اکوسیستم‌های زمینی و آبی دارد. پایش مستمر تغییرات شدت تابش فرابنفش و ازون کلی در ایران فقط در دو ایستگاه انجام می‌شود که در دوره‌هایی به خاطر مشکلاتی ازجمله کالیبراسیون و هزینه سنگین نگهداری با مشکلاتی مواجه شده است. این مشکلات انگیزه استفاده از دیگر منابع اطلاعاتی نظیر ماهواره‌ها و داده‌های باز تحلیل را در طیف‌های مهم الکترومغناطیسی خورشید فراهم می‌نماید. در پژوهش حاضر، تابش تجمعی روزانه فرابنفش-مرئی (انتگرال کلی تابش فرابنفش-مرئی از طول‌موج ۲۰۰ تا ٤٤۰ نانومتر) حاصل از پایگاه داده بازتحلیل ERA5، ازون کلی و درصد ابرناکی مربوط به دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۲۰ در گستره ایران موردبررسی قرار گرفت. منطقه موردمطالعه با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به ۸ خوشه تقسیم و بررسی روند در سری داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال انجام شد. نتایج میانگین شدت تابش تجمعی فرابنفش-مرئی

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۸۵۹۹۷۰ Email:swsabzi@basu.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

بازیارپور، هانیه، سبزی پرور، علی اکبر؛ ۱٤۰۳. واکاوی چنددهه‌ای تغییرات تابش تجمعی روزانه فرابنفش سطحی در ایران و همبستگی آن با تغییرات ازون کلی و ابرناکی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۲٦٤-۲٤۳

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76097.1211

(UV-VIS200-440) نشان داد در مقیاس سالانه در نواحی شمال و شمال غرب کشور (خوشه‌های ۵، ٦، ۷ و ۸) روند مثبت وجود دارد، اما در سایر مناطق روند معنی‌داری مشاهده نشد. مطالعه سری زمانی ازون کلی کشور نیز نشان داد در هر ۸ خوشه مطالعه شده ازون کلی در سال‌های ۱۹۷۹ الی ۲۰۰۰ روند کاهشی معنی‌دار و از سال ۲۰۰۱ میلادی به بعد روند افزایشی معنی‌دار را تجربه نموده است. در این پژوهش به‌منظور تخمین تابش در نقاط فاقد ایستگاه، روابط رگرسیونی خطی بین تابش تجمعی(۲۰۰ الی ٤٤۰ نانومتر) با ازون کلی و ابرناکی در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه استخراج شدند. بررسی ضرایب همبستگی بین سری زمانی تابش فرابنفش-مرئی (۲۰۰ الی ٤٤۰ نانومتر) با ابرناکی و ازون کلی نشان داد در هر سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، تابش با ابرناکی همبستگی قوی‌تری نسبت به ازون کلی دارد. به-طوری‌که در مقیاس سالانه بیشترین ضریب همبستگی تابش فرابنفش-مرئی با ابرناکی ۰/۸۱ و برای ازون کلی ۰/۲۵ به دست آمد.

**کلیدواژه‌ها:** خوشه‌بندی سلسله مراتبی، پهنه‌بندی تابش روزانه، آزمون من-کندال، پایگاه داده ERA5، روند تابش فرابنفش.

**۱- مقدمه**

تابش اشعه فرابنفش خورشیدی (UV) که به سطح زمین می‌رسد تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت انسان، بهره‌وری کشاورزی، اکوسیستم‌های زمینی و آبی و کیفیت هوا دارد (داگلاس و همکاران ۲۰۱۱ [1] و ویلیامسون و همکاران ۲۰۱٤[2]). ازون استراتوسفری یک گاز طبیعی است که بخشی از تابش‌های مضر UV خورشید را فیلتر می‌کند. ازون استراتوسفری به‌طور مؤثر بخش زیادی از تابش فرابنفش خورشیدی را در طول‌موج‌های ۲۰۰ تا ۳۱۵ نانومتر جذب می‌کند، که در غیر این صورت به‌طور بالقوه به حیات بیوسفر آسیب می‌رساند. در اواسط دهه ۱۹۷۰ کشف شد که انتشار مواد شیمیایی حاوی کلر ساخته دست بشر می‌تواند باعث تخریب لایه ازن شود. پروتکل مونترال در سال ۱۹۸۹ به اجرا درآمد و مواد متعددی را که باعث تخریب لایه ازون می‌شوند ممنوع کرد. از سال ۱۹۹۷ تا اواسط دهه ۲۰۰۰ آشکار شد که کاهش در ستون ازون کلی (TCO) تقریباً در تمام عرض‌های جغرافیایی غیرقطبی متوقف شده است (سازمان جهانی هواشناسی[3]، ۲۰۰۷). بااین‌حال، سرعت بهبود تحت تأثیر تغییرات دما، گردش جو و چرخه‌های تشکیل و تخریب ازون توسط نیتروژن و هیدروژن است. میزان تابش فرابنفش خورشیدی دریافت شده در هر مکان خاص روی سطح زمین

[1] Douglass et al, 2011
[2] Williamson et al, 2014
[3] WMO,2007

علاوه بر میزان ازون در جو به موقعیت خورشید در افق و ابرناکی نیز بستگی دارد. در ایران مطالعات زیادی در زمینه تابش فرابنفش انجام نشده است. در ادامه به چند نمونه از این مطالعات اشاره می‌شود. موقری و خسروی در سال ۱۳۹۳ در پژوهشی به بررسی توزیع مکانی شاخص پرتو فرابنفش در گستره ایران پرداختند. در این پژوهش به‌منظور محاسبه میزان پرتو فرابنفش، ۹٤ ایستگاه موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد در مقیاس سالانه، ٤ درصد از مساحت کشور از شاخص پرتو فرابنفش متوسط برخوردار است که برخی شهرهای حاشیه دریای خزر را در برمی‌گیرد. ٥٤ درصد از سطح کشور که نیمه شمالی کشور را شامل می‌شود، شاخص زیاد پرتو فرابنفش دریافت می‌کند و ٤۲ درصد از مساحت کشور که عموماً استان‌های جنوبی کشور را در برمی‌گیرد، از میزان شاخص خیلی زیاد برخوردار است (**موقری و خسروی،۱۳۹۳**). **سبزی‌پرور و سیف‌زاده** در سال ۱۳۹۹ با استفاده از مدل انتقال تابش لایه‌ای TUV5 به برآورد تابش تجمعی روزانه UVA در سه حالت شرایط آسمان کاملاً صاف، کاملاً ابری و واقعی در مناطق مرکزی ایران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشینه تابش UVA در نیمه جنوبی منطقه موردمطالعه متمرکز است که در فصول گرم سال غالباً در شرق و در فصول سرد سال در نواحی مرکزی و جنوب غرب منطقه مستقر است. در تحقیق دیگری سبزی‌پرور و سیف‌زاده (۱۳۹۹) به واکاوی تأثیر ابرناکی بر تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVB در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداختند. برآوردها در شرایط آسمان کاملاً صاف و ابری حکایت از حضور بیشینه تابش UVB در فصل تابستان در نواحی جنوبی و جنوب شرقی منطقه موردمطالعه داشت. بر اساس نقشه‌های به دست آمده در این پژوهش، کمینه مقادیر روزانه UVB نیز در تمامی شرایط موردبررسی در فصل زمستان مشاهده شد. سبزی‌پرور و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از مدل تابش مالتی استریم (چند چشمه‌ای) و جو چندلایه‌ای به ارائه میانگین‌های درازمدت تابش‌های بیولوژیکی UVA، UVB، آفتاب‌سوختگی و آب‌مروارید چشمی در مقیاس°۱/۲٥×°۱/۲٥ اقدام نمودند. در این تحقیق نشان داده شده که در توزیع جغرافیایی تابش‌های بیولوژیکی موقعیت سمت‌الرأس خورشید (زاویه پرتوهای خورشید با خط عمود بر محل) نقشی مهم‌تر از ازون ایفا می‌کند. **فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۳)** به تحلیل تغییرات تابش فرابنفش در چهار مقیاس زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه در منطقه اصفهان پرداختند. نتایج حاصل از برازش روند تغییرات فصلی نشان داد مقدار تابش در فصل بهار روندی افزایشی داشت. درحالی‌که این روند برای دیگر فصل‌ها کاهشی بود. همچنین نتایج نشان داد بیشترین شاخص تابش فرابنفش (UV Index) به مقدار ۱۱/٥ در اواسط تابستان و کمترین آن به مقدار ۰/٥ در زمستان رخ داد. **رستم‌پور و همکاران (۱۳۹۱)** در پژوهشی به بررسی میزان شدت تابش ماهانه UV-A در شهر همدان پرداختند. این مطالعه به‌صورت مقطعی و در مدت یک سال انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد بیشینه میانگین UV-A در شهریور با میزان ۲۷/۱±۳/۰۹ وات بر مترمربع، حدود دو برابر از مقدار مجاز (۱۰ وات بر مترمربع) توسط WHO بیشتر بود.

کمینه میانگین تابش UV-A نیز حدود ۱۸٪ از این مقدار مجاز تجاوز کرد. علت این اختلاف به ارتفاع زیاد شهر همدان از سطح دریا نسبت داده شده است.

پایش تغییرات شدت تابش فرابنفش و ازون در ایران به‌صورت محدود فقط در دو ایستگاه انجام می‌شود که به‌صورت غیر پیوسته و نامنظم است. مطمئناً در کشور پهناوری همچون ایران، اندازه‌گیری نامنظم تنها در دو ایستگاه نمی‌تواند کافی باشد و این امر ضرورت استفاده از داده‌های شبکه‌ای جهت بررسی میزان تابش فرابنفش و ازون، همچنین بررسی تغییرات این تابش به‌خصوص در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد. داده‌های ERA5 نسل پنجم داده‌های بازتحلیل مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا ECMWF از اقلیم جهان برای ٤ تا ۷ دهه اخیر است. ERA5 تخمین‌های ساعتی را برای تعداد زیادی از مقادیر جوی، امواج اقیانوسی و سطح زمین فراهم می‌کند. برآورد عدم اطمینان توسط روش Ensemble تحت ده بخش در فواصل سه‌ساعته انجام می‌شود. این قبیل برآوردهای عدم اطمینان از نزدیک با محتوای اطلاعاتی سیستم مشاهده موجود مرتبط است که با گذشت زمان به‌طور چشمگیری تکامل یافته است. چند نمونه از پژوهش‌هایی که با استفاده از داده‌های تابش فرابنفش ERA5 انجام شده است در ادامه ذکر می‌شود. شیا و همکاران (۲۰۲۱)[1] به بررسی اثر افزایش ابر ناشی از تخریب ازون بر میزان UV رسیده به سطح در سیبری در فصل بهار با استفاده از داده‌های ERA5 پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که از بین رفتن لایه ازن استراتوسفر باعث افزایش اشعه فرابنفش رسیده به سطح می‌شود. در مقابل، افزایش ابرهای مرتفع ناشی از تخریب ازون منجر به کاهش تابش UV سطح می‌شود. آن-ها با یک تجزیه‌وتحلیل ترکیبی به این نتیجه رسیدند که اثر افزایش ابر قوی‌تر از اثر از بین رفتن ازون استراتوسفر در منطقه موردمطالعه است. راکسسات و همکاران (۲۰۲۱)[2] به پیش‌بینی دقیق تابش فرابنفش سطحی برای کاربردهای بالینی با شبکه عصبی در استان ناکون پاتوم تایلند پرداختند و دقت مدل‌ها را با استفاده از داده‌های تابش فرابنفش، ابرناکی و ازون کلی ERA5 مورد ارزیابی قرار دادند.

در زمینه بررسی روند طولانی‌مدت داده‌های فرابنفش نیز مطالعاتی انجام شده است. گلندورف و همکاران (۲۰۰٤)[3] به بررسی روند تابش فرابنفش در سری زمانی دو ایستگاه در یونان و فنلاند پرداختند. نتایج نشان داد روند معنی‌داری در این دو سری زمانی در داده‌های تابش فرابنفش مشاهده نمی‌شود. سمدلی و همکاران (۲۰۱۲)[4] به بررسی روند تغییرات تابش فرابنفش سطحی در انگلستان پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ روند قابل‌توجهی در میزان حداکثر شاخص UV روزانه (٦/٦٪ در هر دهه) دیده می-شود. اما هیچ ارتباطی بین تغییرات UV سطح و مقادیر ازون کل وجود نداشت که نشان می‌دهد میزان UV

1 Xia et al, 2021
2 Raksasat et al, 2021
3 Glandorf et al, 2004
4 Smedley et al, 2012

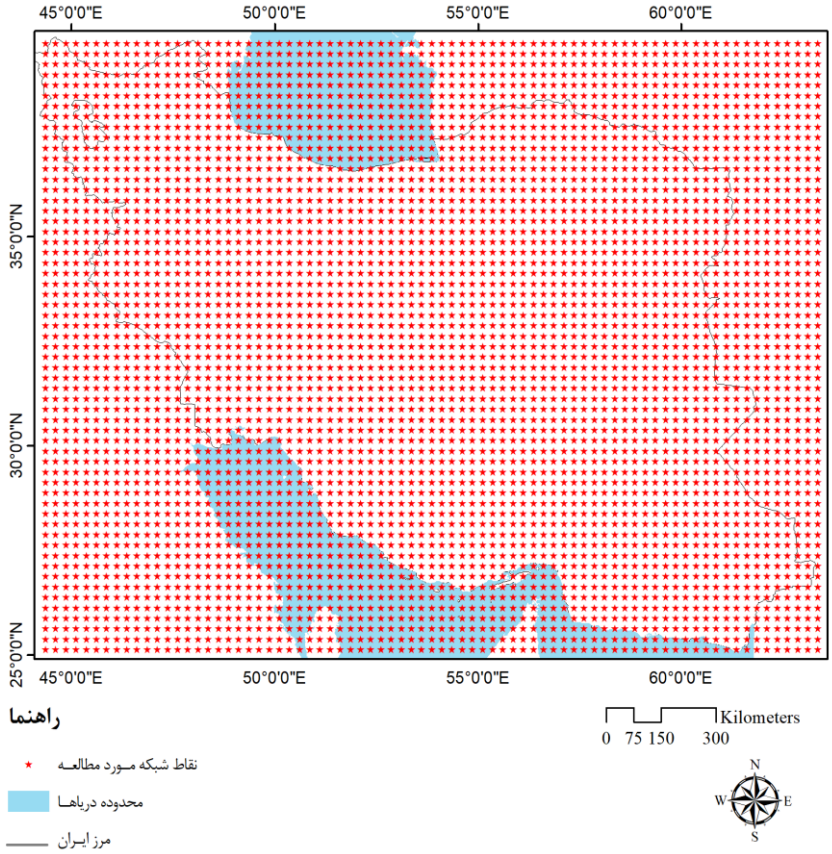
بیشتر تحت تأثیر تغییرات در پوشش ابر است. برنارد و استایرل (۲۰۲۰)[1] به بررسی روند در سری زمانی تابش فرابنفش ۱۹۹۶–۲۰۱۸ در قطب جنوب پرداختند. نتایج این مطالعه شواهدی ارائه کرد که نشان می‌دهد شاخص (UVI) اندازه‌گیری شده توسط طیف‌سنج‌های SUV-100 در سه سایت قطب جنوب (قطب جنوب، ارتفاعات Arrival، و ایستگاه پالمر) در حال کاهش است. به‌عنوان‌مثال، یک روند نزولی قابل‌توجه ۵/۵ درصد در هر دهه (۹۵٪ سطح اطمینان) در ارتفاعات Arrival برای زمستان (دسامبر تا فوریه) گزارش شد. فانتولکیس و همکاران (۲۰۱۸)[2] با استفاده از داده‌های بیست‌وپنج سال اندازه‌گیری طیفی UV-B در کانادا، اروپا و ژاپن، به بررسی روند و اثرات تغییرات در ازون، آئروسول، ابرها و آلبیدو بر میزان تابش UV-B پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد در نیمکره شمالی تغییرات طولانی‌مدت در تابش UV-B رسیده به سطح، در مکان‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. محرک‌های اصلی این تغییرات، تغییرات در آئروسول و ازون کلی گزارش شد. فانتولکیس و همکاران (۲۰۲۰)[3] در پژوهشی به بررسی روند در سری زمانی تابش فرابنفش در اروپا پرداختند. نتایج تجزیه‌وتحلیل ازون کلی و داده‌های طیفی UV ثبت شده در چهار ایستگاه اروپایی طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ نشان داد تغییرات درازمدت در UV عمدتاً ناشی از تغییرات در آئروسول، ابرناکی و آلبیدو سطح است، درحالی‌که تغییرات در ازون کلی نقش کمتری دارد. اون و همکاران (۲۰۱۹)[4] به بررسی ویژگی‌های روزانه، فصلی و سالانه GSR، UVB (۲۸۰–۳۱۵ نانومتر) و UVA (۳۱۵–۴۰۰ نانومتر) ازون کلی و غلظت آئروسل‌ها، از سال‌های ۲۰۰۴–۲۰۱۶ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد هیچ روند قابل‌توجهی در تابش فرابنفش برای دوره موردمطالعه در مقیاس سالانه و فصلی وجود نداشت. همین امر در مورد عوامل مؤثر بر تابش فرابنفش، ازون کلی، GSR و عمق نوری آئروسل صادق بود.

تحقیقاتی که تا کنون در کشور انجام شده است، به علت نبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی، تغییرات بلندمدت میزان تابش فرابنفش و وجود روند احتمالی در آن موردبررسی قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5 اقدام به پهنه‌بندی تابش فرابنفش (انتگرال کلی تابش فرابنفش از طول‌موج ۲۰۰ تا ۴۴۰ نانومتر که در کل مقاله به خاطر تلخیص تابش فرابنفش نوشته می‌شود) و ازون کلی و ابرناکی و همچنین بررسی تغییرات میزان تابش فرابنفش و ازون کلی و ابرناکی طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ در گستره ایران می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که در این تحقیق امکان جداسازی تابش ناشی از ۴۰۰ تا ۴۴۰ نانومتر در داده‌های بازتحلیل ERA5 وجود نداشت و به این دلیل محدوده طیف موردمطالعه (۲۰۰–۴۴۰ نانومتر) فرابنفش نام‌گذاری شد.

1 Bernhard and Stierle, 2020
2 Fountoulakis et al, 2018
3 Fountoulakis et al, 2020
4 Aun et al, 2019

۲- منطقه موردمطالعه

کشور ایران با وسعت ۱٦٤۸۰۰۰ کیلومترمربع در نیم‌کره شمالی، در قاره آسیا و در قسمت غربی فلات ایران واقع شده است. این کشور، بین دو نصف‌النهار °٤٤ و °٦٤ شرقی و دو مدار °۲۵ و °٤۰ شمالی قرار گرفته است. حدود۹۰ ٪ خاک ایران در محدوده فلات ایران واقع شده است و کشوری کوهستانی محسوب می‌شود. علاوه بر گسترش عرضی، رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس مهم‌ترین تأثیر را در آب‌وهوای ایران دارند. افزون بر این، دو گستره آبی بزرگ در شمال و جنوب، رژیم‌های دمایی و بارشی خاصی را در کشور ایجاد می‌کند. به‌طوری‌که شرایط رطوبتی در این سرزمین از زمین‌های فوق‌العاده خشک تا زمین‌های بسیار مرطوب را شامل می‌شود. در این پژوهش، کشور ایران و نواحی اطراف آن به‌صورت شبکه‌ای با فاصله نقاط ۲۵ کیلومتر موردمطالعه قرار گرفت. تعداد نقاط موردبررسی در این پژوهش ٤۵٤۳ نقطه است که توزیع نقاط شبکه در شکل ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱- توزیع جغرافیایی نقاط شبکه موردمطالعه**

## ۳- مواد و روش‌ها

### داده‌های ERA5

پایگاه اطلاعاتی ECMWF یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده بازتحلیل در جهان است که موردتوجه بسیاری از محققین قرار دارد (دی و همکاران، ۲۰۱۱)[1]. بازتحلیل داده‌های مدل را با استفاده از قوانین فیزیک با داده‌های مشاهده‌ای از سراسر جهان ترکیب می‌کند و یک مجموعه داده کامل و سازگار جهانی ایجاد می‌کند. این اصل که داده‌گواری [2] نامیده می‌شود، مبتنی بر روشی است که توسط مراکز عددی پیش‌بینی آب‌وهوا استفاده می‌شود، که در آن هر چند ساعت (۱۲ ساعت در ECMWF) پیش‌بینی قبلی با مشاهدات جدید در دسترس، با روشی بهینه ترکیب می‌شود تا بهترین تخمین جدید از وضعیت جو تولید شود. ERA5 نسل پنجم بازتحلیل ECMWF برای آب‌وهوا و اقلیم جهانی در ٤ تا ۷ دهه گذشته است. در این پژوهش داده‌های تابش فرابنفش بازتحلیل ERA5 ابتدا به‌صورت میانگین ماهانه و با رزولوشن مکانی ۲۵ *۲۵ کیلومتر برای گستره ایران از آدرس https://cds.climate.copernicus.eu دریافت شد. این داده‌ها مربوط به انتگرال کلی تابش فرابنفش و بخشی از تابش visible از طول‌موج ۲۰۰ تا ٤٤۰ نانومتر می‌باشند که از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ (کل دوره موجود) دانلود گردید. با توجه به اینکه محدوده طول‌موج‌های visible از طول‌موج‌های مربوط به تابش فرابنفش قابل‌تفکیک نیست، تابش فرابنفش ($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$) در مقاله به کل این محدوده از ۲۰۰ تا ٤٤۰ نانومتر اشاره دارد. همچنین داده‌های ازون و ابرناکی به‌صورت میانگین ماهانه و با رزولوشن مکانی ۲۵ *۲۵ کیلومتر دانلود و پس از کنترل کیفی با استفاده از نرم‌افزار R و اطمینان از نرمال بودن و عدم وجود داده‌های پرت مورداستفاده قرار گرفت. این داده‌ها توسط نرم‌افزار Open Netcdf به‌صورت شبکه‌ای برای ٤٥٤۳ نقطه برای گستره کشور استخراج گردید.

### خوشه‌بندی سلسله مراتبی

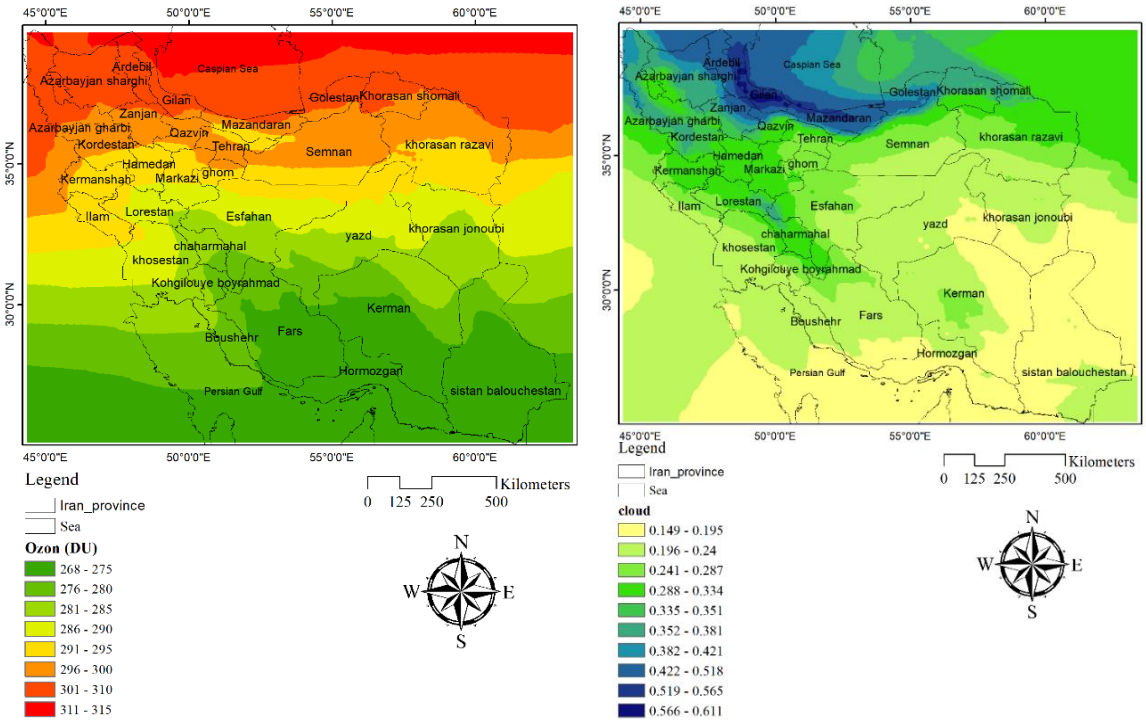
خوشه‌بندی سلسله مراتبی روشی است که به کمک ویژگی‌ها [3]یا صفت‌ها[4]ی مشاهدات، آن را به گروه‌های مشابه طبقه‌بندی می‌کند. انتخاب ویژگی‌های مناسب برای این کار، یکی از مسائل مهمی است که باید در نظر گرفته شود. از طرف دیگر استانداردسازی داده‌ها نیز مطرح است تا مقیاس اندازه‌گیری صفت یا ویژگی‌ها باعث انحراف تابع فاصله نشود. در این پژوهش نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R آزمون شد و برای انجام روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و خوشه‌بندی با استفاده از داده‌های میانگین تابش فرابنفش سالانه، میانگین ابرناکی سالانه و میانگین ازون سالانه و عرض جغرافیایی و ارتفاع از

1 Dee et al,2011
2 Data assimilation
3 Features
4 Attributes

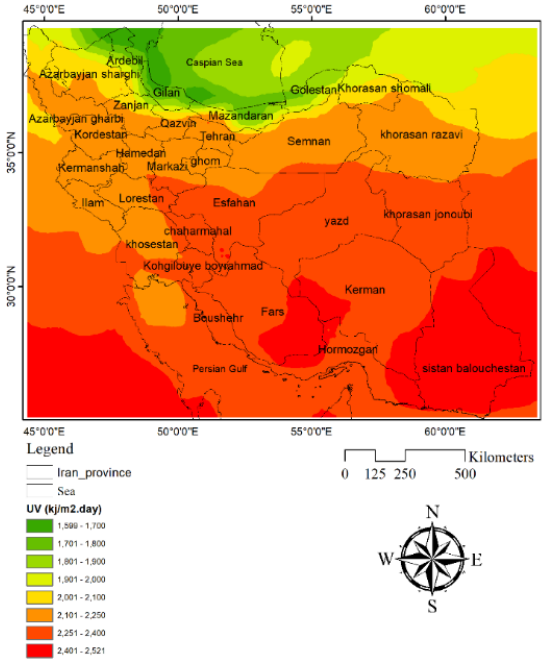
سطح دریا انجام شد. درروش خوشه‌بندی سلسله مراتبی از فاصله اقلیدسی جهت محاسبه فاصله استفاده گردید (رابطه ۱). هر چه همبستگی بیشتر باشد فاصله کمتر در نظر گرفته می‌شود. به‌طوری‌که با اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی متغیرهای میانگین تابش فرابنفش سالانه، میانگین ابرناکی سالانه و میانگین ازون سالانه و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا مربوط به نقاط موردمطالعه، همبستگی و همانندی نقاط مشخص می‌شود.

$$D_{euc} = (\sum_{i=1}^{P}(x_i - y_i)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (۱)$$

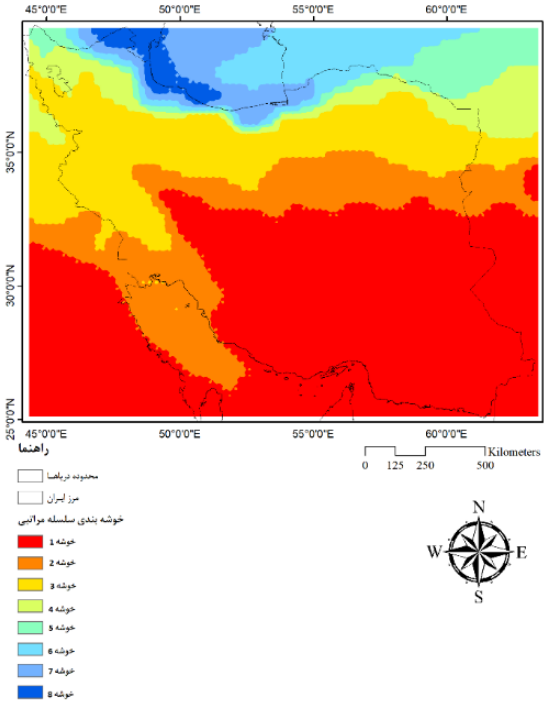
شکل ۲ مربوط به پهنه درون‌یابی شده (با روش IDW) مربوط به میانگین سالانه ابرناکی (راست) و میانگین سالانه ازون کلی (چپ) است. شکل ۳ پهنه تابش تجمعی روزانه $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ را نشان می‌دهد. درنهایت منطقه موردمطالعه به ۸ خوشه تقسیم شد که پهنه‌بندی خوشه‌های تعیین شده در شکل ٤ آورده شده است. در این پژوهش پهنه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS ترسیم شد.




**شکل ۲- توزیع جغرافیایی میانگین سالانه ازون کلی و ابرناکی (۲۰۲۰-۱۹۷۹) منطقه موردمطالعه با استفاده از روش IDW**




**شکل ۳- توزیع جغرافیایی میانگین سالانه تابش فرابنفش تجمعی روزانه (۲۰۲۰-۱۹۷۹) منطقه موردمطالعه با استفاده از روش IDW**




**شکل ٤- پهنه خوشه‌بندی سلسله مراتبی منطقه موردمطالعه با استفاده از روش IDW**

**آزمون من-کندال**

جهت بررسی وجود روند در سری زمانی داده‌های تابش فرابنفش، ازون و ابرناکی از آزمون من-کندال در بستر نرم‌افزار آماری R استفاده شد. آزمون من-کندال، آزمون ناپارامتریک رتبه مبنا جهت بررسی روند است. در این آزمون تحت فرض $H_0$ داده‌ها از سری که مستقل و دارای توزیع یکسان می‌باشند گرفته شده‌اند. آزمون من-کندال با استفاده از روابط ۲ و ۳ انجام می‌شود :

$$s = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} sgn(x_j - x_i), where\ sgn(x) = \begin{cases} +1, x > 0 \\ 0, x = 0 \\ -1, x < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

که واریانس فرآیند از معادله (۳) تعیین می‌شود.

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{18}[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i - 1)(2t+5)] \quad (۳)$$

که در این رابطه m تعداد دسته‌ها با داده‌های گره‌دار و $t_i$ تعداد داده‌های گره‌دار در هر دسته m می‌باشد.

**روش Sen's slope:**

Sen (۱۹٦۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که Thiel (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من- کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه می-باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر می‌باشد: محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه ٤:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (٤)$$

که در آن، $X_t$ و $X_s$ به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s،و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال رابطه (٤) برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند ($Q_{med}$) به دست می‌آید. مقدار مثبت $Q_{med}$ حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان دهنده نزولی بودن روند است.

در این پژوهش محاسبه ضرایب همبستگی و استخراج معادلات رگرسیون چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

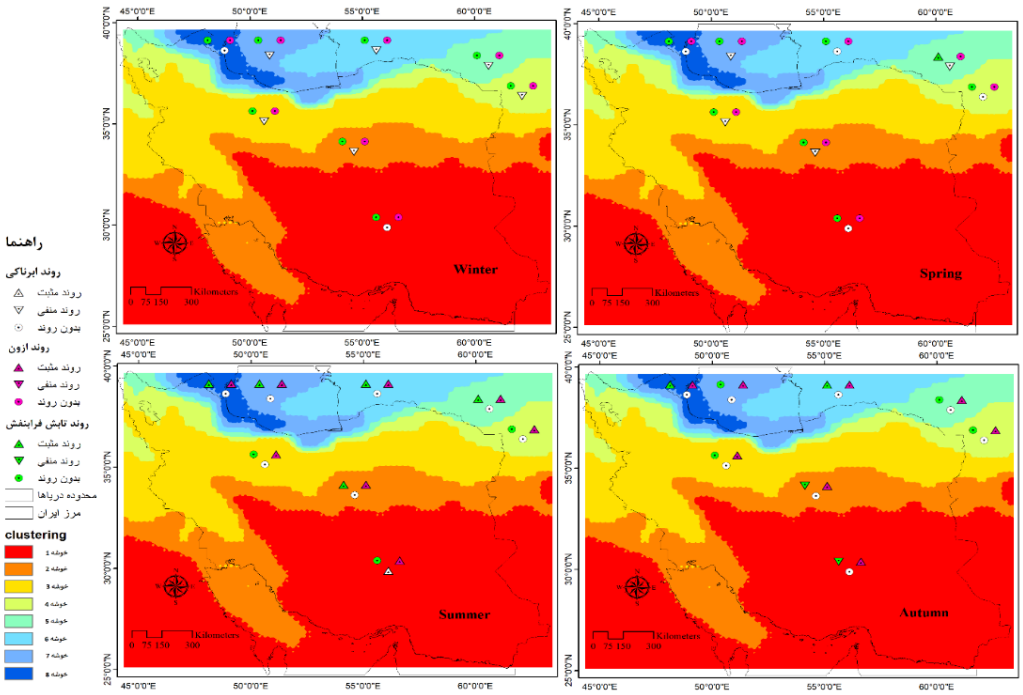
## ٤- نتایج و بحث

### ٤-١ مقیاس فصلی

در این پژوهش تغییرات سالانه تابش فرابنفش ($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$)، ازون کلی و ابرناکی در طول دوره‌ی آماری ٤٢ ساله، در ٨ خوشه در محدوده موردمطالعه بررسی شد و وجود یا عدم وجود روند با استفاده از آزمون من-کندال مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به شکل ٥ در فصل زمستان تغییرات میزان ابرناکی در تمام خوشه‌های موردبررسی منفی بوده است اما این روند کاهشی به‌جز در خوشه‌های ١ و ٨ در سایر خوشه‌ها معنی‌دار بوده است. در رابطه با ازون کلی و $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ روند معنی‌داری در هیچ‌کدام از خوشه‌ها در فصل زمستان وجود نداشت. تغییرات میزان ابرناکی در فصل بهار نیز در تمام خوشه‌ها کاهشی بوده است اما فقط در خوشه‌های ٢ ، ٣، ٥ و ٧ این روند کاهشی معنی‌دار بوده است. تغییرات $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در فصل بهار در تمام خوشه‌ها افزایشی است اما فقط در خوشه ٥ این روند معنی‌دار است و در فصل بهار هیچ‌گونه روند معنی‌داری در رابطه با میزان ازون کلی وجود ندارد. تنها روند معنی‌دار موجود در میزان ابرناکی در فصل تابستان مربوط به خوشه ١ است که می‌تواند مربوط به مناطق جنوب شرقی ایران و پدیده مونسون باشد. تغییرات ابرناکی در خوشه‌های شمالی (٨، ٧ و ٦) کاهشی است اما روند معنی‌دار نیست. تغییرات $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ فصل تابستان در خوشه‌های ٢، ٥ ، ٦، ٧ و ٨ دارای روند افزایشی معنی‌دار است و میزان ازون کلی در فصل تابستان در تمام خوشه‌ها روند افزایشی معنی‌دار داشته است. همچنین روند ازون کلی در فصل پاییز در تمام خوشه‌ها به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در خوشه‌های ٨ و٦ روند افزایشی و در خوشه‌های ١ و ٢ کاهشی بوده است و در سایر خوشه‌ها روندی مشاهده نشد. بررسی داده‌های ابرناکی نشان می‌دهد که در فصل پاییز میزان ابرناکی در خوشه‌های ٦ و ٨ کاهش یافته است. هر چند این کاهش روند معنی‌داری ندارد اما به نظر می‌رسد علت افزایشی بودن روند $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در این خوشه‌ها، کاهش ابرناکی باشد. همچنین علت روند کاهشی تابش تجمعی $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در خوشه‌های ١ و ٢ در فصل پاییز روند افزایشی ازون کلی می‌باشد زیرا طبق جدول ٣ در این دو خوشه روند افزایشی ازون کلی شیب بیشتری نسبت به سایر خوشه‌ها دارد.

نتایج ضرایب همبستگی (r) تابش با ازون و ابرناکی (جدول ٤) نیز نشان داد r مربوط به $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ و ابرناکی بسیار بیشتر از $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ و ازون کلی است. درمجموع، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ابرناکی و $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ است. بیشترین ضریب همبستگی ابرناکی و $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ مربوط به فصل پاییز و بهار که دارای درصد بالایی از ابرناکی است می‌باشد و کمترین ضریب همبستگی ابرناکی و $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ مربوط به فصل زمستان است که می‌تواند مربوط به کاهش تابش فرابنفش به دلیل مایل بودن زاویه تابش

خورشید در فصل زمستان باشد. بیشترین همبستگی ازون با تابش فرابنفش مربوط به فصل تابستان در خوشه ٦ است که به دلیل ابرناکی بسیار کم در این فصل در مناطق کویری میزان تابش فرابنفش نسبت به فصول دیگر بیشتر تحت تأثیر تغییرات ازون و زوایای سمت‌الرأس کمتر بوده است. کمترین ضرایب همبستگی ازون و $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ مربوط به فصل زمستان و پاییز است. این نتایج با نتایج دیو پریز [1] و همکاران نیز که در سال ۲۰۱۹ به بررسی ارتباط بین تابش فرابنفش خورشیدی (UV) و ازون پرداختند هم سو است. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین ضریب $R^2$ بین ازون و تابش فرابنفش مربوط به شرایط آسمان صاف به مقدار ۰/٤٥ بود.




**شکل ٥- روند فصلی تابش فرابنفش روزانه ($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$)، ازون کلی و ابرناکی در خوشه‌های موردمطالعه**

1 Du Preez

**جدول ۱- آماره سطح معنی‌داری (آزمون من-کندال) و شیب Sen میانگین‌های فصلی تابش فرابنفش (۲۰۲۰-۱۹۷۹)**

| Cluster\Test | Winter | | Spring | | Summer | | Autumn | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p-value | Sen's slope Kj/m$^2$.year | p-value | Sen's slope Kj/m$^2$.year | p-value | Sen's slope Kj/m$^2$.year | p-value | Sen's slope Kj/m$^2$.year |
| Cluster 1 | 0.530 | 0.444 | 0.696 | 0.200 | 0.747 | -0.045 | **< 0.0001** | -0.906 |
| Cluster 2 | 0.135 | 0.696 | 0.053 | 0.852 | **0.016** | 0.182 | **0.001** | -0.865 |
| Cluster 3 | 0.948 | -0.073 | 0.222 | 0.975 | 0.474 | 0.164 | 0.095 | -0.612 |
| Cluster 4 | 0.329 | -0.646 | 0.233 | 1.127 | 0.075 | 0.707 | 0.588 | -0.202 |
| Cluster 5 | 0.795 | -0.138 | **0.022** | 1.402 | **0.046** | 1.007 | 0.802 | 0.093 |
| Cluster 6 | 1.000 | -0.002 | 0.076 | 1.994 | **0.008** | 1.871 | **0.020** | 0.546 |
| Cluster 7 | 0.172 | 0.517 | 0.054 | 1.893 | **0.023** | 2.226 | 0.072 | 0.803 |
| Cluster 8 | 0.729 | -0.315 | 0.146 | 1.931 | **0.044** | 2.860 | **0.009** | 1.282 |

**جدول ۲- آماره سطح معنی‌داری (آزمون من-کندال) و شیب Sen (درصد در سال) میانگین‌های فصلی ابرناکی (۲۰۲۰-۱۹۷۹)**

| Cluster\Test | Winter | | Spring | | Summer | | Autumn | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p-value | Sen's slope Percent/year | p-value | Sen's slope Percent/year | p-value | Sen's slope Percent/year | p-value | Sen's slope Percent/year |
| Cluster 1 | 0.435 | -0.1 | 0.258 | -0.1 | **0.041** | 0.0 | 0.270 | 0.1 |
| Cluster 2 | **0.046** | **-0.1** | **0.014** | **-0.1** | 1.000 | 0.0 | 0.307 | 0.0 |
| Cluster 3 | **0.018** | **-0.2** | **0.032** | **-0.1** | 0.153 | 0.0 | 0.518 | 0.1 |
| Cluster 4 | **0.003** | **-0.3** | 0.076 | -0.1 | 0.791 | 0.0 | 0.897 | 0.0 |
| Cluster 5 | **0.048** | **-0.2** | **0.022** | **-0.1** | 0.745 | 0.0 | 0.845 | 0.0 |
| Cluster 6 | **0.027** | **-0.2** | 0.114 | -0.1 | 0.260 | -0.1 | 0.269 | -0.1 |
| Cluster 7 | **0.005** | **-0.2** | **0.042** | **-0.2** | 0.410 | -0.1 | 0.179 | -0.1 |
| Cluster 8 | 0.056 | -0.1 | 0.091 | -0.1 | 0.242 | -0.1 | 0.072 | -0.1 |

**جدول ۳- آماره سطح معنی‌داری (آزمون من-کندال) و شیب روند Sen (دابسون در سال) میانگین‌های فصلی ازون کلی (۲۰۲۰-۱۹۷۹)**

| Cluster\Test | Winter | | Spring | | Summer | | Autumn | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p-value | Sen's slope (Du/year) | p-value | Sen's slope (Du/year) | p-value | Sen's slope (Du/year) | p-value | Sen's slope (Du/year) |
| Cluster 1 | 0.752 | 0.097 | 0.280 | 0.169 | **< 0.0001** | **0.314** | **< 0.0001** | **0.244** |
| Cluster 2 | 0.986 | 0.001 | 0.583 | 0.094 | **< 0.0001** | **0.301** | **< 0.0001** | **0.253** |
| Cluster 3 | 0.965 | -0.002 | 0.828 | 0.029 | **0.000** | **0.249** | **0.000** | **0.214** |
| Cluster 4 | 0.850 | 0.031 | 0.713 | -0.034 | **0.002** | **0.216** | **0.002** | **0.199** |
| Cluster 5 | 0.816 | 0.052 | 0.423 | -0.086 | **0.006** | **0.219** | **< 0.0001** | **0.216** |
| Cluster 6 | 0.853 | 0.019 | 0.696 | -0.057 | **0.003** | **0.218** | **0.004** | **0.211** |
| Cluster 7 | 0.828 | 0.029 | 0.862 | -0.025 | **0.003** | **0.211** | **0.002** | **0.201** |
| Cluster 8 | 0.931 | 0.013 | 0.948 | -0.017 | **0.030** | **0.202** | **0.006** | **0.174** |

**جدول ٤- ضرایب همبستگی فصلی بین تابش فرابنفش تجمعی روزانه با ازون کلی (TCO) و ابرناکی (CF)**

| Clusters | and CF UV-VIS$_{200-440}$ | | | | and TCO UV-VIS$_{200-440}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Winter | Spring | Summer | Autumn | Winter | Spring | Summer | Autumn |
| Cluster 1 | **-0.78** | -0.91 | -0.69 | -0.83 | 0.2 | -0.37 | 0.24 | -0.4 |
| Cluster 2 | -0.77 | -0.91 | -0.54 | -0.86 | 0.03 | -0.43 | 0.24 | -0.43 |
| Cluster 3 | -0.56 | **-0.92** | -0.7 | -0.93 | -0.13 | **-0.48** | 0.13 | **-0.49** |
| Cluster 4 | -0.49 | -0.91 | -0.77 | **-0.94** | -0.12 | **-0.48** | 0.31 | -0.44 |
| Cluster 5 | -0.66 | -0.9 | -0.82 | -0.91 | -0.23 | -0.44 | 0.41 | -0.33 |
| Cluster 6 | -0.7 | -0.9 | -0.88 | -0.83 | -0.31 | -0.41 | **0.58** | -0.19 |
| Cluster 7 | -0.69 | -0.89 | **-0.89** | -0.88 | **-0.34** | -0.37 | 0.52 | -0.11 |
| Cluster 8 | -0.69 | -0.87 | **-0.89** | -0.92 | -0.28 | -0.34 | 0.39 | -0.05 |

در جدول ۵ روابط رگرسیون خطی چند متغیره مربوط به خوشه‌های موردمطالعه در هر فصل ارائه شده است. در این روابط واحد ابرناکی بر حسب صدم، ازون کلی بر حسب دابسون و تابش فرابنفش بر حسب کیلوژول بر مترمربع بر روز است.

**جدول ۵- معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره مربوط به تابش فرابنفش ($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$)، ازون کلی TOC و ابرناکی CF در مقیاس فصلی**

| Clusters | Winter | Spring |
|---|---|---|
| Cluster 1 | $1889.081+UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.279TCO-679.4CF$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.217TCO-854.13CF+3074.946$ |
| Cluster 2 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.224TCO-627.436CF+1738.858$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.02TCO-909.195CF+2953.504$ |
| Cluster 3 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.147TCO-457.288CF+1602.044$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.142TCO-1051.38CF+2910.157$ |
| Cluster 4 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.182TCO-399.716CF+1440.785$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.412TCO-1285.659CF+2849.056$ |
| Cluster 5 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.006TCO-407.444CF+1415.160$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.117TCO-1178.85CF+2905.706$ |
| Cluster 6 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.151TCO-416.739CF+1420.317$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.212TCO-1213.679CF+2742.818$ |
| Cluster 7 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.560TCO-545.662CF+1591.753$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.64TCO-1280.567CF+2610.607$ |
| Cluster 8 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.816TCO-711.382CF+1711.114$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.723TCO-1628.137CF+2695.511$ |
| | **Summer** | **Autumn** |
| Cluster 1 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.27TCO-424.669CF+2944.653$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.779TCO-487.195CF+2407.587$ |
| Cluster 2 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.471TCO-491.204CF+2892.395$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.45TCO-546.715CF+2188.832$ |
| Cluster 3 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.781TCO-673.848CF+2862.215$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.086TCO-635.524CF+2002.077$ |
| Cluster 4 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=1.417TCO-1006.816CF+2699.712$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.09TCO-586.346CF+1872.791$ |
| Cluster 5 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=1.603TCO-1108.187CF+2618.299$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.244TCO-521.511CF+1668.137$ |
| Cluster 6 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=2.845TCO-1230.386CF+2200.607$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.295TCO-562.612CF+1598.888$ |
| Cluster 7 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=3.975TCO-1295.804CF+1811.524$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=0.182TCO-835.276CF+1686.477$ |
| Cluster 8 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=5.11TCO-1684.114CF+1532.337$ | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}=-0.34TCO-1078.882CF+1804.393$ |

• در معادلات فوق واحد ابرناکی صدم، واحد ازون کلی دابسون و واحد تابش تجمعی کیلو ژول بر مترمربع در روز می‌باشد.

### ٤-۲- مقیاس سالانه

جدول ٦ مقادیر P-value و شیب مربوط به هر ۳ متغیر برای هر منطقه را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد و در شکل ٦ نیز روند تابش فرابنفش، ازون کلی و ابرناکی در هر منطقه، در مقیاس سالانه بر روی نقشه نشان داده شده است. بررسی نتایج تغییرات زمانی تابش فرابنفش($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$) در مقیاس سالانه نشان داد در مناطق ۵، ٦، ۷ و ۸ روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد که این چهار خوشه در نوار ساحلی شمال کشور واقع شده‌اند (شکل ٦). در سایر مناطق (۱ تا ٤) روند معنی‌داری در ($UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$) مشاهده نگردید. بیشترین میزان روند در مقیاس سالانه تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ مربوط به خوشه ۸ است که به میزان

$kj/m^2$ ۱/٤ در سال افزایش یافت. کمترین میزان روند در مقیاس سالانه نیز مربوط به خوشه ۵ و به میزان $kj/m^2$ ۰/۵ در سال افزایش یافت.

**جدول ٦- آماره سطح معنی‌داری (آزمون من-کندال) و شیب روند (Sen) میانگین‌های سالیانه تابش، ابرناکی و ازون کلی (۲۰۲۰-۱۹۷۹)**

| Cluster\Test | UV-VIS200-440 p-value | UV-VIS200-440 Sen's slope $Kj/m^2$.year | CF p-value | CF Sen's slope Percent/year | TCO p-value | TCO Sen's slope (DU/year) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cluster 1 | 0.282 | -0.206 | 0.649 | 0.0 | **0.010** | **0.218** |
| Cluster 2 | 1.000 | 0.000 | 0.288 | 0.0 | **0.017** | 0.202 |
| Cluster 3 | 0.633 | -0.065 | 0.186 | 0.0 | 0.190 | 0.142 |
| Cluster 4 | 0.401 | 0.188 | **0.020** | -0.1 | 0.315 | 0.111 |
| Cluster 5 | **0.006** | 0.513 | **< 0.0001** | -0.1 | 0.362 | 0.106 |
| Cluster 6 | **< 0.0001** | 1.081 | **0.002** | -0.1 | 0.333 | 0.108 |
| Cluster 7 | **< 0.0001** | 1.319 | **0.002** | -0.1 | 0.214 | 0.104 |
| Cluster 8 | **< 0.0001** | **1.435** | **0.008** | -0.1 | 0.159 | 0.097 |

بررسی تغییرات زمانی میزان ابرناکی نیز نشان می‌دهد علت روند افزایشی تابش فرابنفش در مناطق ۵، ٦، ۷ و ۸ احتمالاً مربوط به روند معنی‌دار کاهشی ابرناکی می‌باشد. همچنین در خوشه ٤ نیز روند کاهشی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است، که اثر آن بر تغییرات زمانی $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در این خوشه دیده می‌شود. به‌طوری‌که در خوشه ٤ با توجه به جدول ٦ تغییرات $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ دارای شیب مثبت و افزایشی است اما این تغییرات افزایشی در طی دوره موردمطالعه روند معنی‌داری ندارد. روند کاهشی ابرناکی در خوشه‌های ٤، ۵، ٦، ۷ و ۸، به میزان ۰/۱ درصد به ازای هرسال در کل دوره است.

نتایج بررسی روند تغییرات میانگین ازون کلی سالانه در طول دوره‌ی آماری ٤۲ ساله نشان داد تغییرات زمانی میزان ازون کلی در طول دوره آماری در تمام مناطق افزایشی بوده است. اما طبق جدول ٦ تنها در منطقه ۱ و ۲ روند معنی‌دار افزایشی مشاهده می‌شود. نتایج پژوهش چن [1] و همکاران (۲۰۱۹) نیز با نتیجه به دست آمده در این پژوهش مبنی بر افزایشی بودن روند ازون کلی در دوره آماری ۲۰۱۷_۲۰۰۵، سازگاری دارد.

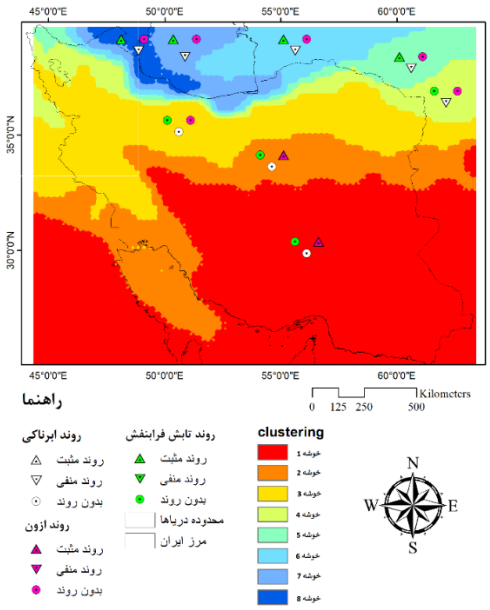
همچنین بررسی سری زمانی ازون کلی نشان داد در ابتدای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ تغییرات کاهشی و سپس افزایشی شده است. بررسی‌ها نشان داد در ۸ خوشه موردمطالعه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ روند کاهشی معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۷). بیشترین مقدار روند مربوط به خوشه ۸ است که میزان ازون کلی ۰/٤ دابسون در سال کاهش یافته است و از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در هر ۸ خوشه روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار شیب روند ازون کلی مربوط به خوشه ٤ است که به میزان ۰/٦۲۵ دابسون در هر

1 Chen et al

سال افزایش یافت. نتایج حاضر با گزارش ناسا پل اِی نیومن، که ریاست ارزیابی ازون کلی توسط ۳۰۰ دانشمند را بر عهده دارد مطابقت دارد. به‌طوری‌که عنوان شده است که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، سطح ازون کلی در عرض‌های جغرافیایی میانه نیمکره شمالی در حدود ٤ درصد افزایش یافته است. دلیل این امر تصویب پروتکل مونترال در سال ۱۹۸۷ است که تولید CFC ها و سایر مواد شیمیایی مخرب لایه لایه ازون را ممنوع کرد. این ممنوعیت در سال ۱۹۸۹ اجرا شد. سطح ازون کلی در اواسط دهه ۱۹۹۰ تثبیت شد و در دهه ۲۰۰۰ شروع به بهبود کرد (بانرجی و همکاران، ۲۰۲۰)[1].

**جدول ۷- آماره سطح معنی‌داری (آزمون من-کندال) و شیب روند (Sen) سالانه سری زمانی ازون کلی در دو دوره زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰**

| Cluster\Test | ۱۹۷۹-۲۰۰۰ | | ۲۰۰۱-۲۰۲۰ | |
|---|---|---|---|---|
| | p-value | Sen's slope DU/year | p-value | Sen's slope DU/year |
| Cluster 1 | **0.001** | -0.283 | **0.001** | 0.532 |
| Cluster 2 | **0.024** | -0.268 | **0.000** | 0.595 |
| Cluster 3 | **< 0.0001** | -0.357 | **0.001** | 0.586 |
| Cluster 4 | **< 0.0001** | -0.367 | **0.002** | 0.601 |
| Cluster 5 | **< 0.0001** | -0.391 | **0.001** | 0.625 |
| Cluster 6 | **< 0.0001** | -0.417 | **0.001** | 0.608 |
| Cluster 7 | **< 0.0001** | -0.423 | **0.003** | 0.620 |
| Cluster 8 | **0.018** | -0.446 | **0.000** | 0.578 |




**شکل ٦- روند سالانه میانگین تابش فرابنفش، ازون کلی و ابرناکی در خوشه‌های موردمطالعه**

1 Banerjee et al, 2020

همچنین با توجه به جدول ۸ ضریب همبستگی بین مقادیر $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ با ابرناکی و ازون کلی نشان می‌دهد که میزان همبستگی داده‌های $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ و ابرناکی، به‌خصوص در مناطق ۷ و ۸ با حدود ۰/٦٥، بیشتر از همبستگی مربوط به $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ با ازون کلی است. بیشترین ضریب همبستگی ابرناکی مربوط به خوشه ۸ و کمترین مربوط به خوشه ۲ بود که به ترتیب در مناطقی واقع شده‌اند که بیشترین و کمترین ابرناکی را دارد. افزون بر این، معادلات رگرسیون خطی چند متغیره در هر خوشه در مقیاس سالانه در جدول ۸ مشاهده می‌شود. از این معادلات می‌توان برای تخمین مقادیر تابش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در مقیاس سالانه استفاده نمود. در معادلات رگرسیون ابرناکی بر حسب صدم، ازون کلی بر حسب دابسون و تابش فرابنفش بر حسب کیلوژول بر مترمربع در روز است.

**جدول ۸- مقایسه ضرایب همبستگی بین تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ با ازون کلی (TCO) و ابرناکی (CF) و معادلات رگرسیون خطی در مقیاس سالانه (۲۰۲۰-۱۹۷۹)**

| Clusters | Correlation UV/ozone | Correlation UV/cloud | Linear Regression |
|---|---|---|---|
| Cluster 1 | -0.069 | -0.754 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.25TCO-735CF+2531.57 |
| Cluster 2 | -0.177 | -0.672 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.067TCO-656.924CF+2402.92 |
| Cluster 3 | **-0.250** | -0.702 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.037TCO-702.979CF+2372.45 |
| Cluster 4 | -0.153 | -0.688 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.117TCO-708.424CF+2265.746 |
| Cluster 5 | -0.033 | -0.763 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.417TCO-758.377CF+2117.448 |
| Cluster 6 | 0.041 | -0.738 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.762TCO-796.358CF+1955.643 |
| Cluster 7 | 0.051 | -0.802 | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.786TCO-881.785CF+1937.141 |
| Cluster 8 | -0.054 | **-0.806** | $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$=0.532TCO-1093.942CF+2049.134 |

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی روند در سری زمانی تابش فرابنفش (انتگرال کلی تابش فرابنفش از طول‌موج ۲۰۰ تا ٤٤۰ نانومتر مربوط به دوره آماری (۱۹۷۹-۲۰۲۰) نشان داد میانگین تابش فرابنفش در مقیاس فصلی در فصل تابستان و پاییز در نیمه شمالی دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده است و متناسب با آن روند ابرناکی در این فصول در نیمه شمالی کاهشی بوده است اما معنی‌دار نبوده است. در فصل پاییز در نیمه جنوبی کشور شامل استان‌های سیستان بلوچستان، هرمزگان، بوشهر، فارس، کرمان، خراسان جنوبی، خلیج‌فارس و بخشی از خوزستان (خوشه ۱ و ۲) روند کاهشی در میزان تابش فرابنفش دیده شد. علت روند کاهشی مناطق یک و دو روند افزایشی ازون کلی می‌باشد زیرا طبق جدول ۳ در این دو خوشه روند افزایشی ازون کلی شیب بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد. این نتیجه‌گیری با نتایج سلاگ و همکاران (۲۰۲۰) [1]مبنی بر افزایش غلظت ازون

1 Szeląg et al, 2020

کلی در اعتدالین تطابق دارد. همچنین ابرناکی نیز در این مناطق تغییرات افزایشی داشته است اما روند معنی-دار ندارد.

در مقیاس سالانه نیز در مناطق شمالی کشور تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ دارای روند مثبت می‌باشد اما در سایر مناطق روند معنی‌دار سالانه مشاهده نشد. این روند مثبت ناشی از روند منفی میزان ابرناکی در این مناطق می‌باشد. روند کاهشی ابرناکی در بخش‌های شمالی و شمال غربی کشور (خوشه ۵، ٦ ،۷ و ۸) به میزان ۰/۱ درصد به ازای هر سال در کل دوره است و بیشترین میزان روند در مقیاس سالانه تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ مربوط به خوشه ۸ است که به میزان $1/4\ kj/m^2$ در سال افزایش یافت. کمترین میزان روند معنی‌دار نیز مربوط به خوشه ۵ و به میزان $0/5\ kj/m^2$ در سال افزایش یافت.

نتایج بررسی آمار ٤۲ ساله داده‌های باز تحلیل ERA5 نشان داد مقدار ازون کلی (TCO) از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ شاهد روند کاهشی معنی‌داری در هر ۸ خوشه موردمطالعه بوده است که بیشترین مقدار شیب روند مربوط به خوشه ۸ است (با ۰/٤ دابسون کاهش در سال). برخلاف حالت قبل، تمام مناطق در سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۲۰ روند افزایشی معنی‌دار ازون را تجربه نموده‌اند. بیشینه شیب روند افزایشی ازون کلی مربوط به خوشه ٤ است که به میزان ۰/٦۲۵ دابسون در هر سال افزایش را نشان می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد به‌طورکلی تابش فرابنفش با ابرناکی همبستگی بیشتری نسبت به ازون کلی دارد که این نتایج با نتایج مطالعه سمدلی و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر معنی‌دار نبودن همبستگی ازون و تابش فرابنفش مطابقت دارد. فانتولکیس و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتیجه گرفتند تغییرات درازمدت در UV عمدتاً ناشی از تغییرات در غلظت آئروسول‌ها، ابرناکی و آلبیدو سطح است، درحالی‌که تغییرات در مقدار ازون کلی نقش کمتری در تغییرات درازمدت UV دارد.

ذکر این نکته نیز ضروریست که همبستگی ضعیف ازون کلی با تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ در پژوهش حاضر ممکن است به دلیل لحاظ شدن بخشی از طول‌موج‌های مرئی (٤۰۰ تا ٤٤۰ نانومتر) در داده-های $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ حاصل از خروجی ERA5 باشد (زیرا تغییرات ازون کلی تأثیری بر شدت تابش در این محدوده طیف مرئی ندارد).

به‌طورکلی در دوره آماری موردمطالعه به‌جز مناطق خشک و کویری که به‌صورت کلی ابرناکی بسیار کم است، در سایر مناطق ابرناکی روند کاهشی داشت و تابش فرابنفش $UV\text{-}VIS_{200\text{-}440}$ حتی با وجود روند افزایشی ازون کلی در دو دهه اخیر از روند افزایشی پیروی نموده است. در این پژوهش تأثیر غلظت ذرات آئروسول بر تابش دریافتی در سطح زمین مورد ارزیابی قرار نگرفت، که با توجه به گسترش دو دهه اخیر خشکسالی در کشور و افزایش فراوانی روزهای همراه با گردوغبار، بررسی تأثیرگذاری این پدیده در مطالعات بعدی ضرورت دارد.

## کتابنامه


- رستم پور، نیما؛ الماسی، تینوش؛ رستم پور، معصومه؛ بیات، حسنا؛ کریمی، سعیده؛ ۱۳۹۱. بررسی میزان شدت پرتوهای فرابنفش خورشیدی نوع A در شهر همدان. *مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان*. شماره ٤، ٦٩-٧٤. https://www.sid.ir/paper/17263/fa.
- سبزی پرور، علی‌اکبر، سیف زاده مؤمن سرایی، علیرضا؛ ١٤٠٠. برآورد تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVA و سازگاری آن با برخی عوامل مؤثر – مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران. *نشریه اطلاعات جغرافیایی سپهر*، دوره ۳۰، شماره ۱۱۸، ۱٦۹-۱۸٤. https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.246148
- سبزی پرور، علی‌اکبر، سیف زاده مؤمن سرایی، علیرضا؛ ١٤٠٠. واکاوی تأثیر ابرناکی بر تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVB در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران. *آب‌وخاک*، دوره ۳۵، شماره ۲، ۲۸۵-۲۹۷. https://doi.org/10.22067/jsw.2021.15010.0
- فرجزاده اصل، منوچهر؛ قویدل رحیمی، یوسف، اردشیری کلهر، مهدی؛ ۱۳۹۳. تحلیل تغییرات تابش فرابنفش در منطقه اصفهان. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. سال اول، شماره پیاپی ۲، ۹۳-۱۰۵. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2456-fa.html
- موقری، علیرضا؛ خسروی، محمود؛ ۱۳۹۳. محاسبه، ارزیابی و تحلیل توزیع مکانی شاخص پرتو فرابنفش در گستره ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ١٤، شماره ٣٤، ۲۱۳-۱۹۵. http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2105-fa.html

- Aun M, Eerme K, Ansko I, Aun, M., 2019. Daily, seasonal, and annual characteristics of UV radiation and its influencing factors in Tõravere, Estonia, 2004–2016. Theoretical and Applied Climatology, 138: 887-897. https://doi.org/10.1007/s00704-019-02865-1.
- Banerjee A, Fyfe JC, Polvani LM, Waugh D, Chang KL., 2020. A pause in Southern Hemisphere circulation trends due to the Montreal Protocol. Nature, 579: 544-548. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2120-4.
- Bernhard G, Stierle S., 2020. Trends of UV radiation in Antarctica. Atmosphere, 8: 795. https://doi.org/10.3390/atmos11080795.
- Chen X, Zhong B, Huang F, Wang X, Sarkar S, Jia S, Deng X, Chen D, Shao M., 2020. The role of natural factors in constraining long-term tropospheric ozone trends over Southern China. Atmospheric Environment, 220:117060. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117060.
- Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer DP, Bechtold P., 2011. The ERA- Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society; 137:553-97. https://doi.org/10.1002/qj.828.
- Douglass A, Fioletov V, Godin-Beekmann S, Müller R, Stolarski RS, Webb A, Yang ES., 2011. Stratospheric ozone and surface ultraviolet radiation. World Meteorological Organization. 1-80. https://orbi.uliege.be/handle/2268/163132.
- Du Preez DJ, Ajtić JV, Bencherif H, Bègue N, Cadet JM, Wright CY., 2019. Spring and summer time ozone and solar ultraviolet radiation variations over Cape Point, South Africa. In Annales Geophysicae, 37: 129-141. https://doi.org/10.5194/angeo-37-129-2019.

- Fountoulakis I, Diémoz H, Siani AM, Laschewski G, Filippa G, Arola A, Zerefos CS., 2020. Solar UV irradiance in a changing climate: Trends in Europe and the significance of spectral monitoring in Italy. Environments, 7: 1. https://doi.org/10.3390/environments7010001.
- Fountoulakis I, Zerefos CS, Bais AF, Kapsomenakis J, Koukouli ME, Ohkawara N, Webb AR., 2018. Twenty-five years of spectral UV-B measurements over Canada, Europe, and Japan: Trends and effects from changes in ozone, aerosols, clouds, and surface reflectivity. Comptes Rendus Geoscience, 7: 393-402. https://doi.org/10.1016/j.crte.2018.07.011.
- Glandorf M, Arola A, Bais A, Seckmeyer G., 2005. Possibilities to detect trends in spectral UV irradiance. Theoretical and applied climatology, *81*: 33-44. https://doi.org/10.1007/s00704-004-0109-9.
- Raksasat R, Sri-Iesaranusorn P, Pemcharoen J, Laiwarin P, Buntoung S, Janjai S, Chuangsuwanich E., 2021. Accurate surface ultraviolet radiation forecasting for clinical applications with deep neural network. Scientific reports, 11: 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84396-2.
- Sabziparvar AA, Shine KP, Forster PM., 1999. A model- derived global climatology of UV irradiation at the earth's surface. Photochemistry and photobiology, 69:193-202. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1999.tb03273.x.
- Smedley AR, Rimmer JS, Moore D, Toumi R, Webb AR., 2012. Total ozone and surface UV trends in the United Kingdom: 1979–2008. International journal of climatology, 32: 338-346. https://doi.org/10.1002/joc.2275.
- Szeląg ME, Sofieva VF, Degenstein D, Roth C, Davis S, Froidevaux L., 2020. Seasonal stratospheric ozone trends over 2000–2018 derived from several merged data sets. Atmospheric Chemistry and Physics, 20: 7035-7047. https://doi.org/10.5194/acp-20-7035-2020.
- Williamson CE, Zepp RG, Lucas RM, Madronich S, Austin AT, Ballaré CL, Bornman JF., 2014. Solar ultraviolet radiation in a changing climate. Nature Climate Change, 4: 434-441. https://doi.org/10.1038/nclimate2225.
- WMO, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME., 2007, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 50 https://wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2006/ozone_asst_report.html.
- Xia Y, Hu Y, Huang Y, Bian J, Zhao C., 2021. Stratospheric ozone loss-induced cloud effects lead to less surface ultraviolet radiation over the Siberian Arctic in spring. Environmental Research Letters, 1611: 084057. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac18e9.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.265-292 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77275.1246 Open access

# Detecting Changes in Iran's Climate Zones over the Period 1965-2015

**Hengameh Shiravand[a], Zarrin Tahan[a], Seyed Asaad Hosseini[b*]**

[a] *Expert of National Center for Climate and Drought Crisis Management, Tehran, Iran*
[b] *Expert of Meteorology, Saghez Meteorological Office, Saghez, Iran*

***Received: 20 June 2022*** ***Revised: 16 July 2022*** ***Accepted: 29 July 2022***

## Abstract

The purpose of this study was to investigate the changes in Iran's climate zones during the periods 1965-1975, 1976-1985, 1986 -1955, 1996-2005, 2006-2015. For this purpose, the weather data (minimum, maximum, average), humidity (minimum, maximum, average), rainfall, wind and sunshine for 411 synoptic stations during the period 1965 to 2015 were collected and analyzed by the Iran's Meteorological Organization. Moreover, the Asafzari database was also used in two sections. The first section was formed with the help of 1434 stations from the beginning of 1961 to 2004 and the second section from 2004 to 2015 with the help of 960 stations. At first, factors influencing the climate of Iran were analyzed using factor analysis and then clustered using cluster analysis. In order to validate the identified areas, Silhouette Index (SI) was used. The results showed that most of the spatial variations during the five periods studied were very hot and dry (very low rainfall and high temperature), warm and dry (low rainfall and high temperatures), and cold and dry (low rainfall and low temperature) so that each of these three areas, for example, the cold and dry (low rainfall and low temperature) areas, reduces. On the contrary, the size of the two other areas increased. This dimension of change in the first and second period has been quite evident. The results of the silhouette analysis also showed that more than 92 percent of the Iran's zones were located right in their group, which indicates the high validity of the identified areas.

**Keywords:** Climate Classes, Periodic Changes, Silhouette Index (SI), Cluster Analysis, Iran

* .Corresponding author: Seyed Asaad Hosseini Email: Hosseini.asad8@gmail.com Tel:+989378402804

**How to cite this Article:** Shiravand, H., Tahan, Z & Hosseini. S.A. (2024). Detecting changes in Iran's climate zones over the period 1965 to 2015. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1) ,265-292.

**DOI: 10.22067/geoeh.2022.77275.1246**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77275.1246
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۲۹۲-۲۶۵**

مقاله پژوهشی

# آشکارسازی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵

**هنگامه شیراوند- کارشناس مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، تهران، ایران**
**زرین طحان- کارشناس مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، تهران، ایران**
**سید اسعد حسینی[1]- کارشناس هواشناسی، اداره هواشناسی سقز، سقز، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۵/۷**

**چکیده**

هدف این مطالعه بررسی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره‌های ۱۰ ساله از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ است. بدین منظور از داده‌های دما، رطوبت، بارش، باد و ساعت آفتابی، ۴۱۱ ایستگاه همدید کشور و پایگاه داده‌ای اسفزاری نیز در دو بخش استفاده شد. بخش اول به کمک ۱۴۳۴ ایستگاه از ابتدای سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۴ و بخش دوم از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ به کمک ۹۶۰ ایستگاه تشکیل شد. ابتدا به کمک تحلیل عاملی، عوامل مؤثر بر آب‌وهوای ایران بررسی و سپس به کمک تحلیل خوشه‌ای طبقه‌بندی آب‌وهوایی صورت گرفت. به‌منظور اعتبارسنجی مناطق شناسایی شده از تحلیل سیلهوته (SI) بهره گرفته شد. نتایج نشان داد طی دوره‌های مختلف، طبقات آب‌وهوایی ایران دچار تغییرات قابل‌توجهی شده‌اند. بیشترین تغییرات مکانی مربوط به منطقه بسیار گرم و خشک، گرم و خشک و سرد خشک بوده که طی دوره‌های مختلف به‌طور مکرر تغییر پیدا کرده‌اند. شدیدترین تغییرات منطقه‌ای در دوره ۱۰ ساله دوم (۱۹۸۵-۱۹۷۶) نسبت به دوره ۱۰ ساله اول (۱۹۷۵-۱۹۶۵) و دوره ۱۰ ساله پنجم (۲۰۱۵-

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۸۴۰۲۸۰۴ Email: Hosseini.asad8@gmail.com

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
شیراوند، هنگامه، طحان، زرین، حسینی، سید اسعد. (۱۴۰۳). آشکارسازی تغییرات مناطق آب و هوایی ایران طی دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۲۹۲-۲۶۵
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77275.1246

۲۰۰٦) نسبت به دوره ۱۰ ساله چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹٦) مشاهده شده است. همچنین بر اساس نتایج حاصل در دوره‌های اخیر بر وسعت مناطق بسیار گرم خشک و گرم خشک افزوده شده و بر عکس از وسعت مناطق سرد و خشک و معتدل مرطوب کاسته شده است. نتایج حاصل از تحلیل سیلهوته نیز نشان داد که در بیش از ۹۲ درصد از پهنه کشور، نقاط به‌درستی در گروه خود قرار گرفتند که بیانگر اعتبارسنجی بالای مناطق شناسایی شده است.

**واژه‌های کلیدی**: ایران، طبقات آب‌وهوایی، تغییرات دوره‌ای، شاخص سیلهوته، تحلیل خوشه‌ای

**۱- مقدمه**

یکی از راه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق آب‌وهوایی شناخت خصوصیات آب‌وهوایی و مناطق تحت پوشش آن‌ها است. از ابزارهای بسیار مفید در فهم نظام زمانی مکانی آب‌وهوا، پهنه‌بندی مبتنی بر عناصر آب‌وهوایی مؤثر بر هر منطقه است (اشرفی و عساکره، ۱۳۸۸). هدف هر طبقه‌بندی تعیین نظم و ترتیب مؤثر بر داده‌ها به شکل عمومی و ساده است (حیدری، ۱۳۷۸). به این معنی که افرادی که دارای شباهت بیشتری با یکدیگر هستند در یک گروه قرار گیرند (فرشادفر، ۱۳۸٤) بدین ترتیب می‌بایست مشخصات مختلفی از گروه‌های افراد را اختیار نمود. مطالعه گروهی به دو دلیل عمده صرفه‌جویی در زمان و کشف روابط و قوانین حاکم بر آن‌ها صورت می‌گیرد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۰). یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای طبقه‌بندی آب‌وهوا، روش‌های چند متغیره است در این روش این امکان وجود دارد که آب‌وهوای یک منطقه را بر اساس تعداد متغیرهای بی‌شماری طبقه‌بندی کرد. بررسی و شناخت نوع آب‌وهوا یک منطقه و عناصر غالب مؤثر بر آن تعیین‌کننده آب‌وهوای هر منطقه است. به‌طوری‌که تعیین نواحی آب‌وهوای یک منطقه مستلزم شناخت عوامل ناهمگنی آب‌وهوا در طول زمان و مکان است (لوبل و همکاران[1]، ۲۰۰۸؛ هاردینگ و همکاران[2]، ۲۰۱۰). در واقع آب‌وهوا، تمامی عناصر جوی را در بر می‌گیرد. بااین‌وجود طبقه‌بندی آب‌وهوای یک منطقه بر مبنای چند عنصر تأثیرگذار تا حدودی می‌تواند آب‌وهوای یک منطقه را تعیین کند. طبقه‌بندی آب‌وهوایی یک منطقه زمانی به‌خوبی انجام می‌گیرد که با استفاده از پارامترهای آب‌وهوایی مؤثر انجام شود (**نظری پور و همکاران، ۱۳۹۳**). ازجمله اولین کسانی که از این روش استفاده کرده است، استاینر[3] (۱۹۵٦) بود که آب‌وهوای ایالات‌متحده را بر اساس روش‌های چند متغیره طبقه‌بندی نمود. میشائیلیدو و همکاران[4]

1 Lobell et al
2 Harding et al
3 Steiner
4 Michailidou et al

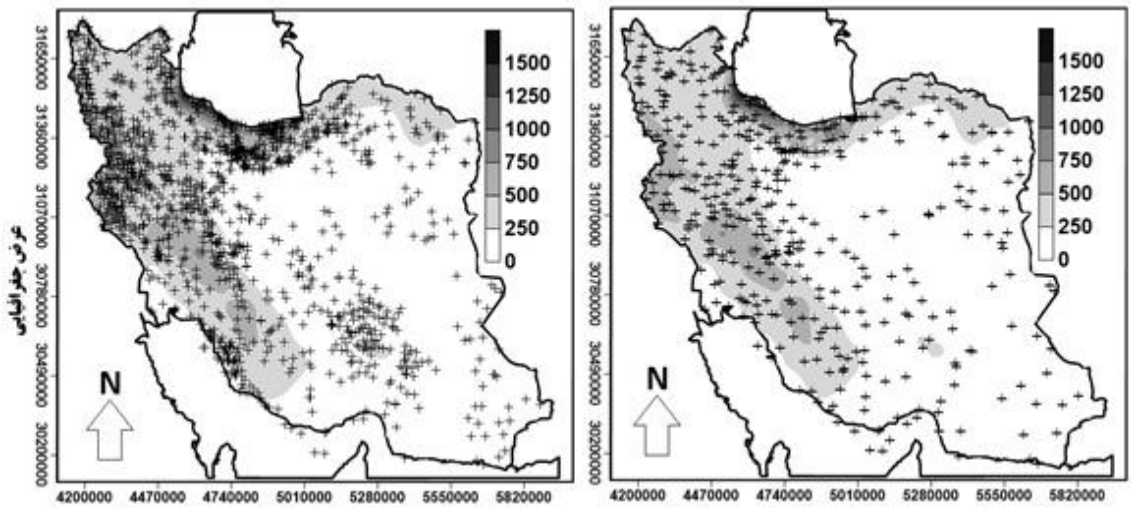
(۲۰۰۹) با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای به طبقه‌بندی اقلیمی دو شهر آتن و تسولانیکی در یونان پرداختند. نتایج برای شهر آتن، ٦ و برای تسولانیکی، ۵ نوع اقلیم متفاوت را نشان داد. لام توین و همکاران[1] (۲۰۱۰) با کاربرد تحلیل خوشه‌ای بر نمایه‌های عدم آسایش در تابستان و زمستان چین، پنج منطقه آب‌وهوایی را شناسایی کردند. کابررا و همکاران[2] (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های بارش و روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی K-Mean و چرخش واریماکس درنهایت دو گروه بارشی را برای کشور مکزیک ارائه دادند. مسگری و همکاران[3] (۲۰۲۲) به بررسی تغییرات بارش در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد در بیشتر مناطق موردمطالعه ازجمله بخش اعظم ایران میزان بارش کاهش یافته است. در مطالعه مشابهی مجدی و همکاران٤ (۲۰۲۲) نیز به چنین نتیجه‌ای دست یافتند. در زمینه منطقه‌بندی آب‌وهوایی در ایران مطالعات زیادی انجام شده است ازجمله این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های **سلیقه و همکاران (۱۳۸۷)**؛ **سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲)**؛ **موحدی و همکاران (۱۳۹۱)**؛ **منتظری و بای (۱۳۹۱)**؛ **خسروی و آرامش (۱۳۹۱)**؛ **عساکره و دوستکامیان (۱۳۹۵)** و **کریم‌وندی و طاهریان (۱۳۹٦)** اشاره کرد. **قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۳)** به پهنه‌بندی اقلیمی ناحیه زاگرس بر اساس میانگین ماهانه دما و بارش پرداختند. یافته‌ها بر اساس تحلیل مؤلفه اصلی که ۹۱/۸٤ درصد از واریانس متغیرها را توجیه می‌کرد ۵ ناحیه اقلیمی را نشان داد. **شائمی و همکاران (۱۳۹۵)** به بررسی و پهنه‌بندی شاخص‌های آب‌وهوایی کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نتایج نشان داد که تمامی ایستگاه‌های منتخب از نظر شرایط رطوبتی در گروه آب‌وهوای مدیترانه‌ای بری و از نظر رژیم حرارتی در طبقه قاره‌ای قرار می‌گیرند. **گل‌کار و همکاران (۱۳۹۵)** با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای به پهنه‌بندی آب‌وهوایی استان خراسان جنوبی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که آب‌وهوای استان متأثر از ٦ عامل (دما، رطوبت، باد، یخبندان، بارش و ساعات آفتابی) است که مؤلفه‌های مذکور حدود ۹٦/۵ درصد رفتار اقلیمی استان را تبیین می‌کنند. **دوستکامیان و همکاران (۱۳۹٦)** با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به بررسی تغییرات پهنه‌های سرد و گرم ایران پرداختند. نتایج نشان که پهنه‌های دمایی گرما به سمت دوره‌های اخیر علاوه بر اینکه به لحاظ گستره مکانی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده شده است نسبت به دوره‌های اخیر ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش داشته است. درحالی‌که پهنه‌های دمایی سرد به سمت دوره‌های اخیر علاوه بر اینکه از وسعت مکانی آن‌ها کاسته شده است مقدار دمای آن‌ها هم افزایش داشته است. **اقبالی و همکاران (۱٤۰۱)** در پیکربندی بهینه مدل RegCM4.5 مبتنی بر پهنه‌های اقلیمی نشان دادند که انتخاب پیکربندی بهینه مبتنی بر طبقه اقلیمی

1 Lam Tony et al
2 Cabrera et al
3 Mesgari et al
4 Majdi et al

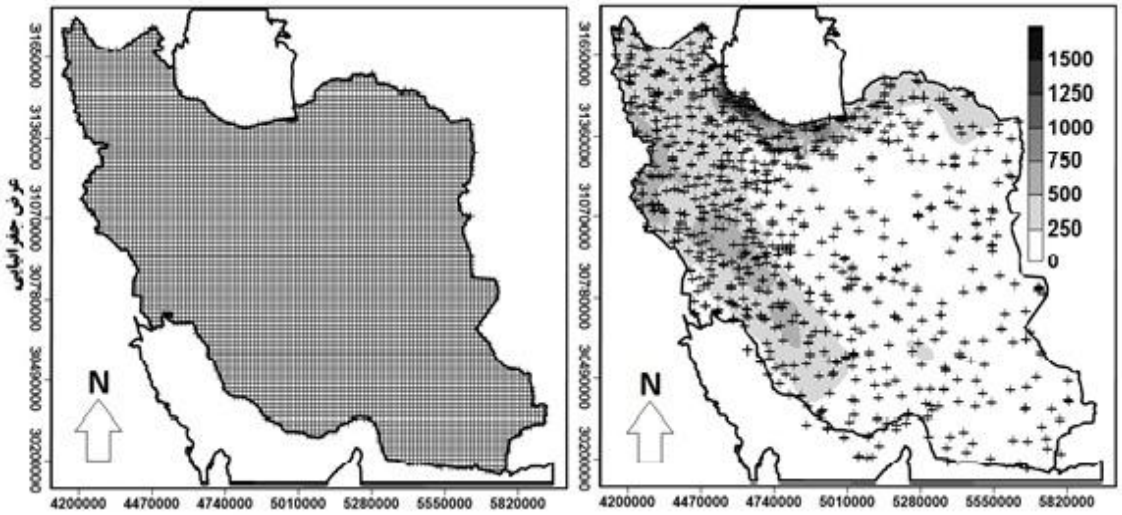
می‌تواند عملکرد مدل‌های منطقه‌ای را در پیش‌بینی فصلی بارش ایران افزایش دهد. لذا با توجه به اهمیت بررسی تغییرات مناطق آب‌وهوایی، در این پژوهش آشکارسازی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره‌های ۱۰ ساله مختلف در یک دوره بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹٦۵) موردبررسی و تحلیل قرار گیرد.

**۲- داده‌ها و روش‌شناسی**

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره‌های ۱۰ ساله مختلف (۱۹۷۵-۱۹٦۵، ۱۹۸۵-۱۹۷٦، ۱۹۹۵-۱۹۸٦، ۲۰۰۵-۱۹۹٦، ۲۰۱۵-۲۰۰٦) است. به این منظور داده‌های دما (کمینه، بیشینه، میانگین)، رطوبت (کمینه، بیشینه، میانگین)، بارش، باد و ساعت آفتابی برای ٤۱۱ ایستگاه همدیدی طی دوره ۱۹٦۵ تا ۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. کنترل کیفی داده‌ها و همگنی علاوه بر اینکه توسط خود سازمان هواشناسی جدیداً انجام می‌شود اما مجدد جهت اطمینان کامل کنترل کیفی داده‌ها انجام شده است. همچنین در این پژوهش از داده‌های پایگاه اسفزاری استفاده شد که شبکه‌بندی و توزیع مکانی آن به همراه موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل (۱) آورده شده است.




**الف: پایگاه داده‌های اولیه** **ب: پایگاه داده‌های اسفزاری بخش اول**




**ج: پایگاه داده‌های اسفزاری بخش دوم** **د: شبکه‌بندی منظم پایگاه داده‌ای اسفزاری**

**شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی و پایگاه داده‌های مورداستفاده در پژوهش**

بعد از آماده‌سازی پایگاه داده‌ها، با استفاده از روش تحلیل عاملی، عامل‌های مؤثر بر آب‌وهوای ایران مشخص شدند. تجزیه‌وتحلیل عاملی تکنیکی آماری است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به‌ظاهر بی‌ارتباط هستند رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند؛ بنابراین، یکی از اهداف اصلی تکنیک مذکور، کاهش ابعاد داده‌ها است؛ یعنی مجموعه متغیرهای اصلی را به یک مجموعه کوچک‌تری تبدیل می‌کند به‌طوری‌که این مجموعه کوچک جدید علت بیشتر واریانس موجود در داده‌ها باشد (**فرشادفر، ۱۳۸۹**). ازآنجایی‌که دو عامل دمایی و بارشی مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر آب‌وهوای ایران بودند در ادامه با توجه به دسترس بودن پایگاه شبکه اسفزاری در این مرحله دما و بارش از پایگاه داده‌های اسفزاری استخراج گردید. داده‌های اسفزاری در دو بخش تهیه شده است. بخش اول پایگاه داده‌ی اسفزاری توسط دکتر مسعودیان با تفکیک مکانی ۱۵× ۱۵ کیلومتر برای دوره‌ی ۱۳٤۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۲/۲۹ برای ۱٤٦۱ ایستگاه به ابعاد ۱۵۹۹۲×۷۱۸۷ روز تولید شده است؛ بنابراین داده‌های این پایگاه دارای تفکیک مکانی ۱۵× ۱۵ کیلومتر بوده و در قالب سیستم تصویر لامبرت مخروطی تولید شده است و در قالب یک ماتریس ۷۱۸۷× ۱۵۹۹۲ با آرایش S (زمان در سطرها و مکان در ستون‌ها) مرتب شده است. بخش دوم داده‌ها با استفاده از ۹٦۰ ایستگاه سینوپتیک از تاریخ ۱۳۸۳/۱۲/۲۹ تا ۱۳۹۵/۱۰/۰۹ با استفاده از همان روش و همان تکنیک (در قالب سیستم تصویر لامبرت مخروطی) به پایگاه داده‌ای اول اضافه شده است که درمجموع ماتریسی به ابعاد ۱۸٦۲۸×۷۱۸۷ ایجاد گردیده است. بعد از تکمیل پایگاه داده‌ای با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی عناصر آب‌وهوایی مؤثر بر ایران به منطقه بندی آب‌وهوایی ایران طی دوره‌های مختلف (۱۹۷۵-۱۹٦۵، ۱۹۸۵-۱۹۷٦،

۱۹۹۵-۱۹۸٦، ۲۰۰۵-۱۹۹٦، ۲۰۱۵-۲۰۰٦) پرداخته شده است. تحلیل خوشه‌ای مجموعه کثیری از داده‌ها را برحسب فاصله آن‌ها به خوشه یا دسته‌های کوچک‌تری تقسیم می‌کند. به‌این‌ترتیب که متغیرهای که از همدیگر فاصله کمتری دارند را دریک گروه قرار می‌دهد؛ بنابراین در تحلیل خوشه‌ای محقق به دنبال این است که دسته‌های واقعی متغیرها را مشخص و تعداد آن‌ها را کاهش دهد. ازاین‌رو می‌توان گفت هدف اصلی روش خوشه‌بندی ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع درون‌گروهی آن‌ها کمتر از تنوع و تفرق بین گروهی است (کالکستین[1]، ۱۹۸۷). به‌منظور اعتبارسنجی منطقه‌های شناسایی شده به کمک تحلیل خوشه‌ای از تحلیل سیلهوته بهره گرفته شده است. روش اعتبار سیلهوته بر اساس میانگین فاصله هریک از نمونه‌های یک خوشه با تمام نمونه‌های موجود در همان خوشه و میانگین فاصله کل نمونه موجود در خوشه‌های دیگر با یک خوشه مشخص تعریف می‌شود. بر اساس این دیدگاه برای هر خوشه میزان پراکندگی و همبستگی داده‌ها تعیین می‌شود که مقادیر بیشینه این شاخص برای تعیین تعداد بهینه خوشه بکار می‌رود:

$$S(i) = \frac{(b(i) - a(i))}{max\{b(i), a(i)\}} \quad (۱)$$

در این رابطه $a(i)$ نمایانگر تشابه نداشتن یک نمونه با نمونه‌های دیگر در یک خوشه و $b(i)$ نمایانگر تشابه نداشتن یک نمونه نسبت به همه نمونه‌ای موجود در خوشه‌ای دیگر (نزدیک‌ترین خوشه‌ها) است. مقدار شاخص‌های اعتبارسنجی سیلهوته بین۱ و ۱- متغیر است درصورتی‌که این شاخص برابر ۱ باشد نمایانگر این است که خوشه‌بندی به‌درستی صورت گرفته است. اگر مقدار شاخص نزدیک صفر باشد این بدین معناست که نمونه را می‌توان به یک خوشه نزدیک‌تر نسبت داد و نحوه قرارگیری نمونه از دو خوشه به یک اندازه دور است. درصورتی‌که این شاخص برابر ۱- شد این بدین معناست که خوشه‌بندی به‌درستی صورت نپذیرفته است (دوستکامیان و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین برای انتخاب برش نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای (انتخاب تعداد منطقه مناسب) از آزمون اختلاف میانگین در قالب یک نمودار باکس پلات جهت به دست آوردن یک نمای کلی از هر منطقه استفاده شده است که نتایج آن در کنار هر نمودار درختی ارائه شده است. در این نمودار تعداد باکس پلات‌ها برای هر دوره بیانگر محل برش نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای نیز است.

1 Kalkstein

### ۳- نتایج و بحث

جدول (۱) شناخت سهم هر عامل را در تبیین مجموع واریانس تمام متغیرها را نشان می‌دهد. این جدول از دو قسمت تشکیل شده است. اولین بخش مقادیر ویژه اولیه نام دارد که خود مقدار ویژه، درصد از واریانس و درصد تجمعی از واریانس را برای هرکدام از عامل‌ها را نشان می‌دهد.

**جدول ۱- سهم هر عامل در تبیین مجموع واریانس تمام متغیرها**

| FCA | مقادیر ویژه اولیه | | | مجموع مجذورات بارهای عاملی چرخش یافته | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | مقدار ویژه | واریانس (٪) | درصد تجمعی (٪) | مقدار ویژه | واریانس (٪) | درصد تجمعی (٪) |
| ۱ | ٤/٤۰۷ | ٤۸/۹٦۹ | ٤۸/۹٦۹ | ٤/۰۹ | ٤۵/٤٤۲ | ٤۵/٤٤۲ |
| ۲ | ۳/۰۹ | ۳٤/۳۳٤ | ۸۳/۳۰۳ | ۳/٤۰۷ | ۳۷/۸٦۱ | ۸۳/۳۰۳ |
| ۳ | ۰/۸۵۷ | ۹/۵۲۵ | ۹۲/۸۲۸ | - | - | - |
| ٤ | ۰/۳۳۹ | ۳/۷٦۷ | ۹٦/۵۹۵ | - | - | - |
| ۵ | ۰/۱۹۲ | ۲/۱۳۱ | ۹۸/۷۲۷ | - | - | - |
| ٦ | ۰/۰۸۱ | ۰/۸۹۸ | ۹۹/٦۲٤ | - | - | - |
| ۷ | ۰/۰۲٤ | ۰/۲٦۷ | ۹۹/۸۹۱ | - | - | - |
| ۸ | ۰/۰۱ | ۰/۱۰۹ | ۱۰۰ | - | - | - |
| ۹ | ۰۹E-۷/۹۲ | ۰۸E-۸/۸۱ | ۱۰۰ | - | - | - |

بخش دوم جدول (۱) مجموع مجذورات بارهای عاملی استخراج شده را بعد از چرخش نشان می‌دهد. در واقع مقادیر این بخش، توزیع واریانس را بعد از چرخش عامل‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مهم‌ترین ویژگی تکنیک تجزیه‌ی عاملی این است که بتواند رابطه‌ی بین متغیرهای اولیه و عامل‌های ایجاد شده را به‌صورت واضح و ساده بیان کند و عامل‌های ایجاد شده از نظر علمی (اقلیم‌شناسی سینوپتیک) قابل توجیه و بهتر تفسیر شوند، عامل‌های مذکور به روش چرخش متعامد (واریماکس) دوران داده شدند. باید توجه داشت که یک تحلیل عاملی خوب همواره تحلیلی است که به کمک تعداد عامل‌های کم، بتوانند مقدار زیادی از واریانس مجموعه از متغیرها را بیان کند. بر اساس جدول (۲) دو عامل توانستند نزدیک به ۸۰/۳ درصد از مجموع واریانس متغیرها را توجیه کنند. از نتایج حاصل از این بخش در تحلیل خوشه‌ای در دوره‌های مختلف موردمطالعه استفاده شده است.

**جدول ۲- ماتریس همبستگی بین گویه‌ها و عامل‌ها بعد از چرخش واریمکس**

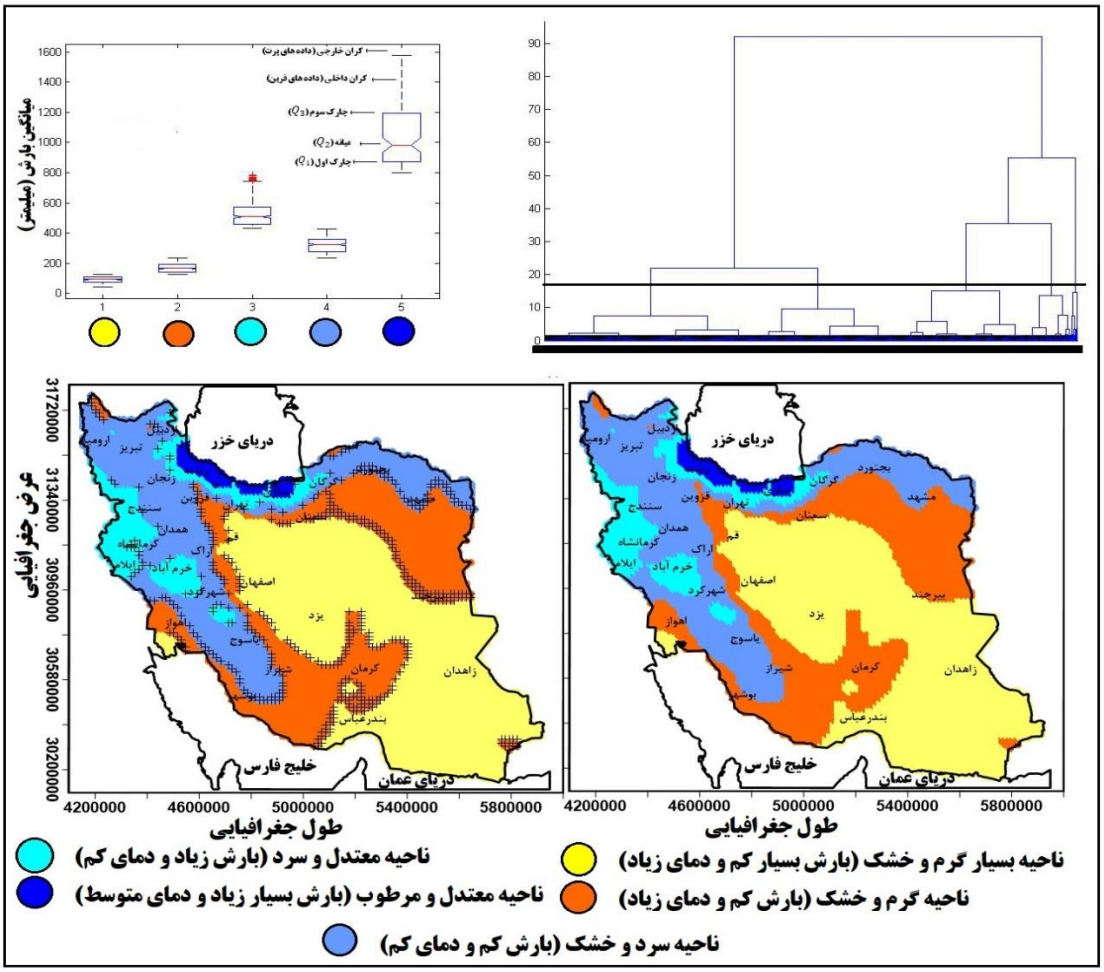
| پارامتر | بارش | باد | بیشینه رطوبت | کمینه رطوبت | میانگین رطوبت | بیشینه دما | کمینه دما | میانگین دما | ساعت آفتابی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عامل اول | -۰/۲۹ | ۰/٤۷ | ۰/۲۹ | ۰/۲۰ | -۰/۱۱ | ۰/۹٤ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ | ۰/٤٤ |
| عامل دوم | ۰/۹۱ | -۰/٦۵ | ۰/۵۷ | ۰/٦۵ | ۰/۷۰ | ۰/۰۲ | -۰/۱۳ | -۰/۰۳ | -۰/۱٤ |

**۳-۱- منطقه‌بندی آب‌وهوایی دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵)**

به‌منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای آب‌وهوای ایران طی دوره‌های مختلف (۱۹۷۵-۱۹٦۵، ۱۹۸۵-۱۹۷٦، ۱۹۹۵-۱۹۸٦، ۲۰۰۵-۱۹۹٦، ۲۰۱۵-۲۰۰٦) از تحلیل خوشه‌ای و برای اعتبارسنجی آن از تحلیل سیلهوته بهره گرفته شده است. برای این منظور با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی عامل‌های دما و بارش نمودار درختی حاصل از آن ترسیم گردیده است که نتایج حاصل از آن در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود بر اساس نمودار باکس پلات میانگین برون گروهی اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. در شکل ۲ (نمودار باکس پلات) جعبه‌ی این نمودار شرایط معمول پارامتر آب‌وهوای موردنظر در هر منطقه را بیان می‌کند. داده‌هایی که در کران خارجی نمودار ($F = Q_2 \pm 3(Q_3 - Q_1)$) قرار گرفته باشند داده‌های پرت نامیده می‌شوند و اگر داده‌ها در کران داخلی نمودار ($F = Q_1 \pm 1.5(Q_3 - Q_2)$) قرار بگیرند، داده‌های فرین نامیده می‌شوند. دماهایی که در کران داخلی این نمودار قرار می‌گیرند، اگرچه روزهای پربارشی محسوب می‌شوند اما از آب‌وهوا منطقه مورد انتظار بوده و جزء رویدادهای فرین دمایی به حساب می‌آیند. جایگاه خط میانه در این نمودار، نوسان مقادیر در اطراف میانه را بیان می‌کند. در واقع جایگاه میانه نوع چولگی (مثبت یا منفی) را تداعی می‌کند (**عساکره و دوستکامیان، ۱۳۹۵**). اگر میانه در وسط جعبه باشد چولگی صفر است و داده‌ها از توزیع متقارنی حول میانه برخوردارند اما اگر میانه به سمت پایین باشد مقادیر چوله به چپ و اگر در سمت بالا باشد مقادیر چوله به راست خواهند بود. همچنین اگر خطوط عمود بر جعبه طول یکسانی داشته باشند، توزیع مقادیر داده‌ها تقریباً متقارن و اگر دنباله‌ی بالایی طویل‌تر باشد توزیع مقادیر به‌طور منفی چوله و در عکس این حالت توزیع داده‌ها به‌طور مثبت چوله است. بررسی وضعیت نمودار باکس پلات در دوره اول بیانگر این است که در دوره ۱۰ ساله اول منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) بارش دارای چوله به چپ و خط میانه به سمت پایین تمایل پیدا کرده است که این بیانگر فراوانی بیشتر داده‌های بیشتر از میانگین در این منطقه در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) می‌باشد. از طرف دیگر اختلاف زیاد کران خارجی با چارک سوم نسبت به کران خارجی با چارک اول بیانگر رخداد فراوانی بیشتر فرین‌ها مورد انتظار (یعنی فرین‌های که رخداد آن‌ها یک امر طبیعی در این منطقه می‌باشد) در منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) می‌باشد. در منطقه یک (۱۹۷۵-۱۹٦۵) و دوم خط میانه به سمت

بالای جعبه تمایل پیدا کرده است که بیانگر چوله به راست بودن توزیع داده‌ها در این دوره می‌باشد (شکل ۲).

در دوره اول با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی پارامترهای خانواده دما و بارش در دوره اول پنج منطقه شناسایی شدند. اعتبارسنجی منطقه‌های شناسایی شده بر اساس تحلیل سیلهوته انجام شده است. در این شکل‌ها نقاط بر روی خوشه‌ها نقاطی هستند که بر اساس تحلیل سیلهوته مشکوک بوده و به‌درستی در خوشه‌های خود جای نگرفته است. اگر دقت شود این نقاط بیشتر در امتداد مرزهای هر منطقه می‌باشد که بیانگر این است که منطقه‌بندی به‌خوبی انجام شده است اما مرز مناطق می‌توانست جابجایی‌هایی را داشته باشد البته تعداد نقاط آن‌قدر زیاد نیست که بتوانند مرز اصلی منطقه‌بندی را خدشه‌دار کند (شکل ۲). بررسی وضعیت مناطق آب‌وهوای در این دوره بیانگر این است که بیشتر مساحت کشور تحت سیطره منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد) و منطقه گرم خشک (بارش کم و دمای زیاد منطقه ۲) می‌باشد (شکل ۲). منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد) که بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته بخش‌های زیادی از مناطق مرکزی به‌ویژه استان‌های یزد، بخش‌های از اصفهان، کرمان، زاهدان و بیرجند را در بر گرفته است که ٤۰/۲ درصد از پهنه ایران را پوشش داده است (جدول ۱). میانگین بارش در این منطقه با ۹۲/۱۸ میلی‌متر به کمترین مقدار خود نسبت به سایر مناطق رسیده است و از طرفی دیگر میانگین دمای نزدیک به ۲۰/۳۳ درجه سلسیوس تأییدی دیگر بر خشک و گرم بودن این منطقه دارد. کما اینکه اختلاف نمایه‌های مرکزی دما و به‌ویژه بارش بیانگر توزیع مکانی بالای دما و بارش در منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد منطقه ۱) می‌باشد.




**شکل ۲- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۱۹۷۵-۱۹٦۵)**

منطقه گرم خشک (بارش کم و دمای زیاد) بیشتر مناطق مرکزی و بخش‌های از جنوب و شمال شرق کشور را در بر گرفته است که ۲۷/۱ درصد از گستره ایران را در بر می‌گیرد و بیشتر شامل استان‌های بوشهر، کرمان، سمنان، بخش‌های از مشهد، شیراز خوزستان و همچنین بخش‌های از قم و اصفهان است (شکل ۲). منطقه سرد و خشک (منطقه بارش کم و دمای کم) بیشتر به‌صورت نواری حاشیه ارتفاعات کشور را پوشش می‌دهد و استان‌های زنجان، تبریز، بخش‌های از همدان، شیراز، مشهد، بخش‌های شمالی بوشهر، کرمانشاه و ارومیه را شامل می‌شود (شکل ۲). میانگین بارش و دما در این منطقه به ترتیب برابر با ۳۲۱/۹۲ میلی‌متر و ۱٤/۹۷ درجه سلسیوس می‌باشد (جدول ۳). در این منطقه دما از ضریب تغییرات بالایی (۲۵/۱۷ درصدی) برخوردار است؛ درصورتی‌که بارش دارای ضریب تغییرات مکانی برابر با ۱٦/۲ درصد است که نشان می‌دهد توزیع مکانی دما در شکل‌گیری این منطقه بیشتر از بارش نقش داشته است (شکل ۲).

**جدول ۳- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوای برای دوره ۱۹۷۵-۱۹٦۵**

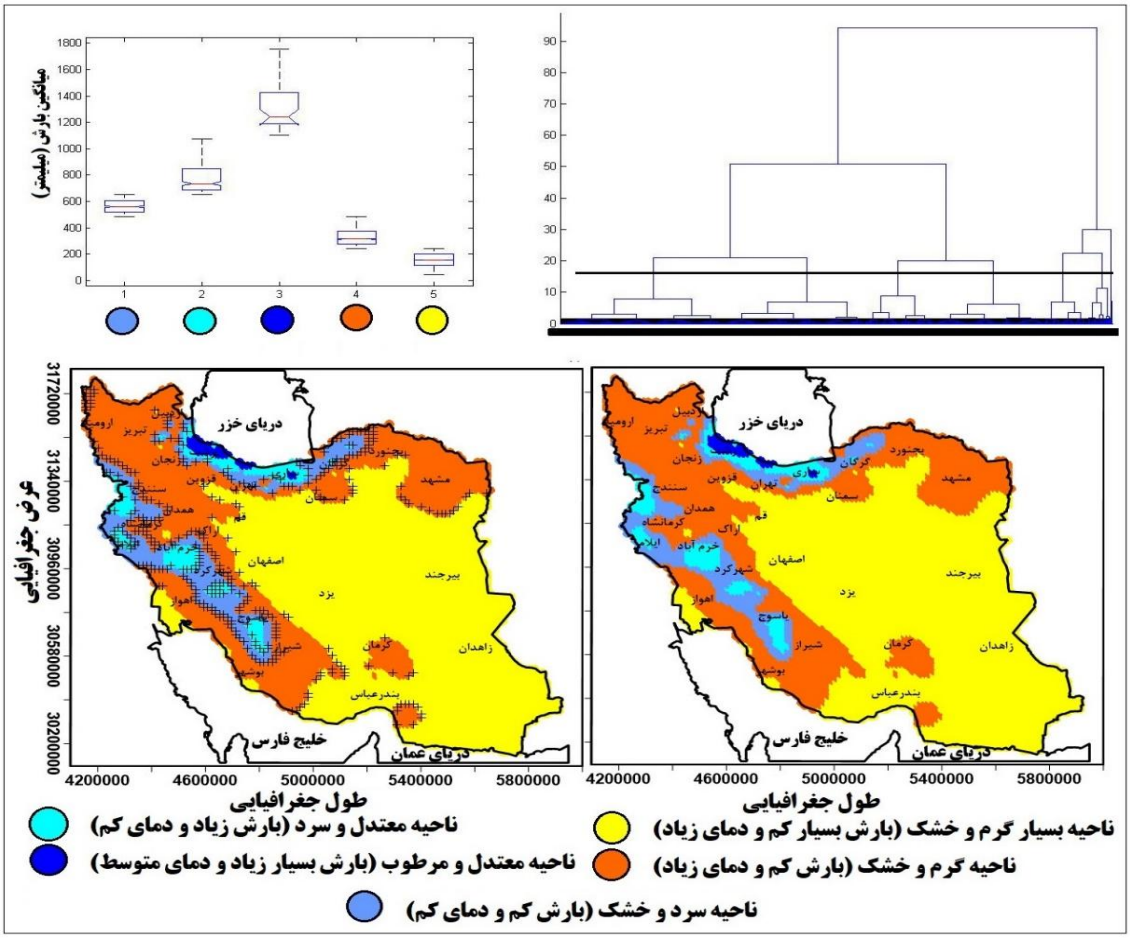
| منطقه | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ۵ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ۲۰/۳۳ | ۹۲/۱۸ | ۱۷/۹۰ | ۱۷۰/٤۷ | ۱٤/۱٤ | ۵۲۹/٦۹ | ۱٤/۹۷ | ۳۲۱/۹۲ | ۱۵/۵٤ | ۱۰۵۵/۹۲ |
| میانه | ۱۹/۷۱ | ۹۲/٤۰ | ۱٦/۸۳ | ۱٦۵/٦۸ | ۱٤/۳۷ | ۵۰۷/۰٦ | ۱۳/۷۷ | ۳۲۳/۱۵ | ۱۵/۷۵ | ۹۸۲/۵۸ |
| مد | ۱۲/۸۲ | ٤۳/۹۸ | ۱۰/۸۰ | ۱۲٦/۸۸ | ۹/۱۹ | ٤۲۹/۰۳ | ۷/۳۱ | ۲۳٦/۰۱ | ۱۲/۵۲ | ۷۹۸/٤٤ |
| انحراف معیار | ۳/٤۰ | ۱۹/٦۰ | ۳/٤۸ | ۳۱/۰۲ | ۳/۰۸ | ۸۵/۱٤ | ۳/۷۷ | ۵۱/۸۹ | ۰/۹۹ | ۲۰۹/۸۱ |
| ضریب تغییرات | ۱٦/۷۱ | ۲۱/۲٦ | ۱۹/٤۷ | ۱۸/۱۹ | ۲۰/۳٦ | ۱٦/۰۷ | ۲۵/۱۷ | ۱٦/۱۲ | ٦/٤۰ | ۱۹/۸۷ |
| بیشینه | ۲۷/٦٦ | ۱۲٦/۷۹ | ۲٦/۲۹ | ۲۳۵/۵۱ | ۲٤/۷۷ | ۷۸۵/۸۳ | ۲۵/۲۷ | ٤۲۸/۲۲ | ۱۷/۲۵ | ۱۵۷٦/٦۳ |
| کمینه | ۱۲/۸۲ | ٤۳/۹۸ | ۱۰/۸۰ | ۱۲٦/۸۸ | ۹/۱۹ | ٤۲۹/۰۳ | ۷/۳۱ | ۲۳٦/۰۱ | ۱۲/۵۲ | ۷۹۸/٤٤ |
| چولگی | ۰/٤٤ | -۰/۰۸ | ۰/۷۵ | ۰/۳۹ | ۰/۸۱ | -۱/۰۹ | ۰/۹۱ | ۰/۱٤ | -۰/۸۳ | -۰/۷٦ |
| کشیدگی | ۲/۳۷ | ۱/۹٤ | ۲/٤۸ | ۱/۹٦ | ۳/۲۹ | ۳/٦۰ | ۲/۸۷ | ۱/۹۸ | ۳/۳۸ | ۲/۵۲ |
| دامنه تغییرات | ۱٤/۸۵ | ۸۲/۸۲ | ۱۵/٤۹ | ۱۰۸/٦۳ | ۱۵/۵۸ | ۳۵٦/۸۰ | ۱۷/۹٦ | ۱۹۲/۲۱ | ٤/۷٤ | ۷۷۸/۱۹ |
| درصد پوشش | ٤۰/۲ | | ۲۷/۱ | | ۸/۱ | | ۲۳/۲ | | ۱/٤ | |

منطقه بسیار معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) نیز بیشتر به‌صورت نوار باریکی بخش‌های ساحلی دریای خزر را شامل می‌شود و با ۱/٤ درصد کمترین مساحت را در بین مناطق آب‌وهوایی حاصل دارد (شکل ۲). میانگین بارش در این منطقه به بالاترین مقدار در بین مناطق حاصل یعنی ۱۰۵۵/۹۲ میلی‌متر رسیده است. در این منطقه تغییرات مکانی بارش نسب به دما بیشتر است. منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) نیز با ۸/۱ درصد از مساحت کشور بیشتر به‌صورت هسته‌های کوچکی امتداد کوه‌های زاگرس و یا به‌صورت نواری حاشیه جنوبی ساحل دریای خزر را در بر می‌گیرد (شکل ۲). میانگین بارش در این منطقه برابر با ۵۲۹/٦ میلی‌متر و حداکثر و حداقل رخداد بارش آن به ترتیب برابر با ۷۸۵/۸۳ میلی‌متر و ٤۲۹/۰۳ میلی‌متر است. در این منطقه همانند سایر مناطق دما از ضریب تغییرات مکانی بیشتری نسبت به بارش برخوردار است (جدول ۳).

### ۳-۲- منطقه‌بندی آب‌وهوایی دوره دوم (۱۹۸۵-۱۹۷٦)

با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی متغیرهای دما و بارش در این دوره نیز همانند دوره قبل، ۵ منطقه شناسایی شد که نمودار حاصل از باکس پلات تعداد منطقه‌های مناسب در شکل ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد) بیشتر نواحی جنوب شرق کشور و بخش‌های زیادی از نواحی مرکزی ایران را در بر می‌گیرد که شامل استان‌های سیستان و

بلوچستان، بیرجند، یزد، بندرعباس و بخش‌های از سمنان و قم است. منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) تیز بیشتر بخش‌های شمال غربی و شمال شرق کشور و همچنین به‌صورت نواری حاشیه ارتفاعات زاگرس را در بر می‌گیرد (شکل ۳). منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) تقریباً وضعیتی مشابه با دوره اول دارد با این تفاوت که از گستره آن کاسته شده است (شکل ۳). منطقه بسیار معتدل و مرطوب هم همانند دوره اول به‌صورت نوار باریکی حاشیه غربی دریای خزر را در بر می‌گیرد.




**شکل ۳- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۱۹۸۵-۱۹۷۶)**

بررسی وضعیت طبقه‌بندی آب‌وهوای در دوره دوم (۱۹۸۵-۱۹۷۶) بیانگر این است که مناطق آب‌وهوایی دستخوش تغییرات قابل محسوسی شده است به‌طوری‌که در این دوره به شدت از گستره مناطق مرطوب و معتدل کاسته شده و بر عکس مناطق گرم و خشک و بسیار گرم و خشک بر وسعت آن‌ها افزوده شده است. برای مثال منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) از ۲۳/۲ درصد در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹۶۵) به ۷/۸

درصد در دوره دوم (۱۹۸۵-۱۹۷٦) رسیده است و نشان می‌دهد که این منطقه تقریباً ۱٦ درصد کاهش داشته است. از طرفی دیگر منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) از ۸/۱ درصد در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) به ٤/۲ درصد در دوره دوم رسیده است که حدود ٤ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در واقع در دوره دوم (۱۹۸۵-۱۹۷٦) منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) بیشتر به‌صورت هسته‌های کوچک و محدود به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، شهرکرد، خرم‌آباد، سنندج و همچنین حاشیه شرقی ساحلی دریای خزر شده است. از طرفی دیگر گستره منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) از ٤۰/۲ درصد در دوره اول به ۵۵/۲ درصد در دوره دوم رسیده است. در این دوره بخش‌های زیادی از کرمان، بیرجند و سمنان که در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) دارای آب‌وهوای گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) بوده است در دوره دوم دارای آب‌وهوای بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) می‌باشد. از طرفی دیگر بخش‌های زیادی از شمال غرب که در دوره اول دارای وضعیت آب‌وهوایی سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) بودند در این دوره آب‌وهوای گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) را تجربه کرده است. در این دوره با وجود اینکه از وسعت منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) کاسته شده است اما میانگین بارش بر عکس افزایش چشمگیری داشته است به‌طوری‌که میانگین بارش در این دوره برای این منطقه به ۵٦۲/٦ میلی‌متر و دما به ۱٦ درجه سلسیوس رسیده است (جدول ٤).

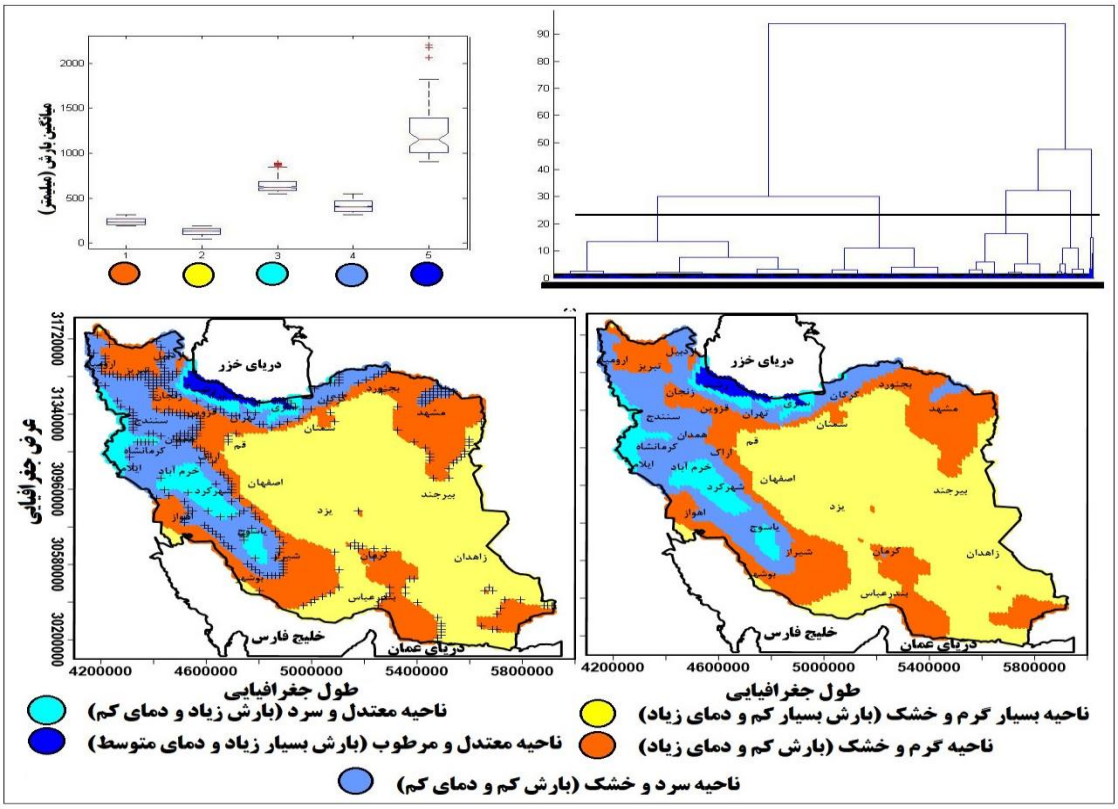
**جدول ٤- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوایی برای دوره ۱۹۷۵-۱۹٦۵**

| منطقه | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ۵ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ۱٦ | ۵٦۲/٦ | ۱۵/۹ | ۷۷۳/٦ | ۱۵/۲ | ۱۳۰۹/۸ | ۱۵/۰ | ۳۳۰/۸ | ۱۹/۰ | ۱۵۵/٦ |
| میانه | ۱٦/۳ | ۵۵۹/۸ | ۱۵/۵ | ۷۳۵/۱ | ۱۵/۳ | ۱۲٤۰/۹ | ۱۳/۸ | ۳۱۵/٦ | ۱۸/٦ | ۱۵٦/۱ |
| مد | ۷/٤ | ٤۸٦/٤ | ۷/۳ | ٦۵٤/٦ | ۱۳/۰ | ۱۱۰۱/۸ | ٦/۱ | ۲٤۳/۰ | ۱۸/۸ | ٤۷/٤ |
| انحراف معیار | ٤/۱ | ٤٦/٤ | ۳/۱ | ۱۰٦/٤ | ۰/۸ | ۱۷۸/۲ | ٤/۵ | ٦٤/٤ | ۳/٦ | ۵۰/۹ |
| ضریب تغییرات | ۲۵/۹ | ۸/۲ | ۱۹/۵ | ۱۳/۸ | ۵/٤ | ۱۳/٦ | ۲۹/۹ | ۱۹/۵ | ۱۸/۹ | ۳۲/۷ |
| بیشینه | ۲۳/۹ | ٦۵۳/۲ | ۲۳/۳ | ۱۰۷٦/٦ | ۱٦/٤ | ۱۷۵٤/۵ | ۲۵/۵ | ٤۸۵/۵ | ۲٦/۸ | ۲٤۲/۷ |
| کمینه | ۷/٤ | ٤۸٦/٤ | ۷/۳ | ٦۵٤/٦ | ۱۳/۰ | ۱۱۰۱/۸ | ٦/۱ | ۲٤۳/۰ | ۱۱/٤ | ٤۷/٤ |
| چولگی | -۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۱ | -۰/۹ | -۱ | ۰/۹ | ۰/۷ | ٤/۰ | -۰/۱ |
| کشیدگی | ۱/۹ | ۱/۹ | ۲/۷ | ۲/۹ | ۳/۵ | ۳/۰ | ۲/۷ | ۲/۵ | ۲/۳ | ۱/۹ |
| دامنه تغییرات | ۱٦/۵ | ۱٦٦/۸ | ۱٦/۱ | ٤۲۲ | ۳/۵ | ٦۵۲/٦ | ۱۹/٤ | ۲٤۲/۵ | ۱۵/٤ | ۱۹۵/۳ |
| درصد پوشش | ۷/۸ | | ٤/۲ | | /۷۸ | | ۳۲/٤ | | ۵۵/۲ | |

بر اساس نتایج حاصل میانگین بارش در منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) از ۵۲۹/٦۹ میلی‌متر در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) به ۷۳۳/٦ میلی‌متر در دوره دوم (۱۹۸۵-۱۹۷۵) رسیده است. میانگین بارش در منطقه بسیار معتدل و مرطوب نیز در دوره دوم تقریباً به ۱۳۰۹/۸ میلی‌متر رسیده است که نسبت به دوره قبل تقریباً ۲۸۰ میلی‌متر افزایش داشته است از طرفی دیگر ضریب تغییرات مکانی دما در این دوره نسبت به دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) بسیار کمتر بوده است. میانگین بارش در منطقه بسیار گرم و خشک در این دوره برابر با ۱۵۵/٦ میلی‌متر و دما برابر با ۱۹ درجه سلسیوس است. بر این اساس نسبت به دوره اول بارش تقریباً ٤۰ میلی‌متر افزایش و دما ۱ درجه سلسیوس کاهش یافته است. در مجموع می‌توان گفت با وجود اینکه در این دوره مناطق گرم و خشک افزایش پیدا کرده است بر عکس میانگین بارش هم افزایش قابل محسوسی داشته است (شکل ۳).

**۳-۳- منطقه‌بندی آب‌وهوایی دوره سوم (۱۹۹۵-۱۹۸٦)**

طبقات آب‌وهوایی طی دوره سوم (۱۹۹۵-۱۹۸٦) نسبت به دوره قبل تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است به‌طوری‌که بر گستره منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) افزوده شده است. به‌طوری‌که مساحت آن به ۱۷/۷ درصد رسیده است. به‌طور کلی تغییرات طبقات آب‌وهوایی در این دوره تقریباً شبیه به دوره اول (۱۹۷۵-۱۹٦۵) است (شکل ٤).




**شکل ٤- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۱۹۹۵-۱۹۸٦)**

در دوره سوم (۱۹۹۵-۱۹۸٦) منطقه سرد و خشک شامل استان‌های سنندج، همدان، کرمانشاه و بخش‌های از ایلام، لرستان، آذربایجان شرقی، گرگان و تهران می‌باشد (شکل ٤). در این دوره میانگین بارش در این منطقه ٤۱۲/۸ میلی‌متر و دما ۱٤/٦ درجه سلسیوس است (جدول ۵). با وجود اینکه در این دوره بر گستره منطقه سرد و خشک افزوده شده است اما بر عکس میانگین بارش نسبت به دوره قبل کاهش قابل توجهی داشته است. اختلاف نمایه‌های مرکزی بارش و به‌ویژه دما در منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) بسیار زیاد است که بیانگر افت خیز روزانه شدید دما و بارش در این منطقه می‌باشد. ضریب تغییرات بالای دما با ۲۸/٦ درصد تأییدی بر این ادعا می‌باشد (جدول ۵). بر اساس نتایج در این دوره از وسعت منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) و منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) کاسته شده است به‌طوری‌که این وضعیت برای منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) چیزی حدود ٦/۵ درصد و برای منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) ۷/۵ درصد بوده است (جدول ۵). در این دوره بخش‌های از ایران که در دوره قبل از آب‌وهوای بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد) برخوردار بوده است دارای آب‌وهوا گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) است برای مثال می‌توان به

بخش‌های از استان‌های اصفهان، سمنان، کرمان و بندرعباس اشاره کرد (شکل ٤) و برعکس در بخشی از استان‌ها که در دوره دوم دارای آب‌وهوا گرم و خشکی بودند در دوره سوم دارای آب‌وهوای سرد و خشک می‌باشند که در این زمینه می‌توان به استان‌های قزوین، زنجان، سنندج، تبریز، ارومیه، کرمانشاه و همدان اشاره کرد (شکل ٤).

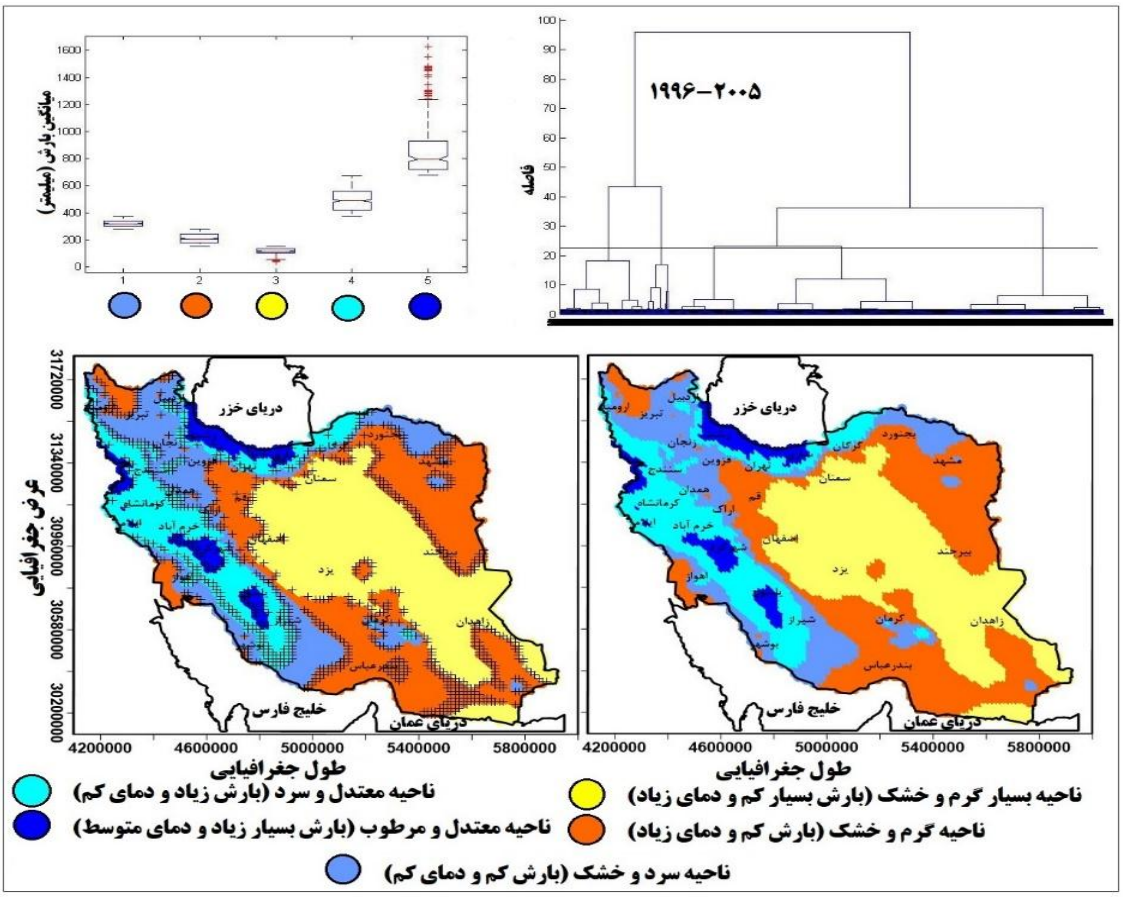
**جدول ٥- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوای برای دوره ۱۹۹۵-۱۹۸٦**

| منطقه | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ٥ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ۱۷/٦ | ۲٤۰/۹ | ۱۹/٥ | ۱۲۹/۸ | ۱٥/٦ | ٦٤۳/٦ | ۱٤/٦ | ٤۱۲/۸ | ۱٥/۳ | ۱۲٤۱/٦ |
| میانه | ۱٥/۷ | ۲۳٦/۰ | ۱۹/۳ | ۱۳۱/۷ | ۱٥/٤ | ٦۱۹/۸ | ۱۳/۱ | ٤۰٤/٦ | ۱٥/٥ | ۱۱٥۱/۸ |
| مد | ۸/۷ | ۱۸۸/۲ | ۱۷/۰ | ٤۷/٦ | ۱۰/۲ | ٥٤٦/۱ | ۸/۲ | ۳۱۲/۷ | ۱۱/۷ | ۹۰۷/۹ |
| انحراف معیار | ٥/۱ | ۳٦/۹ | ۳/۲ | ۳٥/۹ | ۳/۰ | ۸۱/۰ | ٤/۲ | ٦۸/۲ | ۱/۲ | ۳۰٤/۷ |
| ضریب تغییرات | ۲۹ | ۱٥/۳ | ۱٦/۳ | ۲۷/٦ | ۱۹/٤ | ۱۲/٦ | ۲۸/٦ | ۱٦/٥ | ۷/۹ | ۲٤/٥ |
| بیشینه | ۲٦/۷ | ۳۱۲/۳ | ۲۷/۱ | ۱۸۸/۱ | ۲۳/۱ | ۸۹۱/٤ | ۲٥/۲ | ٥٤٥/۱ | ۱۷/۰ | ۲۲۰۰/۸ |
| کمینه | ۸/۷ | ۱۸۸/۲ | ۱۱/۹ | ٤۷/٦ | ۱۰/۲ | ٥٤٦/۱ | ۸/۲ | ۳۱۲/۷ | ۱۱/۷ | ۹۰۷/۹ |
| چولگی | ۰/٤ | ۰/۳ | ۰/٥ | ۰/۱ | ۰/٤ | ۱ | ۰/۹ | ۰/۳ | ۱/۲- | ۱/۳ |
| کشیدگی | ۱/۷ | ۱/۸ | ۲/٦ | ۱/۸ | ۲/٤ | ۳/٤ | ۲/٦ | ۱/۹ | ٤/۰ | ٤/٥ |
| دامنه تغییرات | ۱۸ | ۱۲٤/۱ | ۱٥/۲ | ۱٤۰/٥ | ۱۲/۹ | ۳٤٥/۳ | ۱۷/۰ | ۲۳۲/٤ | ٥/٤ | ۱۲۹۲/۹ |
| درصد پوشش | ۲٦/٦ | | ٤۸/٦ | | ٦/۲ | | ۱۷/۷ | | /۹ | |

میانگین بارش در منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) در این دوره برابر با ۱۲۹/۸ میلی‌متر است که نسبت به دوره قبل تقریباً ۳۰ میلی‌متر کاهش یافته است (جدول ٥). همچنین میانگین دما ۰/٥ درجه سلسیوس افزایش داشته است. گستره مکانی منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) در دوره سوم (۱۹۹٥-۱۹۸٦) نسبت به دوره دوم (۱۹۸٥-۱۹۷٦) از تغییرات قابل توجهی برخوردار نبوده است به‌طوری‌که در این دوره گستره مکانی تحت پوشش منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) تقریباً ۹/ ۰ درصد بوده است. میانگین بارش در این منطقه تقریباً ۱۲٤۱ میلی‌متر بوده است که نسبت به دوره قبل نزدیک به ٦۰ میلی‌متر کاهش داشته است. این وضعیت برای منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) تقریباً مشابه با منطقه معتدل و مرطوب می‌باشد به‌طوری‌که میانگین بارش برای منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) نسبت به دوره قبل تقریباً ۱۳۰ میلی‌متری کاهش داشته است که این میزان کاهشی نسبت به سایر مناطق در مقایسه با دوره‌های قبل بیشترین میزان کاهش می‌باشد (جدول ٥).

### ۳-٤- منطقه‌بندی آب‌وهوایی دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹٦)

منطقه بندی آب‌وهوایی در دوره چهارم همانند سه دوره قبلی در پنج منطقه قابل تقسیم می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که طبقات آب‌وهوایی در دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹٦) به‌ویژه در طبقات مرطوب و معتدل از تغییرات قابل محسوسی برخوردار بوده است (شکل ۵).




**شکل ۵- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۲۰۰۵-۱۹۹٦)**

در دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹٦) با وجود اینکه طبقات معتدل و مرطوب نسبت به دوره قبل از گستره بیشتری برخوردار بوده است اما میانگین بارش کاهش چشمگیری داشته است. برای مثال منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) به وجود اینکه به لحاظ گستره مکانی تقریباً ۳ درصد افزایش یافته است اما میانگین بارش تقریباً ۳۵۰ میلی‌متر کاهش داشته است. ضریب تغییرات مکانی بارش و دما در این دوره نسبت به دوره قبل از تغییرات قابل توجهی برخوردار نبوده است (جدول ٦). از طرفی دیگر منطقه

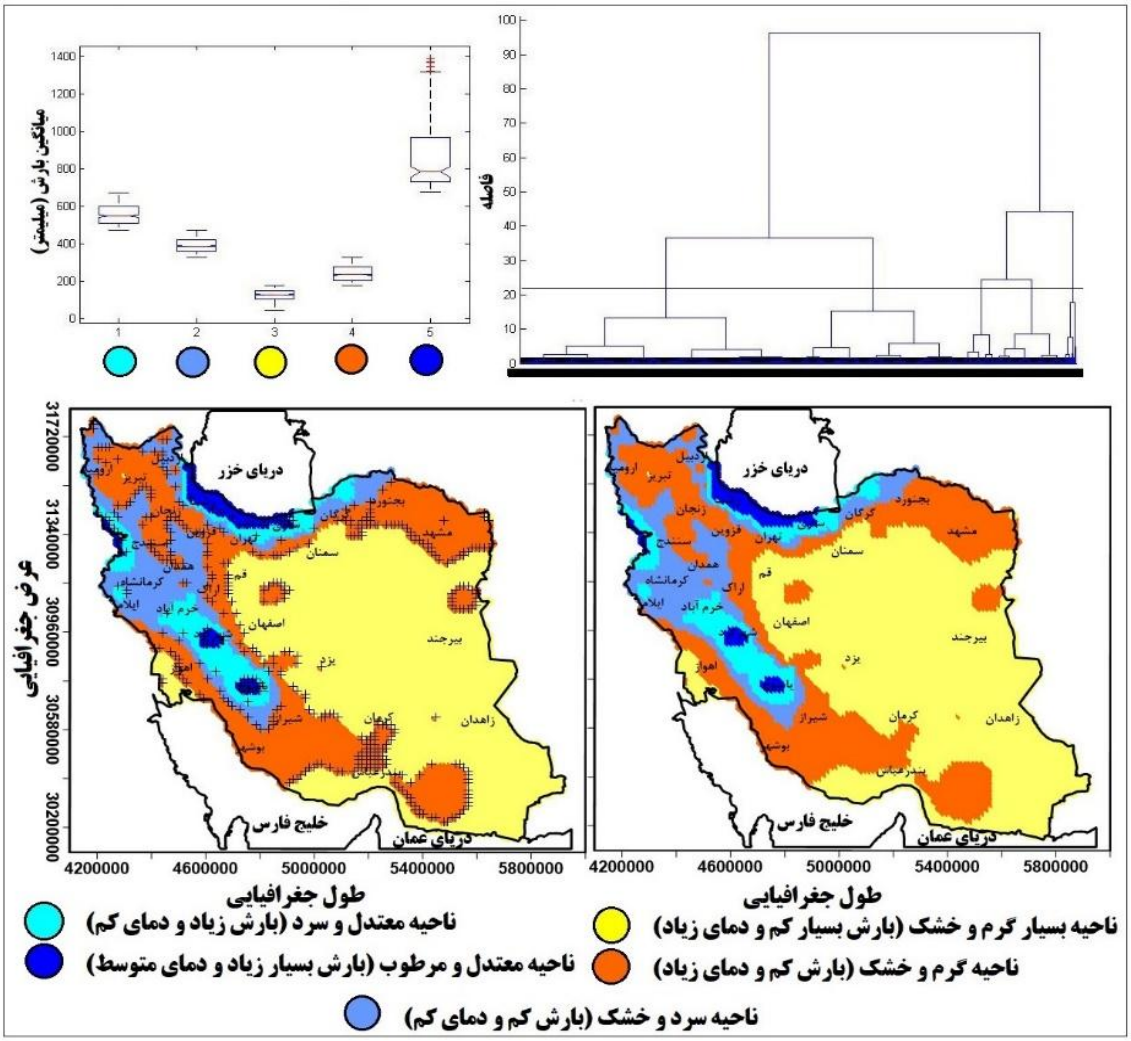
معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) ۱۵/۸ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است که نسبت به دوره قبل تقریباً ۱۰ درصد افزایش یافته است (شکل ۵). در دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹۶) بخش‌های زیادی از امتداد کوه‌های زاگرس و غرب کشور که در دوره قبل دارای آب‌وهوا سرد و خشک بودند دارای آب‌وهوای معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) هستند؛ بنابراین بیشترین تنوع تغییرات منطقه‌ای ایران در دوره چهارم نسبت به دوره سوم در ارتفاعات زاگرس رخ داده است. میانگین بارش منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) برابر با ۴۹۳/۷ میلی‌متر است که نسبت به دوره قبل کاهش چشمگیری داشته است (شکل ۵). منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) در دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹۶) تقریباً ۳۰/۲ درصد از مساحت ایران را ذر بر می‌گیرد که نسبت به دوره قبل تقریباً ۱۸ درصد کاهش داشته است. این ۱۸ درصد کاهش نیز در بیشتر مکان‌ها جای خود را به آب‌وهوا منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) داده است. منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) در دوره چهارم ۳۴ درصد از مساحت ایران را پوشش داده است که نسبت به دوره قبل تقریباً ۸ درصد افزایش یافته است. میانگین بارش در منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) برابر با ۲۰۹/۶ میلی‌متر می‌باشد که نسبت به دوره سوم (۱۹۹۵-۱۹۸۵) تقریباً ۳۰ میلی‌متر کاهش داشته است.

**جدول ٦- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوای برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹٦**

| منطقه | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ٥ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ١٦ | ٣١٩/٣ | ١٨/٩ | ٢٠٩/٦ | ٢٠ | ١١٣/٩ | ١٦/٣ | ٤٩٣/٧ | ١٥/٨ | ٨٦٧/٧ |
| میانه | ١٣/٧ | ٣١٨/٤ | ١٧/٤ | ٢٠٤/٨ | ٢٠ | ١١٤/٦ | ١٥/٥ | ٤٨٧/١ | ١٥/٧ | ٧٩٧/٨ |
| مد | ٨/٣ | ٢٧٩/٢ | ١٥/٦ | ١٥٢/٠ | ١٩/٦ | ٣٨/٨ | ٢١/٠ | ٣٦٨/٧ | ٩/٣ | ٦٧٤/٧ |
| انحراف معیار | ٥/٤ | ٢٤/٤ | ٤/٩ | ٣٦/٨ | ٢/٨ | ٢٢/٢ | ٤/٥ | ٨٤/١ | ٣/٠ | ٢٠٢/٥ |
| ضریب تغییرات | ٣٣/٨ | ٧/٦ | ٢٥/٦ | ١٧/٦ | ١٣/٨ | ١٩/٥ | ٢٧/٥ | ١٧/٠ | ١٩/١ | ٢٣/٣ |
| بیشینه | ٢٦/٢ | ٣٦٨/٢ | ٢٧/٠ | ٢٧٨/٩ | ٢٧/٣ | ١٥١/٨ | ٢٦/١ | ٦٧٢/٨ | ٢٤/٠ | ١٦٢٧/٥ |
| کمینه | ٨/٣ | ٢٧٩/٢ | ٨/٨ | ١٥٢/٠ | ١٣/٨ | ٣٨/٨ | ٧/٩ | ٣٦٨/٧ | ٩/٣ | ٦٧٤/٧ |
| چولگی | ٠/٦ | ٠/٢ | ٠/٤ | ٠/٢ | ٠/٢ | ٠/٤- | ٠/٣ | ٠/٢ | ٠/٢ | ١/٦ |
| کشیدگی | ١/٨ | ١/٩ | ١/٧ | ١/٨ | ٣/٢ | ٢/٧ | ٢/١ | ١/٩ | ٢/٧ | ٥/١ |
| دامنه تغییرات | ١٧/٩ | ٨٨/٩ | ١٨/٢ | ١٢٦/٩ | ١٣/٥ | ١١٣/١ | ١٨/٢ | ٣٠٤/١ | ١٤/٧ | ٩٥٢/٨ |
| درصد پوشش | ١٥/٨ | | ٣٤ | | ٣٠/٢ | | ١٥/٨ | | ٤/١ | |

**۳-۵- منطقه‌بندی آب‌وهوایی دوره پنجم (۲۰۱۵-۲۰۰٦)**

بررسی وضعیت آب‌وهوا در دوره پنجم حاکی از کاهش قابل توجه مناطق معتدل و مرطوب و بـر عکـس افزایش گستره منطقه بسیارگرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) می‌باشد. برای مثال بخش‌ها زیـادی از کرمان که در دوره چهارم (۲۰۰۵-۱۹۹۶) از آب‌وهوای گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) و بعضاً منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) و منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) برخوردار بود در دوره پنجم دارای آب‌وهوای بسیار گرم و خشک (بارش بسیار کم و دمای بسیار زیاد) است (شکل ٦).




**شکل ٦- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۲۰۱۵-۲۰۰٦)**

در این دوره منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) به‌طور وسیعی (تقریباً ۵۰/۳) بخش‌های زیادی از شرق (بیرجند و استان سیستان بلوچستان)، مرکز (کرمان، یزد، اصفهان و سمنان) و

جنوب (بندرعباس و بخش‌هایی از شرق خوزستان) ایران را پوشش داده است. با وجود اینکه در این دوره گستره تحت پوشش منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) نسبت به دوره قبل افزایش داشته است به همان تناسب میانگین بارش نیز افزایش یافته است. میانگین بارش در این منطقه در دوره پنجم تقریباً ۱۲۹ میلی‌متر و دما ۲۰/۷ درجه سلسیوس می‌باشد. میانگین بارش نسبت دوره قبل تقریباً ۱٦ میلی‌متر افزایش داشته است. منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) در این دوره ۲۹/۲ درصد از مساحت ایران را پوشش داده است که نسبت به دوره قبل تقریباً ۵ درصد کاهش داشته است. در این دوره بخش‌های زیادی از بوشهر و اهواز که در دوره قبل از آب‌وهوا سرد و خشک برخوردار بوده است در دوره پنجم جای خود را به آب‌وهوا گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) داده است. همچنین میانگین بارش در این منطقه نسبت به دوره قبل تقریباً ۳۱ میلی‌متر افزایش داشته است. با این تفاسیر ضریب تغییرات مکانی در منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) نسبت به دوره قبل بسیار کمتر شده است و بر عکس ضریب تغییرات مکانی دما افزایش چشمگیری را تجربه کرده است (جدول ۷).

**جدول ۷- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوای برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹٦**

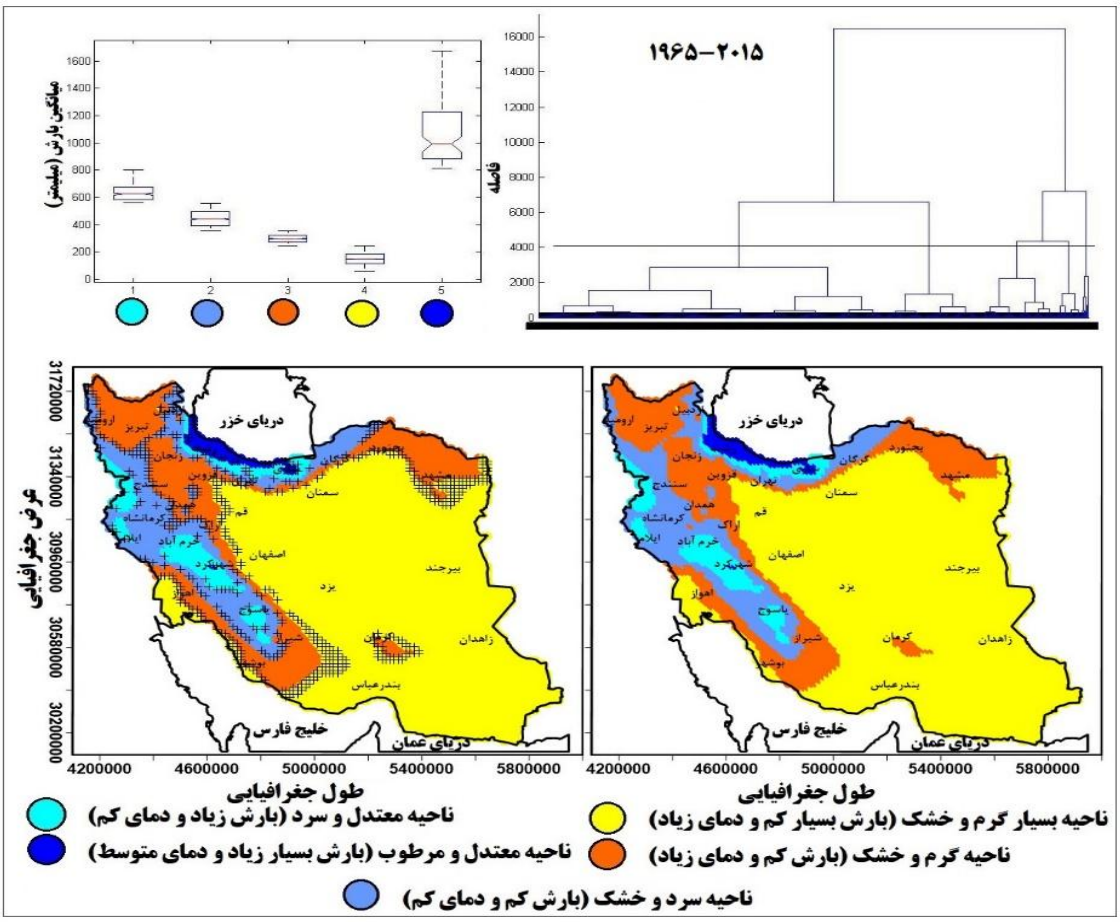
| | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ۵ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ۱٦/۳ | ۵۵۵/٦ | ۱۵/۳ | ۳۹۲/۱ | ۲۰/۷ | ۱۲۹/۰ | ۱۸/۲ | ۲٤۱/٦ | ۱۵/۲ | ۸٦۸/۸ |
| میانه | ۱٦/۱ | ۵٤۸/٤ | ۱٤/۱ | ۳۸۸/۹ | ۲۰/۰ | ۱۳۰/۵ | ۱٦/٤ | ۲۳٦/۱ | ۱۵/٦ | ۷۸٤/۷ |
| مد | ۱۰/۱ | ٤۷۳/۸ | ۷/٤ | ۳۲۹/٤ | ۱۲/۵ | ٤۷/۹ | ۲٦/۰ | ۱۷۹/۷ | ۱۰/۰ | ٦۷۷/۲ |
| انحراف معیار | ۳/۳ | ۵٤/۱ | ٤/۰ | ۳۸/۲ | ۳/۵ | ۲۸/۸ | ۵/۲ | ٤۲/٦ | ۱/۹ | ۱۸۷/۷ |
| ضریب تغییرات | ۲۰/۱ | ۹/۷ | ۲٦/۱ | ۹/۸ | ۱٦/۷ | ۲۲/۳ | ۲۸/٦ | ۱۷/٦ | ۱۲/٦ | ۲۱/٦ |
| بیشینه | ۲٤/٦ | ٦۷۱/٦ | ۲٦/۰ | ٤۷۲/۷ | ۲۷/۸ | ۱۷۹/۵ | ۲۷/۸ | ۳۲۹/۰ | ۱۹/۷ | ۱۳۸۹/۰ |
| کمینه | ۱۰/۱ | ٤۷۳/۸ | ۷/٤ | ۳۲۹/٤ | ۱۲/۵ | ٤۷/۹ | ۸/٤ | ۱۷۹/۷ | ۱۰/۰ | ٦۷۷/۲ |
| چولگی | ۰/۳ | ۰/٤ | ۱ | ۰/۳ | ۰/٤ | ۰/۲- | ۰/٤ | ۰/۳ | ۰/۵- | ۱/۲ |
| کشیدگی | ۲/۳ | ۲/۱ | ۳/۱ | ۲/۰ | ۲/۲ | ۲/۱ | ۱/۷ | ۱/۹ | ۲/۹ | ۳/۳ |
| دامنه تغییرات | ۱٤/٤ | ۱۹۷/۸ | ۱۸/٦ | ۱٤۳/۳ | ۱۵/۳ | ۱۳۱/٦ | ۱۹/٤ | ۱٤۹/۳ | ۹/۷ | ۷۱۱/۸ |
| درصد پوشش | ۲ | | ۱۲/۷ | | ۵۰/۳ | | ۲۹/۲ | | ۲/۱ | |

در دوره پنجم (۲۰۱۵-۲۰۰٦) منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) و منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) بیشتر محدود به نواحی مرتفع کشور و توپوگرافی شده است. برای مثال منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) بیشتر در امتداد کوه‌های زاگرس و بخش‌های بسیار کمی از غرب کشور و ارتفاعات زاگرس را در بر گرفته است. میانگین بارش در این منطقه در دوره پنجم به ۵۵۵/٦

میلی‌متر رسیده است که نسبت به دوره قبل تقریباً نزدیک به ٦۲ میلی‌متر افزایش داشته است. در منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) ضریب تغییرات مکانی دما نسب به بار در این دوره بیشتر می‌باشد برای مثال ضریب تغییرات دما در این منطقه به ۲۰/۱ درصد رسیده است. ضریب تغییرات مکانی زیاد دما بیانگر افت خیز روزانه این عنصر در منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) می‌باشد (جدول ۷). همچنین کشیدگی بالای ۲ برای هر دو عنصر دما و بارش بیانگر ناهمگون بودن توزیع دما و بارش در منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) باشد که تائیدی دیگر بر پراکندگی بالای دما و بارش در این منطقه می‌باشد. منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) نسبت به دوره قبل تقریب ۲ درصد کاهش را داشته است و همانند سایر دوره‌های این منطقه بیشتر محدود به بخش‌های ساحلی دریای خزر و همچنین به‌صورت هسته‌های کوچکی در زاگرس میانی می‌باشد. میانگین بارش در منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) در دوره پنجم (۲۰۱۵-۲۰۰٦) به ۸٦۸/۸ میلی‌متر رسیده است که نسبت به دوره قبل از تغییرات قابل توجهی برخوردار نبوده است در بعد تغییرات مکانی هم تغییرات قابل توجهی را نسبت به دوره قبل تجربه نکرده است. در مجموع می‌توان گفت به سمت دوره‌های اخیر از وسعت منطقه‌های مرطوب به شدت کاسته شده است و بر عکس بر وسعت منطقه‌های گرم و خشک افزوده شده است.

**۳-٦- منطقه بندی آب‌وهوایی ایران در دوره (۲۰۱۵-۱۹٦۵)**

بررسی وضعیت منطقه بندی آب‌وهوای ایران طی دوره ۲۰۱۵-۱۹٦۵ بیانگر این است که همانند طبقات آب‌وهوای دوره‌ای، بیشتر مساحت ایران را منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) پوشش داده است (شکل ۷).




**شکل ۷- طبقه‌بندی آب‌وهوا بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل سیلهوته طی دوره (۲۰۱۵-۱۹۶۵)**

منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) بیشتر استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، بندرعباس، سمنان، اصفهان، قم، بیرجند و بخش‌های غربی استان خوزستان را شامل می‌شود (شکل ۷). میانگین بارش در این منطقه برابر با ۱۴۹/۷ میلی‌متر است. نمایه‌های مرکزی بارش در این منطقه بسیار زیاد می‌باشد که بیانگر ضریب تغییرات مکانی بالای بارش در این منطقه می‌باشد. همچنین کشیدگی مثبت و بالای ۲ تائیدی دیگر بر نایکنواخت بودن توزیع بارش و ناهمگون بودن آن می‌باشد (جدول ۸). بعد از منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) بیشترین مساحت ایران تحت سیطره منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) می‌باشد (شکل ۷). این منطقه بخش‌های زیادی از مشهد، بجنورد، زنجان، تبریز، شیراز، بوشهر و اهواز را شامل می‌شود. میانگین بارش در این منطقه برابر با ۲۹۷/۶ میلی‌متر و میانگین دما برابر ۱۶/۱ درجه سلسیوس است. در این منطقه برخلاف منطقه بسیار گرم و خشک دما از ضریب تغییرات مکانی بسیار بالایی برخوردار است به‌طوری‌که ضریب تغییرات دما به ۲۹/۳ درصد رسیده است. ضریب تغییرات

بارش برابر با ۱۰/۵ درصد می‌باشد. کشیدگی بارش و دما در این منطقه مثبت که برای بارش برابر با ۱/۹ و برای دما برابر با ۲/۸ است (جدول ۸).

**جدول ۸- مشخصات توصیفی مناطق آب‌وهوای برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۵**

| | منطقه ۱ | | منطقه ۲ | | منطقه ۳ | | منطقه ٤ | | منطقه ٥ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش | دما | بارش |
| میانگین | ١٤/٨ | ٦٣٩/٩ | ١٥/١ | ٤٤٥/٠ | ١٦/١ | ٢٩٧/٦ | ١٩/٧ | ١٤٩/٧ | ١٥/٣ | ١٠٦٦/٠ |
| میانه | ١٥/٤ | ٦٢٥/٢ | ١٤/٥ | ٤٤٣/٨ | ١٣/٥ | ٢٩٦/٨ | ١٩/٣ | ١٤٧/٢ | ١٥/٦ | ٩٩٠/٧ |
| مد | ١١/٠ | ٥٥٩/١ | ٨/٨ | ٣٥٥/٧ | ٨/٧ | ٢٤٥/٧ | ١٩/٤ | ٦١/٣ | ١١/٨ | ٨١٢/٢ |
| انحراف معیار | ٣/٠ | ٦٣/٥ | ٤/١ | ٥٨/٤ | ٤/٤ | ٣١/١ | ٣/٦ | ٤٤/٤ | ١/٢ | ٢١٩/٤ |
| ضریب تغییرات | ١٩/٠ | ٩/٩ | ٢٦/٥ | ١٣/١ | ٢٩/٣ | ١٠/٥ | ١٨/٥ | ٢٩/٦ | ٧/٨ | ٢٠/٦ |
| بیشینه | ٢٤/٠ | ٧٩٩/٣ | ٢٤/٤ | ٥٥٨/٢ | ٢٥/٥ | ٣٥٥/٤ | ٢٧/١ | ٢٤٥/٥ | ١٧/١ | ١٦٧٢/٥ |
| کمینه | ١١/٠ | ٥٥٩/١ | ٨/٨ | ٣٥٥/٧ | ٨/٧ | ٢٤٥/٧ | ١٢/٠ | ٦١/٣ | ١١/٨ | ٨١٢/٢ |
| چولگی | ٠/٦ | ٠/٨ | ٠/٦ | ٠/١ | ١/١ | ٠/١ | ٠/٣ | ٠/٣ | ١/١- | ٠/٨ |
| کشیدگی | ٢/٧ | ٢/٦ | ٢/١ | ١/٨ | ٢/٨ | ١/٩ | ٢/٢ | ٢/١ | ٣/٦ | ٢/٧ |
| دامنه تغییرات | ١٣/٠ | ٢٤٠/٢ | ١٥/٧ | ٢٠٢/٥ | ١٦/٧ | ١٠٩/٧ | ١٥/١ | ١٨٤/١ | ٥/٣ | ٨٦٠/٣ |
| درصد پوشش | ٤/٧ | | ١٣/٦ | | ١٧/٧ | | ٦٢/٩ | | ١/٢ | |

پوشش و گستردگی منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) تقریباً وضعیتی مشابه با منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) دوره (۲۰۱۵-۲۰۰۶) را دارد. منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) در مجموع ۱۳/٦ درصد از مساحت کشور را پوشش داده است که بخش‌های زیادی از استان‌های کهگیلویه و بویر احمد، کرمانشاه، ایلام، کردستان، لرستان و همچنین بخش‌های شمالی تهران و گرگان را در بر می‌گیرد. میانگین بارش در منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) برابر با ٤٤٥ میلی‌متر است. منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) نیز بیشتر به‌صورت لکه‌هایی در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و بخش‌های از کرانه‌های جنوبی خزر مشاهده می‌شود و تنها ٤/٧ درصد از مساحت ایران را در بر می‌گیرد (جدول ۹). بیشینه رخداد بارش در منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) برابر با ۷۹۹/۳ میلی‌متر و کمینه آن نیز برابر با ۵۵۹/۱ میلی‌متر است. بر اساس نتایج کمترین مساحت تحت پوشش ایران در این دوره مربوط به منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) است که بیشتر حاشیه ساحلی دریای خزر را در بر گرفته است. میانگین بارش در این منطقه برابر با ۱۰٦٦ میلی‌متر است. بیشینه و کمینه رخداد بارش در این منطقه به ترتیب برابر با ۱٦۷۲/۵ و ۸۱۲/۲ میلی‌متر است. در این منطقه بارش از ضریب تغییرات مکانی بیشتری نسبت به دما برخوردار است (جدول ۹).

**جدول ۹- پوشش و گستردگی مناطق آب‌وهوایی طی دوره‌های مختلف**

| | مناطق آب‌وهوایی طی دوره‌های مختلف | د. ۱ | د. ۲ | د. ۳ | د. ٤ | د. ٥ | کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | منطقه معتدل و مرطوب (بارش بسیار زیاد و دمای متوسط) | ۱/٤ | ۰/۷۸ | ۰/۹ | ٤/۱ | ۲/۱ | ۱/۲ |
| | منطقه معتدل و سرد (بارش زیاد و دمای کم) | ۸/۱ | ٤/۲ | ٦/۲ | ۱٥/۸ | ٥/٦ | ٤/۷ |
| | منطقه سرد و خشک (بارش کم و دمای کم) | ۲۳/۲ | ۷/۸ | ۱۷/۷ | ۱٥/۸ | ۱۲/۷ | ۱۳/٦ |
| | منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) | ٤۰/۲ | ٥٥/۲ | ٤۸/٦ | ۳۰/۲ | ٥۰/۳ | ٦۲/۹ |
| | منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) | ۲۷/۱ | ۳۲/٤ | ۲٦/٦ | ۳٤ | ۲۹/۲ | ۱۷/۷ |

## ٤- نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش بررسی تغییرات مناطق آب‌وهوایی ایران طی دوره‌های ۱۰ ساله (۱۹۷٥-۱۹٦٥، ۱۹۸٥-۱۹۷٦، ۱۹۹٥-۱۹۸٦، ۲۰۰٥-۱۹۹٦، ۲۰۱٥-۲۰۰٦) است. بدین منظور از داده‌های دما، رطوبت، بارش، باد و ساعت آفتابی طی دوره ۱۹٦٥ تا ۲۰۱٥ استفاده شد و با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای طبقه‌بندی آب‌وهوایی ایران صورت گرفت. نتایج حاصل پنج منطقه آب‌وهوایی شامل منطقه معتدل و مرطوب، منطقه معتدل و سرد، منطقه سرد و خشک، منطقه بسیار گرم و خشک و منطقه گرم و خشک طی دوره‌های مختلف را نشان داد. منطقه بسیار گرم و خشک و گرم خشک بیشتر بخش‌های مرکز، شرق و جنوب شرق را شامل می‌شود. همچنین منطقه سرد و خشک بیشتر شمال غرب و حاشیه‌های پست ارتفاعات زاگرس و غرب را در بر گرفته است. منطقه معتدل و سرد نیز به‌صورت هسته‌هایی در بخش‌های از ارتفاعات زاگرس و البرز مشاهده می‌شود. همچنین منطقه معتدل و مرطوب به‌صورت کمانی حاشیه ساحلی دریای خزر را شامل می‌شود. نتایج حاصل با نتایج مطالعات خسروی و همکاران (۱۳۹٤)، مسعودیان (۱۳۸۲) و **حیدری و علیجانی (۱۳۸۷)** مطابقت دارد. بررسی تغییرات منطقه‌ای آب‌وهوای ایران نیز نشان داد که بیشترین تغییرات مکانی طی پنج دوره موردبررسی مربوط به منطقه بسیار گرم و خشک، منطقه گرم و خشک و منطقه سرد و خشک است. به‌طوری‌که اگر وسعت یک منطقه مثلاً منطقه سرد و خشک کاهش پیدا می‌کرد وسعت دو منطقه دیگر افزایش پیدا می‌کرده است. این تغییرات در دوره اول و دوم کاملاً مشهود است. در دوره اول منطقه بسیار گرم و خشک، ٤۰/۲ درصد و منطقه سرد و خشک تقریباً ۲۳/۲ درصد از گستره ایران را پوشش داده است این در حالی است که در دوره دوم (۱۹۸٥-۱۹۷٦) این دو منطقه به ترتیب ٥٥/۲ و ۸/۷ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. در دوره دوم بیشترین گستره ایران مربوط به دو منطقه بسیار گرم و خشک و گرم و خشک است به‌طوری‌که این دو منطقه درمجموع بیش از ۸۸ درصد از مساحت ایران را در بر گرفته است. در دوره سوم (۱۹۹٥-۱۹۸٦) با وجود اینکه دو منطقه بسیار گرم و خشک و گرم و خشک همانند دوره دوم (۱۹۸٥-۱۹۷٦) غالب بوده است اما در این دوره از وسعت این دو منطقه کاسته شده است و بر وسعت منطقه سرد و خشک افزوده شده است. در دوره چهارم وضعیتی مشابه با دوره اول است با این تفاوت که در دوره

چهارم منطقه سرد و مرطوب از گستره مکانی بیشتری برخوردار است. در دوره پنجم نیز تقریباً وضعیتی مشابه با دوره دوم است به‌طوری‌که دو منطقه بسیار گرم و خشک (بارش بسیارکم و دمای زیاد) و منطقه گرم و خشک (بارش کم و دمای زیاد) غالب بوده است. همچنین در دوره اخیر از وسعت منطقه سرد و مرطوب به‌طور قابل‌توجهی کاسته شده است. درمجموع می‌توان گفت که مناطق آب‌وهوایی در ایران طی دوره‌های مختلف از جابجای مکانی شدیدی برخوردار بوده است به‌طوری‌که به سمت دوره‌های اخیر بر وسعت مناطق گرم و خشک و بسیار گرم و خشک افزوده شده است و بر عکس از وسعت مناطق سرد و خشک و سرد و معتدل کاسته شده است. نتایج حاصل با مطالعات دوستکامیان و همکاران (۱۳۹٥) مطابقت دارد به‌طوری‌که نتایج نشان دادند که پهنه‌های گرمای دمایی ایران به سمت دوره‌های اخیر علاوه بر اینکه به لحاظ گستره مکانی به سمت عرض‌های بالاتر (به سمت عرض‌های شمالی و تقریباً ۳/۲ درصد) کشیده شده است نسبت به دوره‌های اخیر ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش داشته است. درحالی‌که پهنه‌های دمایی سرد ایران به سمت دوره‌های اخیر علاوه بر اینکه از وسعت مکانی آن‌ها کاسته شده است مقدار دمای آن‌ها هم افزایش قابل محسوسی داشته است.

**تشکر و قدردانی**

نویسندگان این مقاله از سازمان هواشناسی کشور به خاطر در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات لازم و همچنین از همکاری مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی تشکر و قدردانی می‌کنند.

**منبع مقاله**

این مقاله حاصل کار پژوهشی مستقل نویسندگان است.

**کتابنامه**

- اقبالی، آرزو؛ بابائیان، ایمان؛ آزادی، مجید؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ زرین، آذر؛ ۱٤۰۱. پیکربندی بهینه مدل RegCM4.5 مبتنی بر پهنه‌های اقلیمی برای پیش‌بینی بارش دوره پربارش ایران (نوامبر- می)، مطالعه موردی: سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱٤. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۳ (٤۹)، ۱٤-۱.

https://clima.irimo.ir/article_152061.html

- حیدری، حسن؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۷. طبقه‌بندی آب‌وهوای ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۷، ۷٤-٥۷.

https://www.sid.ir/paper/421952/fa

- خسروی، محمود؛ آرامش، محسن؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی آب‌وهوای استان مرکزی با استفاده از تحلیل عاملی-خوشه‌ای. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳ (۲)، ۱۰۰-۸۷.

https://gep.ui.ac.ir/article_18543.html
- خسروی، محمود؛ نظری پور، حمید؛ ۱۳۸۹. کاربرد تحلیل خوشه‌ای در شناسایی ویژگی‌های روزهای بارش (ایستگاه خاش)، *فضایی جغرافیایی*، ۲۱، ۹۰ – ٦٥.

https://www.sid.ir/paper/91523/fa
- دوستکامیان، مهدی؛ ۱۳۹۳. *تغییرات زمانی و مکانی آب قابل بارش جو ایران*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، استاد راهنما: حسین عساکره، دانشگاه زنجان.

https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/a1e01a943460fcf13910f4ddc543d9be
- دوستکامیان، مهدی؛ حقیقی، اسماعیل؛ بور بوری، رضا؛ ۱۳۹٦. واکاوی و شناسایی تغییرات مکانی پهنه‌های گرم و سرد دمایی ایران طی دوره‌های مختلف. فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ٦، ۱٤۱-۱٦۲.

https://geoeh.um.ac.ir/article_31213.html
- سلیقه، محمد؛ بریمانی، فرامرز؛ اسمعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی آب‌وهوای استان سیستان و بلوچستان. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ٦(۱۲)، ۱۰۱-۱۰٦.

https://gdij.usb.ac.ir/article_1245.html
- سلیمانی، مختار؛ رضایی، شیما؛ ولی زاده، کمال؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی آب‌وهوای استان‌های: تهران، قزوین، قم با استفاده از تحلیل عاملی- خوشه‌بندی، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، دانشگاه صنعت هوایی، تهران.

https://civilica.com/doc/265795
- شائمی برزکی، اکبر؛ آروین، عباسعلی؛ علیخانی، سحر؛ ۱۳۹۵. بررسی و پهنه‌بندی شاخص‌های آب‌وهوا کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری.*جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۳)، ۸۳-۹٤.

https://sid.ir/paper/184982/fa
- شیری کریم وندی، امین؛ طاهریان زاد، الله مراد؛ ۱۳۹٦. پهنه‌بندی آب‌وهوای پهنه‌ی خراسان با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، اولین همایش اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی، گروه جغرافیای دانشگاه زنجان، زنجان.

https://civilica.com/doc/679374
- عساکره، حسین؛ دوستکامیان، مهدی؛ ۱۳۹۵. منطقه‌بندی آب‌وهوای آب قابل بارش جو ایران‌زمین. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰(۵۸)، ۱۸۱-۲۰۲.

https://www.sid.ir/paper/203697/fa
- فرشادفر، عزت الله؛ ۱۳۸۹. *اصول و روش‌های آماری چند متغیره*. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.

https://www.adinehbook.com/gp/product/9645551919
- قاسمی فر، الهام؛ ناصرپور، سمیه؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی آب‌وهوای منطقه زاگرس. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۳(۸۹)،٥٤-٦۰.

https://www.sepehr.org/article_13044.html
- گل کار، حمیدرضا؛ رضایی نژاد، محمد؛ طاووسی، مجتبی. (۱۳۹٥. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با نرم‌افزارGIS ، حفاظت منابع آب و خاک، ٦ (۱)، ٤۷-٦۲.

https://www.sid.ir/paper/232209/fa

- منتظری، مجید؛ بای، ناصر؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی آب‌وهوا منطقه خزری با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۷ (۲)، ۹۰-۷۷.

https://jgr.ui.ac.ir/article_17932.html

- موحدی، سعید؛ حیدری، بهروز؛ هاشمی عنا، سید کرامت؛ رنجبر، فیروز؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی نواحی آب‌وهوایی استان خوزستان، *فضای جغرافیایی*، ۱۲ ، ٦٤-۷۳.

https://www.sid.ir/paper/91574/fa

- نظری پور، حمید؛ دوستکامیان، مهدی؛ اسدی، آرزو؛ بیات، علی؛ ۱۳۹۳. منطقه‌بندی آب‌وهوای جنوب و جنوب غرب ایران با رویکرد برنامه‌ریزی منطقه‌ای. *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۵، ۱۱۹-۱۳۲.

https://www.sid.ir/paper/230515/fa

- Cabrera, L., Azpra Romero, E., Zarraluquisuch, V., Gay Garcia, C. and. Estrada Porrua, F., 2012. Cluster analysis for validated climatology stations using precipitation in Mexico, Atmosphere. 25, 339-354.
https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/33694.
- Davies, DL., Bouldin, DW., 1979. A cluster separation measure. IEEE T. Pattern. Anal. 1, 224-227. https://ieeexplore.ieee.org/document/4766909.
- Harding, A. E., Gachon, P. Nguyen, V., 2010. Replication of atmospheric oscillations, and their patterns, in predictors derived from Atmosphere-Ocean Global Climate Model output. International Journal of Climatology, 31 (12): 1841-1847. https://doi.org/10.1002/joc.2191.
- Kalkstein, L., Tan, G., Skindlov, J A., 1987. An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification, j climate and apple metrological. 26, 717- 730. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1987)026<0717:AEOTCP>2.0.CO;2.
- Lam Tony N.T., Wan, Kevin K.W., Wong, S.L., Lam, Joseph C., 2010. Long-Term Trends of Heat Stress and Energy Use Implications in Subtropical Climates, Applied Energy. 87,608-612. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.014.
- Lobell, D B., Bonfils, C., 2008. The effect of irrigation on regional temperatures: A spatial and temporal analysis of trends in California, 1934–2002, J. Climate., 21, 2063–2071. https://doi.org/10.1175/2007JCLI1755.1.
- Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Kaseri, M., Marjanian, S., 2022. Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. Theor Appl Climatol. 147, 1249–1262. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03916-2.
- Mesgari, E., Hosseini, S.A., Hemmesy, M.S., Houshyar, M., Golzari Partoo, L., 2022. Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. Journal of Water and Climate Change.13 (10): 3607–3619. https://doi.org/10.2166/wcc.2022.195.
- Michailidou, C., Maheras, P., Arseni-Papadimititriou, A., Kolyva-Machera, F. nagnostopoulou, A., 2009. Study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part I: two-step cluster analysis, Theor Appl Climatol. 97,163-177. https://doi.org/10.1007/s00704-008-0057-x.
- Steiner, D., 1965. A multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification, East African Agricultural and Forestry Journal, 50 (2), 329-347. https://kalrorepository.kalro.org/items/f6106bb6-72dc-497c-a88f-3d6172b64eb1.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.293-316 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77567.1254 Open access

# Investigating the Impact of the Spread of the Corona Virus on the Acquisition Functions of Borders in Southwest Asia

**Shaghayegh Baradaran[a], Mohsen Janparvar[b*], Ali Mohamadpour[c]**

[a] *MA Student in Political Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[b] *Assistant Professor in Political Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[c] *Assistant Professor in Political Geography, MalekAshtae University of Tehran, Tehran, Iran*

***Received: 21 July 2022*** ***Revised: 30 August 2022*** ***Accepted: 6 September 2022***

## Abstract

Globalization and entering the age of information and communication have caused geographic spaces to be mixed and the spatial links to be expanded to a significant extent. This increase has boosted significantly the communication functions of borders. However, with the spread of the corona virus, extensive changes were made, the links between geographical spaces were transformed, and the communication function of borders was greatly affected. Accordingly, in the current research, which was carried out using a descriptive and analytical method, an attempt was made to see what effects the spread of the corona virus had on the communication function of borders in Southwest Asia. The results showed that the spread of the corona virus has had a wide impact on the acquired functions of borders in such a way that it has greatly affected the communication function of borders in Southwest Asia and reduced the links between spaces to a great extent that in some cases it has been replaced by a barrier function. On the other hand, the nation-building, legitimizing and even economic functions of borders have been highlighted after the spread of the Covid-19. Although the virus disease was controlled and subsided to some extent, it seems that human societies will face many such diseases and problems in the future, which is necessary to pay attention to its impact. The results of this study can provide the basis for countries' preparation and reduce the insecurities and challenges caused by such problems to a significant extent.

**Keywords:** Border, Corona Virus, Communication Function, Southwest Asia

*.Corresponding author: Mohsen Janparvar Email: janparvar@um.ac.ir Tel:+989126508238

**How to cite this Article:** Baradaran, Sh., Janparvar, M. & Mohamadpour, A (2024). Investigating the impact of the spread of the corona virus on the acquisition functions of borders in Southwest Asia. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 293-316.
**DOI: 10.22067/geoeh.2022.77567.1254**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77567.1254
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱٤۰۳، صص ۳۱٦-۲۹۳**

مقاله پژوهشی

# بررسی تأثیر شیوع ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها در جنوب غرب آسیا

**شقایق برادران‌مطیع- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.**
**محسن جان‌پرور[1]-استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.**
**علی محمدپور- استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران**

**تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/٤/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/٦/۸ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/٦/۱۵**

**چکیده**

تحولات ناشی از جهانی‌شدن و ورود به عصر اطلاعات و ارتباطات سبب شده است که فضاهای جغرافیایی درهم‌آمیخته شود و پیوندهای فضایی تا حد قابل‌توجهی گسترش پیدا کند. این افزایش سبب شده است کارکردهای ارتباطی مرزها تا حد قابل‌توجهی افزایش پیدا کند؛ اما با گسترش ویروس کرونا به یکباره تغییرات گسترده‌ای ایجاد شد و پیوندهای بین فضاهای جغرافیایی دچار تحول شد و کارکرد ارتباطی مرزها تحت تأثیر گسترده‌ای قرار گرفت. بر این اساس، در تحقیق حاضر که به روش توصیفی و تحلیلی به انجام رسیده است سعی شده است به این سؤال پاسخ داده شود که شیوع ویروس کرونا بر کارکرد ارتباطی مرزها در جنوب غرب آسیا چه تأثیراتی داشته است؟ نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان دهنده آن است که شیوع ویروس کرونا روی کارکردهای اکتسابی مرزها تأثیرات گسترده‌ای داشته است به‌گونه‌ای که کارکرد ارتباطی مرزها در جنوب غرب آسیا را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار داده و پیوندهای بین فضاها را تا حد زیادی کاهش داده است تا جایی که در

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲٦۵۰۸۲۳۸ Email: janparvar@um.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**
برادران مطیع، شقایق، جان پرور، محسن، محمدپور، علی. (۱٤۰۳). بررسی تأثیر شیوع ویروس کرونا برکارکردهای اکتسابی مرزها در جنوب غرب آسیا. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۳۱٦-۲۹۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77567.1254

برخی موارد کارکرد مانعی جایگزین آن شده است. از سوی دیگر کارکرد ملت‌سازی، مشروعیت بخشی و حتی اقتصادی مرزها بعد از گسترش کرونا برجسته شده است. اگرچه بیماری ویروس کرونا تا حدی کنترل شده و فروکش کرده است اما به نظر می‌رسد جوامع انسان در آینده با بیماری‌ها و مسائل و مشکلات متعددی ازاین‌دست مواجه خواهد بود که ضرورت توجه به آن از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین، نتایج تحقیق حاضر می‌تواند زمینه آمادگی کشورها را فراهم آورده و ناامنی‌ها و چالش‌های ناشی ازاین‌دست از مشکلات را تا حد قابل‌توجهی بتوانند کاهش دهند.

**کلیدواژه‌ها**: مرز، ویروس کرونا، کارکرد ارتباطی، جنوب غرب آسیا

**۱- مقدمه**

تحولات صورت گرفته در عرصه‌های جهانی زمینه‌ساز افزایش پیوند و ارتباط بین فضاهای جغرافیایی را فراهم آورده است. افزایش این وابستگی و پیوند بین فضاهای جغرافیایی سبب شده است که بحران‌ها، امراض و ویروس‌ها بتوانند به‌سادگی از یک فضا به فضای دیگر منتقل شده و در سطح جهان شیوع پیدا کنند. این بیماری‌های که با عنوان بیماری فراگیر مطرح هستند، به‌سادگی از مرزهای بین‌المللی می‌گذرد و شمار بسیاری از مردمان را گرفتار می‌کنند (پورتا[1]،۲۰۰۸) اغلب بیماری‌های واگیر می‌توانند در دسته بیماری‌های فراگیر قرار گیرند، ازجمله ویروس جدید با نام کووید ۱۹ که شامل گروهی از ویروس‌ها متعلق به خانواده ویروسی کروناویریده هستند که از طریق ایجاد عفونت دستگاه تنفسی در پرندگان و پستانداران، ایجاد بیماری می‌کنند. این ویروس‌ها می‌توانند عامل ایجاد برخی از انواع سرماخوردگی معمولی تا عامل بیماری‌های شدیدتری همچون سارس، مرس و کووید ۱۹ باشند. کروناویروس‌ها در دهه ۱۹٦۰ کشف شدند و مطالعه بر روی آن‌ها به‌طور مداوم تا اواسط دهه ۱۹۸۰ ادامه داشت. اندازه ژنوم ویروس‌های کرونا از ۲٦ تا ۳۲ کیلوباز، متغیر است که از بزرگ‌ترین ژنوم‌ها در بین ژنوم تمام آرانای ویروس‌ها هستند. این ویروس‌ها به‌طور طبیعی در انسان‌ها و پستانداران و پرندگان شیوع پیدا می‌کنند، بااین‌حال تاکنون میلیون‌ها کروناویروس منتقل شده به انسان، کشف شده است. آخرین نوع آن‌ها، کروناویروس سندرم حاد تنفسی ۲۲، در دسامبر ۲۰۱۹ در شهر ووهان چین با همه‌گیری در انسان شیوع پیدا کرد. شیوع این کروناویروس پس از مدت کوتاهی تبدیل به دنیاگیری شد و تمام جهان را نگران کرد و تبدیل به بحران بین‌المللی شد (**کساوندی و امیرانی،۱٤۰۰**). این ویروس به‌سادگی توانست در سراسر کره زمین گسترش پیدا کرده و مسائل و مشکلات متعددی را پیش روی حکومت‌ها و جوامع انسانی قرار دهد. گسترش کرونا از کانون شکل‌گیری اولیه آن،

1 Porta
2 SARS-CoV-2

یعنی ووهان چین به کشورهای همجوار مانند ژاپن و کره جنوبی و سپس به خاورمیانه و در ادامه به کشورهای اروپا، آمریکا، آفریقا و استرالیا و به عبارتی تقریباً تمامی کشورهای جهان، منجر به اتخاذ سیاست‌ها و تدابیر محافظتی از سوی اکثر حکومت‌ها به‌منظور کنترل و کاهش پیامدهای منفی چشم‌گیر اپیدمی یاد شده در زندگی سیاسی، اقتصادی، امنیتی و ... خود گردید. از نخستین اقدامات این تدابیر حفاظتی، کنترل شدید مرزهای بین‌المللی خود در درجه نخست و سپس کنترل مرزهای نواحی داخلی بود. اغراق نیست اگر بگوییم این بحران عامل خیزش مجدد مرزهای جغرافیای سیاسی در همه مقیاس‌ها از محلی/مکانی تا بین‌المللی بوده است (حافظ‌نیا، ۱۳۹۹). در این میان مرزهای ملی از اهمیت و جایگاه برجسته‌ای برخوردار بوده‌اند چراکه مرزها دارای کارکردهای خاصی هستند که به‌وسیله آن‌ها می‌توان تشکیلات فضای جغرافیایی زندگی انسان‌ها را در یک راه هوشیارانه قرار داد. چراکه از طریق بهره‌گیری از کارکردهای مرزها می‌توان زمینه شکل‌گیری، توسعه و حفظ امنیت در فضای جغرافیایی را تا حد امکان فراهم آورد و از سوی دیگر می‌توان مسائل و چالش‌های برخاسته از مرز را تا حد امکان برای کشور کاهش داد (**حافظ‌نیا و جان‌پرور،۱۳۹۲**). با توجه به این اهمیت و جایگاه مرزها در کنترل و مدیریت فضاهای جغرافیایی و از سوی دیگر با توجه به افزایش پیوندها و وابستگی بین فضاهای جغرافیایی که زمینه افزایش سرعت و گردش ناامنی‌ها، ویروس‌ها و بیماری‌ها نظیر ویروس کرونا را فراهم آورده است، به نظر می‌رسد توجه و درک تأثیر ویروس کرونا بر چگونگی کارکرد مرزها می‌تواند از اهمیت و جایگاه برجسته‌ای برخوردار باشد. باید توجه داشت که مرزها دارای دو نوع کارکرد به‌صورت ذاتی و اکتسابی هستند؛ کارکردهای اکتسابی به‌گونه‌ای هستند که متناسب با زمان، نیازها یا فناوری‌های موجود دچار تغییر شده و کمرنگ یا پررنگ می‌شوند و یا اینکه به‌صورت کامل از بین می‌روند. مهم‌ترین این کارکردهای اکتسابی مرزها عبارتند از: کارکرد مانعی، کارکرد مشروعیت بخشی، کارکرد اقتصادی، کارکرد ملت‌سازی، کارکرد ارتباطی و ... (جان‌پرور، ۱۳۹۶). کارکردهای اکتسابی مرزها به کارکردهایی گفته می‌شود که حکومت‌ها متناسب با ضرورت و نیاز در زمان‌های مشخص برای مرزها در نظر می‌گیرند. این کارکردها چون متناسب با زمان، ضرورت‌ها و استراتژی‌ها شکل می‌گیرند سیال هستند و برعکس کارکردهای ذاتی مرزها تغییر می‌کنند و گاه از بین می‌روند و با افزایش ضرورت‌ها دوباره بازمی‌گردند. در این پژوهش تلاش شده است با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر جهان ناشی از شیوع ویروس کرونا، تأثیرات این ویروس بر کارکردهای اکتسابی مرزها موردبررسی و تحلیل قرار گیرد و مخاطرات و چالش‌های ناشی از آن موردبحث قرار گیرد.

**۲- منطقه موردمطالعه**

آسیای جنوب غربی به‌عنوان یک حوزهٔ جغرافیای وسیع به کار برده می‌شود که چندین منطقهٔ مشهور را که در مطالعات منطقه‌ای به مثابهٔ مناطقی جداگانه محسوب می‌شوند، در خود جای می‌دهد شامل بخش‌هایی از منطقهٔ قفقاز، قسمتی از شبه‌قاره هند، آسیای مرکزی، آسیای صغیر و شامات و مصر در شمال شرق آفریقا. درواقع جنوب غرب آسیا را می‌توان به شکل مثلثی دید که اضلاع سه‌گانه آن شامل؛ تنگه بسفر و داردانل در ترکیه، کوه‌های پامیر در مشرق و سرانجام، خلیج عدن و باب‌المندب می‌شود. (شکل ۱). این بخش از جهان ۱۹ کشور مستقل را شامل می‌شود که عبارتند از ایران، ترکیه، سوریه، عراق، اردن، لبنان، فلسطین اشغالی، عربستان، یمن، عمان، امارات متحده عربی، قطر، بحرین، کویت، پاکستان، افغانستان، آذربایجان، ارمنستان و گرجستان. (یعقوبی و دیگران، ۱۳۹۸). از نظر موقعیت ارتباطی نیز این بخش از جهان، اتصال‌دهنده سه قاره آسیا، اروپا و آفریقا می‌باشد که با وجود گذرگاه‌ها، تنگه‌ها و آبراهه‌های استراتژیک مثل کانال سوئز، تنگه بسفر و داردانل، تنگه باب المندب و هرمز، منطقه‌ای سوق‌الجیشی، با اهمیت ویژه و موردتوجه قدرت‌های بین‌المللی و جهانی محسوب می‌گردد. (مکفورلن[1]، ۲۰۰۸) همچنین این منطقه کانون جهان اسلام است. مکه و مدینه که مقدس‌ترین شهرهای مسلمانان هستند، هرساله در هنگام مراسم حج، صدها هزار نفر را در خود جای می‌دهد. این موقعیت ارتباطی برتر به کشورهای حاضر در این فضای جغرافیایی جایگاه و نقش بازیگری برجسته‌ای می‌دهد و از سوی دیگر زمینه برای حضور و نقش‌آفرینی بازیگران دیگر را نیز تا حد زیادی در جنوب غرب آسیا فراهم آورده است که می‌تواند به‌صورت مثبت یا منفی عمل کند.

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ژئوپلیتیکی جنوب غرب آسیا**

**Source: https://fa.wikipedia.org**

1 Macforlane

**۳- مواد و روش‌ها**

روش انجام این پژوهش، با توجه به ماهیت نظری آن توصیفی-تحلیلی می‌باشد و اطلاعات موردنیاز در قالب منابع کتابخانه‌ای و مراجعه به منابع معتبر، کتب، مقالات و سایت‌های مرتبط با سازمان‌ها و وزارتخانه‌های کشورهای جنوب غرب آسیا به دست آمده است.

**٤- نتایج و بحث**

**۱-٤- استخراج مؤلفه‌های مؤثر بر کارکرد اکتسابی مرزها**

مرزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و همین امر سبب می‌شود حساسیت و نظارت ویژه‌ای بر آن وجود داشته باشد. در زمانی که تصور می‌شد جهانی‌شدن مساوی با جهانی بدون مرز و کاهش تأثیرات آن باشد، بیماری‌ای جدید و ناشناخته به نام ویروس کرونا ظهور کرد و نشان داد جهانی‌شدن بدان معنی نیست که ما دیگر شاهد تأثیر مرز بر مسائل مختلف جغرافیایی-سیاسی نخواهیم بود بلکه حتی در مکان‌هایی مثل مرزهای بیرونی اتحادیه اروپا و یا کشورهای آمریکای شمالی با تأثیر و اهمیت فزاینده مرز روبه‌رو بوده‌ایم؛ از طرفی بیماری‌های واگیردار همچون ویروس کرونا به‌سرعت از کشوری به کشور دیگر انتقال می‌یابد و پدیده جهانی‌شدن نیز می‌تواند شیوع بیماری‌های واگیردار را تسریع نماید. برای اینکه بتوان تأثیر مسائل مختلف بر کارکرد مرزها به‌ویژه تأثیر ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها را موردبررسی تحلیل قرار داد از نظریات و کارهای صورت گرفته در این زمینه استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی نظریه‌هایی ازجمله ماتینز[1]، هاوس هوفر[2]، سافر[3] و ... نظریه‌های مرتبط با بیماری‌های واگیر ازجمله: کرونا و آینده روابط بین‌الملل، کرونا و تعهدات دولت، کرونا و امنیت شهرهای مرزی، کرونا و گردشگری و ... در این زمینه موردبررسی و تحلیل قرار گرفته شده است. بر این مبنا، برای اینکه بتوان در پژوهش حاضر به‌صورت جامع‌تر تأثیر کرونا ویروس را بر کارکردهای اکتسابی مرزها موردبررسی قرار گیرد از این نظریه‌ها و دیدگاه‌ها و کارهای قبل ۳۷ شاخص جهت ارزیابی استخراج شده است. این شاخص‌ها در قالب پنج بخش کارکردهای اکتسابی مرزها جهت درک بهتر آورده شده‌اند (جدول ۱). البته باید توجه داشت که این شاخص‌ها دارای همپوشانی و هم‌افزایی هستند و بر یکدیگر تأثیر گذاشته و از یکدیگر تأثیر می‌پذیرند و دسته‌بندی آن‌ها در قالب بخش‌ها مبتنی بر کارکرد اکتسابی مرزها نشان‌دهنده عدم تأثیرگذاری و پیوند بین آن‌ها نیست.

1 Martinez
2 Haushofer
3 Sofer

**جدول ۱- جمع‌بندی نظریات ویروس کرونا**

| ردیف | کارکردهای اکتسابی مرزها | شاخص‌ها | نظریه‌ها و دیدگاه‌های مرتبط |
|---|---|---|---|
| ۱ | کارکرد اقتصادی مرزها | کاهش تقاضا-کاهش صادرات-کاهش صادرات و قیمت نفت-کاهش تولید ناخالص داخلی- افزایش نرخ تورم-رشد بیکاری-سقوط ارزش سهام-تاثیر بر شاخص بورس -افزایش هزینه‌های دولت و کسری بودجه | دیدگاه کرونا و آینده روابط بین‌الملل (**بیگ زاده، لطفیان و همکاران، ۱۳۹۹**)<br>دیدگاه کرونا و تعهدات دولت (**السان، ۱۳۹۹**)<br>دیدگاه کرونا و مسئولیت دولت از نظر فقه (**غریب پور، ۱۳۹۹**)<br>نظریه آشوب (**شهرزادی و همکاران، ۱٤۰۰**)<br>نظریه ضد اطلاعات (**اشرفی ریزی و کاظم پور، ۱۳۹۹**)<br>دیدگاه کرونا و امنیت شهرهای مرزی (**بهرامی جاف و صالح آبادی، ۱۳۹۹**)<br>دیدگاه کرونا و گردشگری (**میرتقیان و همکاران، ۱۳۹۹**)<br>دیدگاه کرونا و اخلاق محیطی (**علیجانی، ۱۳۹۹**)<br>نظریه مارتینز<br>نظریه هاوس<br>نظریه سافر<br>دیدگاه کلاف مرزی (جان‌پرور، ۱۳۹٦) |
| ۲ | کارکرد ارتباطی مرزها | رکود صنعت گردشگری-گردشگری سیاحتی-گردشگری مذهبی-گردشگری اقتصادی-کاهش مسافر برای هتل‌ها-تعطیلی رستوران ها-کاهش فعالیت‌های اجتماعی-لغو تجمعات ورزشی و کنسرت‌ها | |
| ۳ | کارکرد مانعی مرزها | انسداد انواع مرزها-مانعیت ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی-مانعیت‌های مرزی در منطقه شنگن-ترانزیت حمل‌ونقل بین‌المللی-مانعیت ورود و خروج در مرزهای داخلی | |
| ٤ | کارکرد زیست‌محیطی مرزها | کاهش گازهای گلخانه‌ای-کاهش آلودگی هوا-کاهش تقاضای انرژی-کاهش میزان تلفات ناشی از آلودگی هوا-ترمیم لایه ازون-افزایش زباله و پسماندهای عفونتی-آلودگی آب و تالاب‌ها-پاکیزگی سواحل و دریاها-تاثیر بر حیات وحش-کاهش برخورد حیوانات با خودروها-کاهش آلودگی صوتی | |
| ۵ | کارکرد ملت‌سازی مرزها | رشد ملی‌گرایی-پر رنگ شدن هویت ملی- پر رنگ شدن حاکمیت ملی- افزایش محلی گرایی | |

تجزیه‌وتحلیل‌ها نشان می‌دهد که تحولات دوران معاصر کارکردهای مرز را دچار تغییر کرده است. در این زمینه باید توجه داشت که کارکردهای مرز به دو دسته تقسیم می‌شود، کارکردهایی که بر اساس ماهیت مرزها شکل می‌گیرند و کمتر دچار تغییر و دگرگونی می‌شوند مانند (جداکنندگی، تفاوت سازی و ...) و کارکردهایی که به مرزها بر اساس الزامات و مسائل مختلف داده می‌شود، این کارکردها با از میان رفتن الزام یا آن مسئله دچار تغییر می‌شود. بر این اساس، تحولات دوران معاصر فقط توانسته است بخش دوم

کارکردهای مرز (کارکردهای اکتسابی) را دگرگون کند. کارکردهای اکتسابی عبارتند از: کارکرد مانعی؛ کارکرد مشروعیت بخشی؛ کارکرد ملت‌سازی؛ کارکرد اقتصادی؛ کارکرد ارتباطی؛ کارکرد زیست‌محیطی و ... که ویروس کرونا بر هرکدام از آن تأثیرات فراوانی گذاشته و هدف اصلی این پژوهش بررسی این تأثیرات می‌باشد.

**۲-٤- کرونا ویروس و کارکردهای اکتسابی مرزها**

**۱-۲-٤- کارکرد اقتصادی مرزها**

کارکرد اقتصادی عبارت است از کارکردی که حکومت‌ها برای حمایت از تولیدات داخلی به مرزها می‌دهند و ورود و خروج برخی کالاها را مبتنی بر این کارکرد کنترل و مدیریت می‌کنند. (**جان پرور، ۱۳۹٦: ۵۷**) از طرفی، ویروس کرونا اثراتی فراتر از ایمنی انسان و بهداشت عمومی در جهان بر جای نهاده است. اولین و مهم‌ترین اثر این بیماری، بدون تردید بر اقتصاد جهانی احساس می‌شود. (**منتی، ۱۳۹۹**) بدین منظور به بررسی دو شاخص کاهش تقاضا و کاهش صادرات در ارتباط با شیوع ویروس کرونا پرداخته می‌شود:

-کاهش تقاضا: از دیدگاه علم اقتصاد، خسارت‌های اقتصادی ناشی از اپیدمی ویروس کرونا تا حد زیادی به دلیل کاهش تقاضاست؛ به این معنی که مصرف‌کننده‌ای برای خرید کالاها و خدمات موجود در اقتصاد جهانی وجود ندارد (**منتی، ۱۳۹۹**) همچنین، در اثر شوک بیماری همه‌گیر کرونا اقتصاد با کاهش تقاضا مواجه شد چراکه مصرف بسیاری کالاها و خدمات به دلیل ترس ابتلا به بیماری کاهش یافت، علاوه بر آن نااطمینانی به وجود آمده منجر به افزایش پس‌اندازهای احتیاطی و کاهش مصرف شد. ازآنجاکه بیماری‌های همه‌گیر سلامت آحاد افراد کشور را تهدید می‌کند، سیاست‌های فاصله‌گذاری اجتماعی، کاهش تعاملات و قرنطینه و کاهش برخی فعالیت‌ها در دستور کار دولت‌ها قرار گرفت. این موضوع به‌نوبه خود سمت عرضه اقتصاد را به‌واسطه اختلال در شبکه تأمین مواد اولیه و محدودیت فعالیت و تعطیلی برخی بنگاه‌ها با محدودیت مواجه کرده است. (**رجبی و همکاران، ۱٤۰۰**)

-کاهش صادرات: بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، شیوع ویروس کرونا، صادرات ایران به کشورهای همسایه را محدود کرده است. درحالی‌که گفته می‌شود بیش از نیمی از درآمد کشور از محل کانال‌های تجارت منطقه‌ای تحقق می‌یابد، همسایگان ایران، یکی پس از دیگری مرزهای خود را با کشور بسته‌اند؛ بنابراین، صادرات ایران به‌شدت کاهش یافته است. ازآنجاکه اولین شریک تجاری ایران چین است، بعد از اولین گزارش شیوع ویروس کرونا در ووهان چین در ماه دسامبر ۲۰۱۹، ایران نسبت به محدود کردن سفرها به چین و بالعکس بی‌میلی نشان داد؛ چراکه حدود ۲۳ درصد از صادرات غیرنفتی کشور (بیش از ۸ میلیارد دلار) در ۱۱ ماهه ابتدای سال ۱۳۹۸ به چین بوده است. در شرایطی که صادرات نفت ایران به کمترین میزان

خود در ٤ دهه گذشته رسیده بود، حفظ تجارت با چین دور از انتظار به نظر نمی‌رسید. اقدامی که اگر موقتاً متوقف می‌شد، شاید سطح بحران فعلی از حیث تبعات اقتصادی و انسانی آن به‌مراتب کمتر بود. همچنین بر اساس گزارش وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، اختلال در صادرات از مرزهای زمینی، کاهش ورود و خروج گردشگر، کاهش قیمت و تقاضای جهانی نفت و کاهش محصولات صادراتی کشور در کنار اختلال در تجارت با چین، از مهم‌ترین پیامدهای شیوع این ویروس در حوزه تجارت خارجی کشور به شمار می‌روند. از طرفی طبق برآورد صندوق بین‌المللی پول تجارت خارجی ایران در سال ۲۰۲۰ با کاهش ١٦ میلیارد دلاری به حدود ۷۰ میلیارد دلار رسیده است. (**صفایی و همکاران، ۱۳۹۹**).

**جدول ۲- تأثیر اپیدمی ویروس کرونا بر تقاضای جهانی نفت**

| سال ۲۰۲۰ | پیش‌بینی پیش از اپیدمی | پیش‌بینی تحت تأثیر اپیدمی | میزان تغییرات |
|---|---|---|---|
| فصل ۱ | (میلیون بشکه در روز) | (میلیون بشکه در روز) | (هزار بشکه در روز) |
| فصل ۲ | ۱۰۱.۵۷ | ۱۰۰.۸۲ | -۷۵۰ |
| فصل ۳ | ۱۰۲.۱۷ | ۱۰۱.۷۸ | -۳۹۲ |
| فصل ٤ | ۱۰۲.۷۳ | ۱۰۲.٤۸ | -۲٤٦ |
| | ۱۰۳.۲۹ | ۱۰۳.۱۷ | -۱۲۵ |

مأخذ: آرگوس مدیا، ۱ آوریل ۱۲۰۲۰

برای تعیین نقش کرونا در تحولات صادرات نفت به بررسی شرایط کشور عربستان سعودی و مقایسه میزان صادرات این کشور در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ می‌پردازیم: میزان صادرات نفت عربستان سعودی در سال ۲۰۱۷، ۷/۱۸ میلیون بشکه در روز و در سال ۲۰۱۸ با ۲/۸ درصد افزایش، ۷/۳۸ میلیون بشکه در روز بود (که توانست عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده نفت خام جهان در سال ۲۰۱۸ را از آن خود کند). در سال ۲۰۱۹ نیز، صادرات نفت عربستان معادل ۸/۰۳ میلیون بشکه در روز بود (www.opec.org) تولید نفت این کشور در آوریل ۲۰۲۰، معادل ۱۲ میلیون بشکه در روز بود. بااین‌حال، این کشور تولید خود را به دنبال همه‌گیری کووید-۱۹ در ماه مه و ژوئن سال ۲۰۲۰ به حدود هشت میلیون بشکه در روز رساند (www.statista.com). به عبارتی با یک کاهش شدید ٤ میلیون بشکه‌ای در روز مواجه گردید. متناسب با آمار و ارقام نمودارها می‌توان به این نتیجه رسید که با شیوع ویروس کرونا، کارکرد اقتصادی مرزها، در قالب سنجش در دو بخش، کاهش تقاضا، کاهش صادرات، تحت تأثیر قرار گرفته است.

1 Argus media

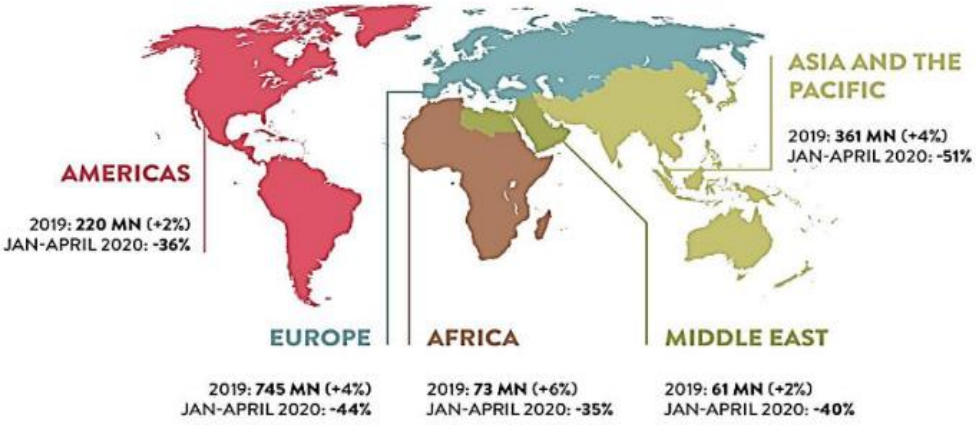
**۲-۲-٤- کارکرد ارتباطی مرزها**

مرزها سطح ارتباط ملت‌ها و حکومت‌ها در عرصه‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، ارتباطی و غیره... با یکدیگر است. (**حافظ‌نیا و جان‌پرور، ۱۳۹۲**) یکی از کارکردهای مرزها، کارکرد ارتباطی می‌باشد که عبارت است از کارکردی که حکومت‌ها به مرز می‌دهند تا بتوان بر پایه آن تعامل دو سوی مرز را گسترش دهند، مانند منطقه ویژه اقتصادی، بازارچه‌های مرزی، گذرگاه‌های مرزی یا ویزاها که برای مرزنشینان در نظر گرفته می‌شود و هدف آن افزایش تعاملات دو سوی مرز مبتنی بر چارچوب‌های مشخص می‌باشد. (جان‌پرور،۱٤۰۱) با شیوع همه‌گیر ویروس کرونا شاهد خیزش دوباره مرزها و تغییر کارکرد ارتباطی مرزها هستیم. بدین منظور به بررسی دو شاخص رکود صنعت گردشگری و کاهش مسافر هتل‌ها در ارتباط با شیوع ویروس کرونا پرداخته می‌شود.

- رکود صنعت گردشگری: گردشگری به‌عنوان یک پدیده انبوه بزرگ‌ترین تحرک اجتماعی در پهنه جغرافیایی جهان به شمار می‌رود. (**علی‌اکبری و همکاران، ۱۳۹۹**) در این راستا ویروس کرونا در اوایل ۲۰۲۰ از هر نظر دنیا را برای همیشه تغییر داده و نقش بسزایی در توقف این تحرک اجتماعی بزرگ، سفرهای بین‌المللی، تقاضای گردشگری و صنعت مهمان‌نوازی داشته است. (**قربان‌زاده و عابدی، ۱۳۹۹**) با توجه به اینکه فعالیت‌های گردشگری و سفرها در سطح بین‌المللی انجام می‌شوند، همه کشورها برای جلوگیری از شیوع این ویروس، فعالیت‌های گردشگری و جابه‌جایی‌های بین‌المللی را محدود کردند. به‌طوری‌که برخی کشورها مرزهای خود را کاملاً بسته و برخی دیگر گذرگاه‌های مرزی را محدود کردند و کشورها به شهروندان خود هشدار دادند جز در موارد ضروری سفر نکنند. (چانگ[1]،۲۰۲۰) ازآنجایی‌که تعاملات انسانی شرط ایجابی در صنعت گردشگری است و به عبارتی سفر بدون جابه‌جایی و حرکت انسان‌ها از نقطه‌ای به‌عنوان مبدأ و نقطه‌ای به‌عنوان مقصد قابل‌تصور نیست. لذا با توجه به ویژگی‌های ویروس کووید ۱۹، بحران ناشی از این ویروس منجر به سکون صنعت گردشگری شده است و بخش گردشگری بسیار بیشتر از سایر فعالیت‌های اقتصادی آسیب دیده است که این مسئله موجب از بین رفتن میلیون‌ها فرصت شغلی در این بخش شده است. (**حسن پور و همکاران، ۱۳۹۹**) گستره صنعت گردشگری چنان است که ۱۰ درصد از تولید ناخالص داخلی، ۷ درصد از تجارت بین‌المللی و ۳۰ درصد از خدمات را در جهان به خود اختصاص داده است و طبق گزارش‌های سازمان جهانی گردشگری، از هر ده شغل در جهان یک شغل با گردشگری ارتباط مستقیم دارد؛ اما همچنان با وجود قدرت اقتصادی نهفته در گردشگری، این صنعت یکی از حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین بخش‌ها در برابر بحران‌های داخلی و خارجی می‌باشد. (چبلی[2]، ۲۰۲۰)

1 Chang
2 Chebli

وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی ایران، ضرر ناشی از کرونا در صنعت گردشگری را ۳ هزار و ۸۰۰ میلیارد تومان اعلام کرده است. (**قربان زاده و عابدی، ۱۳۹۹**) و در سطح جهانی نیز، شورای جهانی سفر و گردشگری[1]، اعلام کرده، با شیوع کرونا بیش از ۷۵ میلیون شغل در صنعت گردشگری در معرض خطر هستند. شکل زیر تأثیرات کووید ۱۹ بر صنعت گردشگری در ماه‌های آوریل تا ژانویه در سراسر جهان را نشان می‌دهد.




**شکل ۲- تأثیرات کووید ـ ۱۹ بر صنعت توریسم در ژانویه و آوریل ۲۰۲۰**

**منبع: سایت سازمان جهانی گردشگری،۲۰۲۰**

– کاهش مسافر هتل‌ها: درحالی‌که همه‌ساله در شرایط عادی نرخ پذیرش هتل‌های بزرگ‌ترین شهرهای جهان در ماه مارس بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد می‌شد، در سال ۲۰۲۰ به دلیل شیوع ویروس کرونا این رقم تا ۲۰–۱۰ درصد ظرفیت هتل‌ها کاهش یافته است. (مک‌دونالد[2]، ۲۰۲۰) آمارهای کشورهای درحال‌توسعه که درآمد قابل‌توجهی از صنعت گردشگری کسب می‌کنند نشان می‌دهد که هندوستان، ترکیه و برزیل به ترتیب در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال قبل آن ۱۲، ۲۲ و ۱۷ درصد در اشتغال هتل رشد داشته‌اند؛ درحالی‌که در ژانویه ۲۰۲۰، به ترتیب ٦٤، ۷۳ و ۷۷ درصد اشتغال هتل‌ها با کاهش روبه‌رو بود. این کاهش در ژوئن ۲۰۲۰، برای آمریکا ٤۰، استرالیا ۵۵، اندونزی ٦۷، کانادا ۷۰ و فرانسه و انگلستان نزدیک به ۷۱ درصد و برای کشورهای ژاپن، آرژانتین، مکزیک، روسیه بیش از ۷۵ درصد بود. در این میان، ایتالیا که به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی توریسم اروپا شناخته می‌شد، بیشترین کاهش در میان کشورهای اروپایی را تجربه کرد. این کشور با کاهش

1 World Travel and Tourism Council(WTTC)
2 McDonald

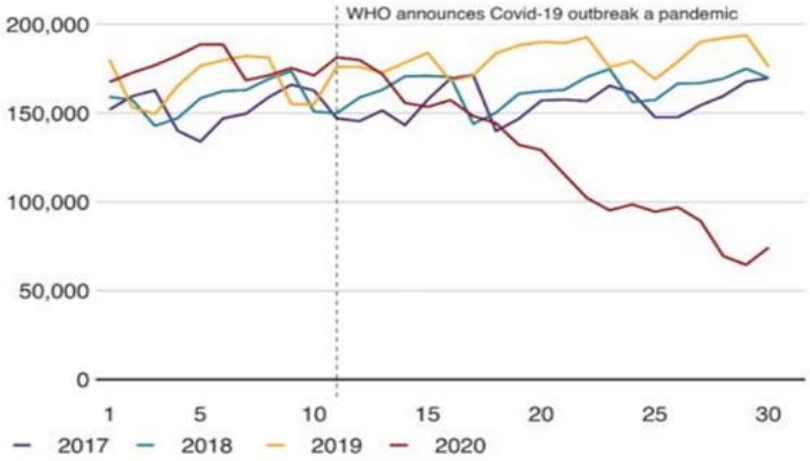
۹۰/۸ درصدی رزرو هتل‌ها در مارس ۲۰۲۰ مواجه بوده است. (**مسائلی و همکاران، ۱٤۰۰**). کارکرد ارتباطی مرزها، در قالب دو بخش، رکود صنعت گردشگری و کاهش مسافر هتل‌ها، موردبحث قرار می‌گیرد.

**۳-۲-٤- کارکرد مانعی مرزها**

حکومت‌ها برای اینکه بتوانند در فضای سرزمین خـود اعمال حاکمیت کرده و از دخالت و استفاده سایر حکومت‌ها، ورود ناامنی، حرکت آزادانه انسان‌ها، کالاها تفکرات و ... به سرزمین خود جلوگیری نمایند، از مرزها با توجه به این نیاز خود به‌عنوان پدیده‌ای بازدارنده و مانعی استفاده می‌کنند. البته زمانی که نیاز حکومت‌ها به این بازدارندگی کم شود و تعامل با فراسوی کشورها و ایجاد زمینه جریان آزادتر انسان‌ها و کالاها در دستور کار کشورها قرار گیرد این کارکرد مرزها کم‌رنگ شده یا از بین می‌رود؛ مانند مرزها در درون اتحادیه اروپا که این کارکرد مرزها متناسب با نیاز از بین رفته است، اما مرزهای اتحادیه با سایر کشورها تا حد قابل‌توجهی متناسب با نیاز (جلوگیری از جریان حرکت مهاجرت‌های غیرقانونی، ورود ناامنی و ...) تقویت شده است. (جان‌پرور، ۱۳۹٦) برای درک بهتر تأثیرات ویروس کرونا بر این کارکرد، به بررسی شاخص انسداد انواع مرزها و مانعیت ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی و تنگه باب المندب پرداخته می‌شود.

– انسداد انواع مرزها: نخستین اثرات این همه‌گیری در مفاهیم جغرافیای سیاسی، متوجه مرزها؛ اعم از مرزهای داخلی و مرزهای بین‌المللی شد. این رویداد منجر به اتخاذ تدابیر پیشگیرانه از سوی حکومت‌ها در کشورهای مختلف، به‌منظور کاستن از تبعات منفی پاندمی کرونا گردید و مرزها و مشخصاً مرزهای بین‌المللی؛ از مهم‌ترین و نخستین ابزارهای حکومتی در اتخاذ تدابیر یاد شده بودند.

– مانعیت ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی: داده‌های سرویس ردیابی «پرواز رادار ۲٤» نشان دهنده کاهش تعداد پروازها در سطح جهانی در ماه مارس ۲۰۲۰ است که شیوع ویروس کرونا و مانعیت ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی از دلایل آن می‌باشد (**منتی، ۱۳۹۹**)

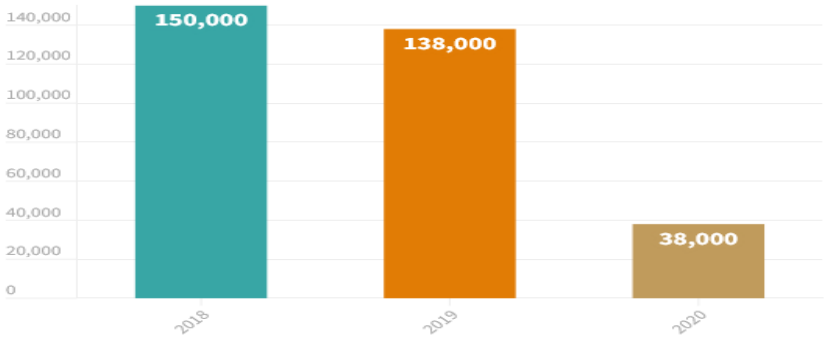



**شکل ۳- تعداد کل پروازهای جهانی روزانه در ماه مارس**

**منبع: پرواز رادار ٢٤. ۳۱ مارس ۲۰۲۰**

– تنگه باب المندب (مسیر شرقی): «مسیر شرقی» که مهاجران اتیوپی‌ای عمدتاً برای رسیدن به عربستان از آن می‌گذرند و سال‌های زیادی مورد بی‌اعتنایی واقع شده بود، از سال ۲۰۱۸ (۹۷/۱۳۹٦) توجه بین‌المللی را به خود جلب کرده است. بنا بر گزارش سازمان بین‌المللی مهاجرت[1] در این سال تقریباً ۱۵۰ هزار عبور از تنگه باب المندب صورت پذیرفته است و این بدان معنا است که این مسیر مهاجرت دریایی رسماً از دریای مدیترانه به‌عنوان پرترددترین مسیر جهان پیشی گرفته است. این جریان در سال ۲۰۱۹ (۱۳۹۷–۹۸) نیز به همین ترتیب ادامه داشت. بیش از ۱۳۸ هزار ورود از شاخ آفریقا به یمن اتفاق افتاده است و اکثر قریب به‌اتفاق مهاجران یمن را تنها یک کشور ترانزیت می‌دانند. ما در سال ۲۰۲۰ و با ظهور بیماری فراگیر کووید–۱۹ در مسیر شرقی، این روند به طرز چشمگیری تغییر کرد و وضعیت آن را متزلزل کرد. عربستان و جیبوتی با کنترل شدید مرزها، سیل مهاجران آفریقایی به شبه‌جزیره عربستان را به‌شدت کاهش دادند و تعداد آن‌ها را به حدود ۳۸ هزار نفر رساندند. مهم‌تر از همه، بسته شدن مرزها، منجر به گرفتاری هزاران مهاجر و پناهجوی عمدتاً اتیوپیایی در یمن شده است؛ کشوری که یکی از فجیع‌ترین بحران‌های انسانی گریبان‌گیرش است. (Www.iom.int)

1 IOM




**شکل ٤- تعداد عبور مهاجران از تنگه باب‌المندب طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰**

**منبع: سازمان بین‌المللی مهاجرت (IOM)**

متناسب با آمار و ارقام نمودارها می‌توان به این نتیجه رسید که با شیوع ویروس کرونا، کارکرد مانعی مرزها، تحت تأثیر قرار گرفته است.

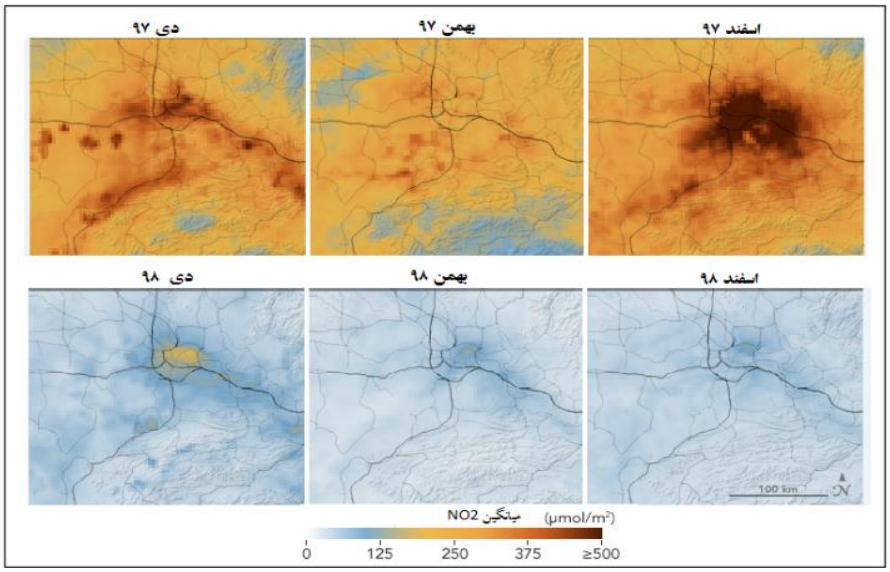
**٤-۲-٤- کارکرد زیست‌محیطی مرزها**

محیط‌زیست پایه و بستر زندگی انسان و همه موجودات است. حفظ و نگهداری آن به‌عنوان بستری مناسب جهت حیات و معیشت انسان‌ها و بهره‌گیری از جاذبه‌های موجود در آن به هنگام تفریح از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری‌که حفاظت از آن‌ها یک وظیفه همگانی در سطح ملی و بین‌المللی است (رضوانی،۱۳۸۰) در این میان کارکرد زیست‌محیطی که مستقیماً در ارتباط با محیط‌زیست است، کارکردی است که حکومت‌ها متناسب با ضرورت و نیاز در زمان‌های مشخص برای مرزها در نظر می‌گیرند و مبتنی بر آن در محیط‌زیست را حفظ می‌کنند. این کارکرد به ۲ طریق می‌تواند تأثیرگذار باشد: ۱- ایجاد فضایی جهت تعامل در دو سوی مرز ۲- ایجاد محیطی که مانع ورود و خروج مؤلفه‌های ناامنی و ایجاد چالش محیط‌زیست (جان‌پرور،۱٤۰۱) بدین منظور برای درک بهتر تأثیرات شیوع ویروس کرونا بر کارکرد یاد شده، به بررسی دو شاخص کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش آلودگی هوا پرداخته می‌شود.

-کاهش گازهای گلخانه‌ای: همه‌گیری کووید ۱۹ در سراسر جهان باعث بروز آثار مثبت نیز شده است. اثرات آن بر محیط‌زیست و آب‌وهوا شامل کاهش جهانی انتشار دی‌اکسید کربن[1] روزانه حدود ۱۷ درصد تخمین زده شده است. گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش میانگین کره زمین، باعث ذوب شدن یخچال‌ها و بالا آمدن سطح دریا می‌شود. با همه‌گیری کووید ۱۹ و کاهش فعالیت‌های اقتصادی در طول این همه‌گیری و

1 Co2

به‌تبع آن کاهش گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن کره زمین و همچنین آلودگی هوا و دریایی به‌طور موقت متوقف شده است (**پورپیوندی و همکاران، ۱۳۹۹**) به دنبال محدودیت‌های تردد در اروپا، سرویس پایش آلودگی هوا در اتحادیه اروپا تولید ذرات معلق ۲۰ تا ۳۰ درصد و کاهش گازهای دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن را گزارش کرده است. تولید حجم عظیمی از گازهای گلخانه‌ای، هوای جهان را آلوده کرده و با تغییرات اقلیمی در کره زمین، زیستگاه‌های مطلوب گونه‌ها کاهش یافته است و حیات بسیاری از زیستمندان را تهدید می‌کند. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که گاز مونواکسید کربن کـه بیشتر توسط اتومبیل‌ها تولید می‌شود، در مقایسه با سال ۲۰۱۹ در حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. از طرفی تولید گاز دی‌اکسید کربن که از طریق گرم کردن کره زمین در تغییرات آب‌وهوایی سهم دارد، نیز در روزهای اخیر کاهش یافته است. به‌عنوان‌مثال آژانس فضایی اروپا با استفاده از ماهواره سنتینل- ۵ نشان داده است کـه لایه آلودگی هوا به‌ویژه بر فراز ایتالیا کاهش یافته است و حدود یک‌چهارم یا بیشتر از تولید گاز دی‌اکسید کربن در این کشور کاسته شده است. همچنین سطح میانگین دی‌اکسید نیتروژن که ارتباط تنگاتنگی با مصرف سوخت‌های فسیلی دارد، در هفته پس از سال نوی چینی، ۲۰۲۰ نسبت به مدت مشابه سال قبل ۳۶ درصد کمتر بوده است. (**ملکیان، ۱۳۹۹**)




**شکل ۵- تغییر در انتشار و غلظت گازهای آلاینده در چین در بازه شیوع کرونا**

**منبع:** ملکیان، ۱۳۹۹

– کاهش آلودگی هوا: بیرون نیامدن شهروندان از خانه‌ها و استفاده نکردن از خودروها باعث کم شدن آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی شده است. در شهرهایی که سال‌ها افق دید بسیار محدودی داشتند، آلودگی هوا از بین رفته و جلوه‌های طبیعت تا کیلومترها قابل‌مشاهده است. به‌عنوان‌مثال در کشور چین که بزرگ‌ترین دوره قرنطینه را در تاریخ خود تجربه کرد و در ژانویه ۲۰۲۰ رفت‌وآمد مردم کاهش یافت. (**ملکیان، ۱۳۹۹**) همچنین سطح دی‌اکسید نیتروژن شهرهای بزرگ هند مانند احمدآباد، بمبئی و پونا در زمان ممنوعیت‌ها بین ٤٠ تا ٥٠ درصد کاهش یافته است. در اروپا پیش‌بینی می‌شود که سطح دی‌اکسید کربن ۳۹۰ میلیون تن کاهش یابد. در ایالات‌متحده آمریکا، انتشار کربن نیز به دلیل ترافیک کم، حدود ٤٠ درصد کاهش یافته است درحالی‌که ازون به دلیل کاهش دی‌اکسید نیتروژن افزایش یافته است. مقایسه غلظت آلاینده‌های مختلف در جدول زیر نشان می‌دهد که سطح تقریباً تمام آلاینده‌ها در طول دوره محدودیت کاهش یافته است و تعداد کمی آلاینده‌ها (ازون–دی‌اکسید گوگرد) افزایش مداوم در آن‌ها دیده شده است (**پورپیوندی و همکاران، ۱۳۹۹**).

**جدول ۳– میزان غلظت آلاینده‌های هوا**

Average concentrations of pollutants and meteorological parameters before and during lockdown phases.

| Average pollutants concentration before lockdown and during all phases of lockdown periods | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Study Period | $PM_{2.5}$ (μg/m³) | $PM_{10}$ (μg/m³) | $NO_2$ (μg/m³) | NO (μg/m³) | NOx (ppb) | $NH_3$ (μg/m³) | $SO_2$ (μg/m³) | CO (mg/m³) | $O_3$ (μg/m³) | Benzene (μg/m³) | Toluene (μg/m³) |
| Before Lockdown | 20.1 | 56.9 | 13.9 | 7.2 | 13.0 | 68.0 | 9.9 | 0.55 | 13.8 | 4.4 | 1.4 |
| Lockdown 1 | 14.3 | 35.9 | 10.7 | 1.9 | 7.0 | 38.3 | 10.0 | 0.46 | 19.2 | 3.2 | 0.4 |
| Lockdown 2 | 15.4 | 43.9 | 11.6 | 2.4 | 8.0 | 32.1 | 11.4 | 0.52 | 26.5 | 3.0 | 0.7 |
| Lockdown 3 | 19.8 | 55.5 | 13.0 | 2.3 | 8.6 | 32.5 | 11.8 | 0.57 | 31.7 | 2.2 | 1.0 |

مأخذ: پورپیوندی و همکاران، ۱۳۹۹

همچنین در طی همه‌گیری کووید ۱۹، با محدودیت و قرنطینه در مناطق مختلف جهان، به دلیل کاهش حمل‌ونقل جادهای و ترافیک شهری، محققان از کاهش شدید غلظت آلاینده‌های هوا به‌ویژه در سطح اکسیدهای ازت خبر دادند. به دلیل ویروس کرونا، بسیاری از کشورهای جهان به آموزش از راه دور روی آورده‌اند. با آموزش از راه دور و به طبع آن کاهش تحرک اجتماعی، انتشار بسیاری از آلاینده‌های کربن دار نظیر (مونواکسید کربن و هیدروکربن) نیز کاهش یافته است. علاوه بر این پس از شروع رویدارهای علمی، جلسات و رویدادهای سیاسی به‌صورت کنفرانس‌های از راه دور انتشارات زیست‌محیطی جهانی کاهش یافته است. با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که شیوع ویروس کرونا باعث کاهش آلودگی جوی در جهان شده است. طبق آمارهای منتشر شده بیشترین کاهش در دوره اول قرنطینه در جنوب اروپا و به‌ویژه اسپانیا، ایتالیا و

فرانسه به میزان ٤٠-٥٠ درصد مشاهده شده است. (هوآنگ و همکاران[1]،۲۰۲۰) متناسب با آمار و ارقام و نمودارهای مطرح شده، می‌توان به این نتیجه رسید که با شیوع ویروس کرونا، کارکرد زیست‌محیطی مرزها از طریق کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش آلودگی هوا، تحت تأثیر قرار گرفته است.

**٥-۲-٤- کارکرد ملت‌سازی مرزها**

از آنجا که مرزهای ایجاد شده در فضاهای جغرافیایی تفکیک‌کننده گروه‌های قومی- مذهبی یکسان از یکدیگر نیست بلکه هر سرزمین تفکیک شده از سوی مرزها دارای دو یا چند گروه قومی- مذهبی است. زمینه برای ایجاد واگرایی در کشورها تا حد قابل‌توجهی بالا می‌رود. با توجه به اینکه، مسئله اتحاد و یکپارچگی ملی به این دلیل که برای هر حکومت ایجاد نگرانی می‌کند از اهمیت بالایی در میان جغرافیدانان سیاسی برخوردار است متحد کردن سرزمین‌ها و قومیت‌های مختلف یک کشور به‌صورت یک واحد سازمان یافته مجرد که در آن کلیه ساکنان تابعیت و وفاداری خود را عرضه دارند. یکی از مشکل‌ترین و در عین حال ضروری‌ترین تکالیف یک حکومت است (**درایسدل و بلیک[2]، ۱۳۷۳**). حکومت‌ها سعی می‌کنند با دادن کارکرد ملت‌سازی به مرزها که ناشی از ظرفیت مرزها جهت تفکیک افراد و فضاهای جغرافیایی از یکدیگر و افزایش تعامل در درون مرزها و ایجاد مانع بر سر تعامل با فراسوی مرزها، زمینه ایجاد نزدیکی و همبستگی را در درون سرزمین حکومت‌ها فراهم آورند و از این طریق به حکومت‌ها جهت ملت‌سازی در درون فضای کشور کمک کنند. بر مبنای این کارکرد مرزها به‌عنوان پدیده‌های متمایز کننده افراد در درون یک کشور با سایر فضاهای جغرافیایی عمل و با افزایش تعامل و نزدیکی بین گروه‌های ساکن در سرزمین یک حکومت به حرکت جهت ملت‌سازی کمک می‌کنند. (**جان‌پرور،۱۳۹٦**) برای درک بهتر تأثیرات ویروس کرونا بر کارکرد یادشده، به بررسی سه شاخص رشد ملی‌گرایی، پر رنگ شدن هویت ملی و پر رنگ شدن حاکمیت ملی پرداخته می‌شود.

- رشد ملی‌گرایی: ملی‌گرایی از نظر ماهیت، ایدئولوژی سیاسی‌ای است که بر پیوند میـان گروهی از انسان‌ها و یک سرزمین مشخص تأکید می‌کند و می‌کوشد وجود و عینیت ملت‌ها را در جهان ارتقا بخشد. این سازوکار تلاش می‌کند هویت ملی را بر مرزهای ملی و در قالب کشور منطبق کند و انسجام ملی را افزایش دهد. در حقیقت ملی‌گرایی، نامی برای ساختارهای سیاسی و اجتماعی مدرن است که می‌کوشد احساس تعلق، همبستگی و هویت داشتن بین شهروندان ملی و سرزمین به‌عنوان زادگاه ملی مشترک به وجود آورد. در این میان، سرزمین، عنصری محوری در ملی‌گرایی و ابزاری قدرتمند برای ملی گراها و عمل

1 Huang Y and et al
2 Drysendel and Blake

ملی‌گرایی است. بر همین اساس ملی‌گرایی مفهومی مهم در جغرافیای سیاسی است (**شهرام‌نیا،۱۳۹۲**) یکی از واقعیت‌های غیرقابل انکار که تحت تأثیر اپیدمی ویروس کرونا ظهور و بروز پیدا کرد، بازگشت به مرزهای ملی و رشد ملی‌گرایی است. به‌طوری‌که دولت‌ها در سراسر جهان قید اقتصاد جهانی را زده و رو به ناسیونالیسم اقتصادی و استقلال اقتصادی آورده‌اند و مشغول ذخیره‌سازی مواد غذایی و افزایش ذخایر استراتژیک خود شده‌اند. درواقع با ظهور این بحران جهانی، هر چند ملت‌ها و دولت‌ها بیش از هر زمان دیگری به همکاری و همراهی با یکدیگر نیاز دارند و سازمان‌ها و نهادهای جهانی می‌بایست در راهبری برای عبور از این بحران وارد میدان شوند؛ اما در عمل نه تنها شاهد افول قدرت سازمان‌های جهانی هستیم، بلکه نقش دولت‌ها، مرزهای‌ملی و ملی‌گرایی به‌شدت افزایش یافته است. از همین رو در نظم جهانی آینده پساکرونا شاهد روند روبه رشد ملی‌گرایی و در مقابل شاهد زوال هر چه بیشتر گلوبالیزم (جهانی‌شدن) و هنجارهای مربوط به فرهنگ جهانی‌شدن خواهیم بود؛ نظمی که در آن مفهوم مرزها و ملیت‌ها مجدداً ارزش و جایگاه خود را باز خواهند یافت و همچنین به تبع آن، نقش دولت‌ها به‌عنوان بازیگران اصلی صحنه نظام بین‌الملل در مقابل بازیگران فراملی و بین‌المللی افزایش خواهد یافت (**رومی و کاظمی، ۱۳۹۹**) همچنین شرایط نشان داد در زمان اضطرار، مردم به کشور و هویت ملی خود باز می‌گردند؛ زیرا آن را پناهگاه و خانه خودی و آرمان نهایی زیست خود می‌دانند. نمونه‌ای از این دست، انتقال دانشجویان خارجی در کشورها در جریان بحران کرونا به کشورهای اصلی و وطن خود می‌باشد، زیرا نهادهای جهانی فاقد چنین ویژگی‌هایی می‌باشند. در حقیقت بحران ویروس کرونا به تقویت جریان‌های ملی‌گرایی در برابر جریان‌های منطقه‌گرایی و جهان‌گرایی و بازگشت ملت‌ها و حکومت‌ها به درون مرزهای ملی کمک کرده است (**حافظ‌نیا و احمدی، ۱٤۰۱**)

– پررنگ شدن هویت ملی: درواقع ناسیونالیسم می‌تواند به‌عنوان عنصری مهم در وحدت، پر رنگ شدن هویت ملی و همبستگی قومی محسوب گردد. بروز بیماری کرونا می‌تواند سبب افزایش آگاهی گروهی، افزایش حس همبستگی و یگانگی بین ملت‌هایی که دارای اشتراکاتی در زبان، دین، ادبیات، سنت‌های تاریخی، تاریخ، اسطوره‌ها و ... شود. با توجه به اهمیت ناسیونالیسم می‌توان به جرات بیان نمود که تقویت این عامل در میان ملت‌ها می‌تواند این احساس مثبت را ایجاد نماید که در برابر معضلات و مشکلات پایداری بیشتری داشته باشند. کرونا یکی از معضلاتی است که سبب می‌شود نوعی وفاق ملی در طول این بحران شکل بگیرد. درواقع هویت ملی در این بحران نوعی تعهد و تعلق عاطفی را نیز شکل می‌دهد و بخشی از هویت افراد بر این اساس شکل می‌گیرد (جان‌پرور و همکاران،۱۳۹۹).

– پر رنگ شدن حاکمیت ملی: اگرچه ویروس کرونا یک پدیده جهانی و چالش بشری است؛ اما از یک سو باعث تقویت حاکمیت ملی و قد کشیدن مرزهای بین‌المللی برای دفاع از امنیت ملی شد و از سوی دیگر

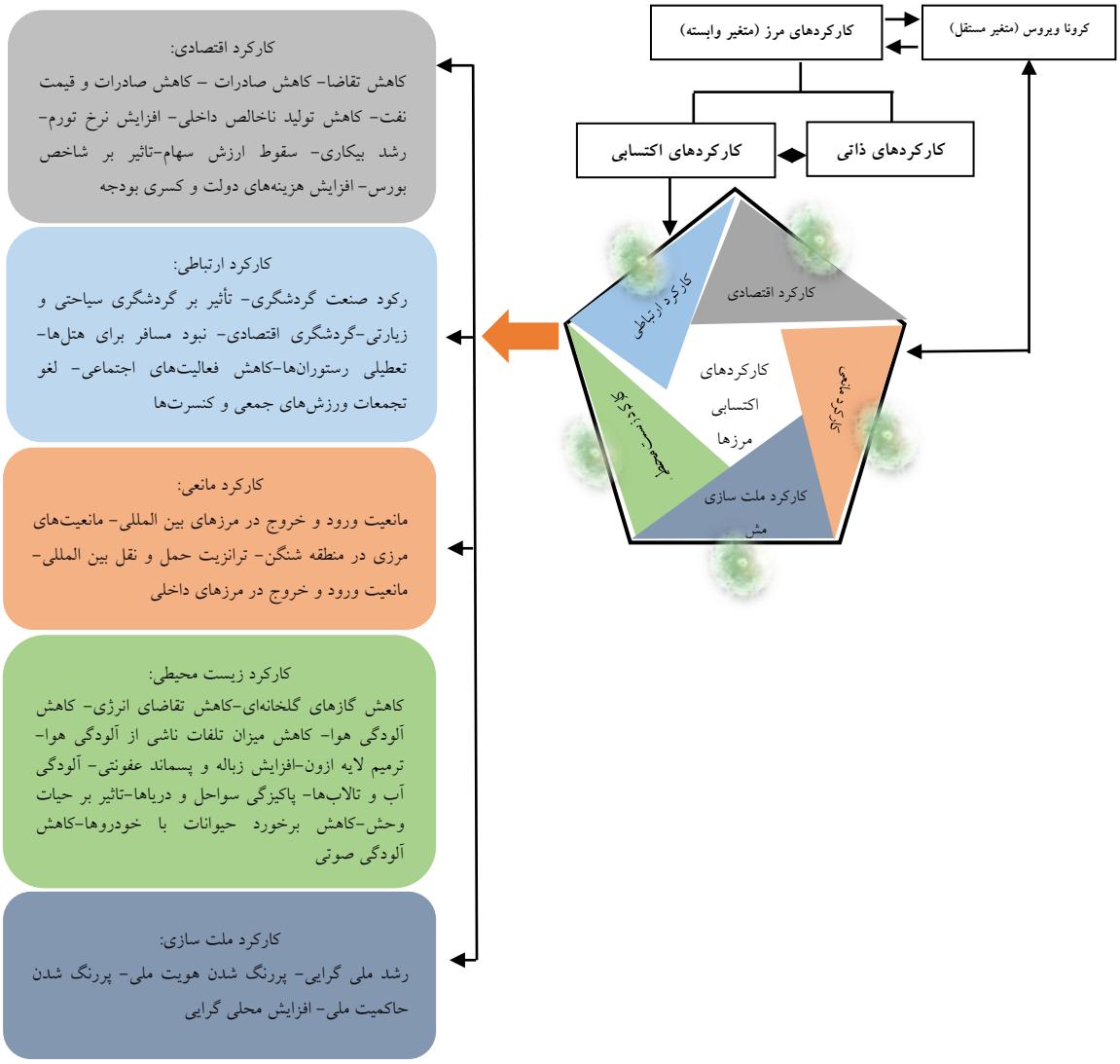
منجر به مسئولیت‌پذیری حکومت‌های ملی برای مبارزه با تهدید اپیدمی کووید ۱۹ در درون مرزهای ملی گردید. حتی این فرآیند، نقش کنترلی مرزهای درون کشوری و محلی کشورها را نیز فعال کرد. (**حافظ‌نیا و احمدی، ۱٤۰۱**) به‌عنوان‌مثال ایالات‌متحده آمریکا از نقش دولت بزرگ برای خروج از این بحران استفاده کرد زیرا عدم سرمایه گذاری در طی چهار دهه اخیر در زیر ساخت‌های این کشور نشان دهنده عدم موفقیت آنان در کنترل این بیماری از سوی دولت‌های فدرال موجود بوده است. درواقع در این دوره شاهد سخنانی در ارتباط با اینکه من از دولت هستم و من برای کمک در اینجا هستم از سوی مردم شنیده می‌شود. در حقیقت این چیزی است که بیان می‌کند دولت ذاتاً بد نیست و بیانگر این است که وجود یک دولت کارآمد برای ایجاد نمودن یک جامعه سالم لازم و ضروری است. همانطور که آسیب‌های جنگ جهانی دوم سبب ایجاد یک دولت قوی‌تر با همبستگی ملی در ایالات‌متحده آمریکا شد؛ می‌توان گفت ویروس کرونا نیز می‌تواند بذر ایجاد یک فدرالیسم مدنی جدید را تولید نماید که در آن ایالت‌ها و دولت‌های محلی به مراکز عدالت، همبستگی و دموکراتیک تبدیل می‌شوند (جان پرور و همکاران،۱۳۹۹) متناسب با مباحث مطرح شده در این بخش می‌توان به این نتیجه رسید که با شیوع ویروس کرونا، کارکرد ملت‌سازی مرزها تحت تأثیر قرار گرفته است.

**۵- نتیجه‌گیری**

مرزهای سیاسی و مناطق مرزی، مشخص‌کننده حد نهایی حاکمیت کشورها و محل تلاقی و برخورد حکومت‌ها و ملت‌های همجوار هستند. همچنین تعامل و ارتباط با جهان پیرامون نیز از این نقاط صورت می‌گیرد. مرزها تا کنون کارکردهای مختلفی به خود گرفته‌اند و به‌مرورزمان این کارکردها تضعیف و یا تقویت شده و یا تغییر کرده است. در این زمینه کارکردهای اکتسابی مرزها تحت تأثیر تحولات و تغییرات، کمرنگ یا پررنگ شده‌اند. ازجمله عوامل مؤثر بر کارکرد اکتسابی مرزها شیوع ویروس کرونا در طی دو سال گذشته است که فضاهای جغرافیایی را در مقیاس‌های مختلف تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به این اثرگذاری پژوهش حاضر با هدف، بررسی تأثیرات شیوع ویروس کرونا بر کارکردهای اکتسابی مرزها انجام شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده آن است که دولت‌ها به‌عنوان یکی از بازیگران اصلی در مواجه شدن با این ویروس هستند. دولت‌ها نیز با اقداماتی نظیر بستن مرزهای خارجی، داخلی؛ منع پروازها؛ فاصله‌گذاری اجتماعی؛ تعطیلی اصناف، ادارات، کارخانه‌ها و موسسه‌های آموزش؛ و تولید واکسن و غیره به‌صورت‌های مختلف کارکرد اکتسابی مرزها تشدید کرده‌اند. می‌باشد. تشدید کارکرد اکتسابی مرزها سبب رکود صنعت گردشگری، ویروس همه‌گیر کرونا ۳ هزار و ۸۰۰ میلیارد تومان ضرر به گردشگری ایران وارد کرده و در سطح جهانی نیز با شیوع کرونا بیش از ۷۵ میلیون شغل در صنعت گردشگری با خطر روبه‌رو شده

است و با کاهش ۱۷ درصدی درآمدهای صنعت گردشگری روبه‌رو بوده‌ایم. همچنین در بخش هتل‌ها به بررسی اشتغال هتل‌ها در کشورهای هندوستان، ترکیه، برزیل و ایتالیا پرداخته شد. درحالی‌که همه‌ساله در شرایط عادی نرخ پذیرش هتل‌های بزرگ‌ترین شهرهای جهان در ماه مارس بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد می‌شد، در سال ۲۰۲۰ به دلیل شیوع ویروس کرونا این رقم تا ۲۰-۱۰ درصد ظرفیت هتل‌ها کاهش یافته است و در این میان ایتالیا که به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی توریسم اروپا شناخته می‌شد، بیشترین کاهش در میان کشورهای اروپایی را تجربه کرده است. این کشور با کاهش ۹۰/۸ درصدی رزرو هتل‌ها در مارس ۲۰۲۰ مواجه بوده است. در بخش کارکردهای اقتصادی نیز، طبق ارزیابی‌های صورت گرفته خسارت‌های اقتصادی ناشی از اپیدمی ویروس کرونا تا حد زیادی به دلیل کاهش تقاضاست به این معنی که مصرف‌کننده‌ای برای خرید کالاها و خدمات موجود در اقتصاد جهانی وجود ندارد و این موضوع به‌نوبه خود سمت عرضه اقتصاد را به‌واسطه اختلال در شبکه تأمین مواد اولیه و محدودیت فعالیت و تعطیلی برخی بنگاه‌ها با محدودیت مواجه کرده است. در بخش کاهش صادرات نیز با شیوع ویروس کرونا صادرات ایران به کشورهای همسایه محدود شد و طبق برآورد صندوق بین‌المللی پول تجارت خارجی ایران در سال ۲۰۲۰ با کاهش ۱٦ میلیارد دلاری به حدود ۷۰ میلیارد دلار رسید. برای ارزیابی کاهش صادرات نفت نیز به بررسی شرایط نفتی کشور عربستان سعودی پرداخته شد. طی تأثیرات ویروس کرونا میزان صادران نفت عربستان سعودی با کاهش شدید ٤ میلیون بشکه‌ای در روز مواجه گردیده است. در بخش کارکرد ملت‌سازی نیز طبق تحقیقات صورت گرفته، یکی از واقعیت‌های غیرقابل‌انکار که تحت تأثیر اپیدمی ویروس کرونا ظهور و بروز پیدا کرد، بازگشت به مرزهای ملی و رشد ملی‌گرایی است به‌طوری‌که دولت‌ها در سراسر جهان قید اقتصاد جهانی را زده و رو به ناسیونالیسم اقتصادی و استقلال اقتصادی آورده‌اند و نقش دولت‌ها، مرزهای ملی و ملی‌گرایی به‌شدت افزایش یافته است. در حقیقت بحران ویروس کرونا به تقویت جریان‌های ملی‌گرایی در برابر جریان‌های منطقه‌گرایی و جهان‌گرایی و بازگشت ملت‌ها و حکومت‌ها به درون مرزهای ملی کمک کرده است. در ارتباط با پر رنگ شدن هویت ملی باید گفت: بروز بیماری کرونا می‌تواند سبب افزایش آگاهی گروهی، افزایش حس همبستگی و یگانگی بین ملت‌هایی که دارای اشتراکاتی در زبان، دین، ادبیات، سنت‌های تاریخی، تاریخ، اسطوره‌ها و ... شود و کرونا یکی از معضلاتی است که سبب می‌شود نوعی وفاق ملی در طول این بحران شکل بگیرد. در بخش پر رنگ شدن حاکمیت ملی نیز می‌توان گفت: اگرچه ویروس کرونا یک پدیده جهانی و چالش بشری است؛ اما از یک سو باعث تقویت حاکمیت ملی و قد کشیدن مرزهای بین‌المللی برای دفاع از امنیت ملی شد و از سوی دیگر منجر به مسئولیت‌پذیری حکومت‌های ملی برای مبارزه با تهدید اپیدمی کووید ۱۹ در درون مرزهای ملی گردید. در بخش کارکرد مانعی، نخستین اثرات این همه‌گیری در مفاهیم جغرافیای سیاسی، متوجه مرزها؛ اعم از مرزهای داخلی و مرزهای بین‌المللی شد. این

رویداد منجر به اتخاذ تدابیر پیشگیرانه از سوی حکومت‌ها در کشورهای مختلف، به‌منظور کاستن از تبعات منفی پاندمی کرونا گردید و مرزها و مشخصاً مرزهای بین‌المللی؛ از مهم‌ترین و نخستین ابزارهای حکومتی در اتخاذ تدابیر یاد شده بودند. در بخش مانعیت‌های ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی، طبق داده‌های سرویس ردیابی، شاهد کاهش تعداد پروازها در سطح جهانی در ماه مارس ۲۰۲۰ بودیم که شیوع ویروس کرونا و مانعیت ورود و خروج در مرزهای بین‌المللی از دلایل آن می‌باشد. همچنین مسیر شرقی واقع در تنگه باب المندب که مهاجران اتیوپی‌ای عمدتاً برای رسیدن به عربستان از آن می‌گذرند، در سال ۲۰۱۸ با ۱۵۰ هزار عبور رسماً از دریای مدیترانه به‌عنوان پرترددترین مسیر جهان پیشی گرفت اما در سال ۲۰۲۰ و با ظهور بیماری فراگیر کووید-۱۹ در مسیر شرقی، این روند به طرز چشمگیری تغییر کرد و وضعیت آن را متزلزل کرد. در بخش کارکرد زیست‌محیطی نیز، جهت ارزیابی گازهای گلخانه‌ای به بررسی میزان گازهای در اکسید کربن، مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق پرداخته شد که طبق نتایج به دست آمده دی‌اکسید کربن ۱۷ درصد، مونواکسید کربن ۵۰ درصد، دی‌اکسید نیتروژن ۳٦ درصد و ذرات معلق ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به قبل از شیوع ویروس کرونا کاهش داشته است و در بخش کاهش آلودگی هوا، بیرون نیامدن شهروندان از خانه‌ها و استفاده نکردن از خودروها باعث کم شدن آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی شده است؛ به‌طوری‌که سطح دی‌اکسید نیتروژن شهرهای بزرگ هند مانند احمدآباد، بمبئی و پونا در زمان ممنوعیت‌ها بین ٤۰ تا ۵۰ درصد کاهش داشته است و همچنین طبق آمارهای منتشر شده بیشترین کاهش در دوره اول قرنطینه در جنوب اروپا و به‌ویژه اسپانیا، ایتالیا و فرانسه به میزان ٤۰-۵۰٪ مشاهده شده است؛ و درنهایت طبق بررسی‌های صورت گرفته، تمامی فرضیات تحقیق مبنی بر: کاهش کارکرد ارتباطی و اقتصادی مرزها و تقویت کارکرد ملت‌سازی، مانعی و زیست‌محیطی مرزها مورد تائید قرار گرفت.




**شکل ٦-کرونا ویروس و کارکردهای اکتسابی مرزها**

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی دانشگاه فردوسی مشهد به شماره ٥٥٧٤٦ سال ١٤٠٠ می‌باشد.

## کتابنامه

- افشردی، محمدحسین؛ جان‌پرور، محسن؛ ۱۳۹۲. *الگوی مدیریت مرزهای سرزمینی (مورد پژوهشی: مرزهای دریایی ایران در خلیج فارس)*. تهران: انتشارات دانشگاه عالی.

- اشرفی ریزی، حسن؛ کاظم پور، زهرا؛ ۱۳۹۹. تبیین بحران کرونا ویروس (کووید ۱۹) براساس نظریه ضـداطلاعات. *مدیریت سلامت*. دوره ۲۳. شماره ۱. https://www.doi.org/10.29252/jha.23.1.9
- السان، مصطفی؛ ۱۳۹۹. مسئولیت مدنی دولت در قبال بیماری‌های واگیر (بررسـی مـوردی کووید ۱۹). *ویـژه نامـه حقوق و کرونا*. دوره ۲۳. صص ۲۱۵ الی ۲٤۳. https://doi.org/10.22034/jlr.2020.185075.1642
- بهرامی جاف، ساجد؛ صالح آبادی، ریحانه (۱۳۹۹. بررسی تأثیرات کرونا بر امنیت شهرهای مـرزی: نمونـه مـوردی: شهر پاوه. *فصلنامه آمایش سیاسی فضا*- دوره ۲ – شماره ۲.
https://psp.modares.ac.ir/article-42-50624-fa.html
- بیگ زاده، ابراهیم؛ محمودی، سیدهادی؛ لطیفیان، محمدحسین؛ قاری سیدفاطمی، سیدمحمد؛ ۱۳۹۹. معضل کرونا در آیینه حقوق بین‌الملل معاصر. *ویژه نامه حقوق و کرونا*. دوره ۲۳. صص ۵۷-۱۱.
https://doi.org/10.22034/jlr.2020.185072.1639
- پورپیوندی، آلاله؛ موگویی، رکسانا و حجازی، رخشاد؛ ۱۳۹۹. اپیدمی کرونا و بررسـی اثـرات آن بـر محیطزیسـت. یازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیطزیست. دوره ۱۱. صص ۱۵-۱.
https://ntb.iau.ir/faculty/mogouei/fa/articlesInConferences/390
- جان پرور، محسن؛ ۱۳۹٦. *نگرشی نو به مطالعات مـرزی (مفـاهیم، اصـول و نظریـه‌ها)*. تهـران: انتشـارات انجمـن ژئوپلیتیک ایران.
- جان پرور، محسن؛ ۱۳۹۱. *تبیین الگوی مدیریت مرزهای دریایی مورد خلـیج فـارس*. رسـاله دکتـری بـه راهنمـایی محمدحسین افشردی. تهران. دانشگاه تربیت مدرس.
- حافظ‌نیا، محمدرضا؛ جان‌پرور، محسن؛ ۱۳۹۲. *مرزها و جهانی‌شدن*، تهران: انتشارات پژوهشکده مطالعات راهبردی.
- حافظ‌نیا، محمدرضا؛ احمدی، ابراهیم؛ ۱٤۰۱. بحران کرونـا و نقـش یـابی مرزهـا در عصـر پساوسـتفالیایی دولـت. *فصلنامه روابط خارجی*. دوره ۱٤. شماره ۲. https://frqjournal.csr.ir/article_160971.html
- حسن پور، محمود، شاهی، طاهره؛ ارژنگ مهر، داوود؛ ۱۳۹۹. الگوی مدیریت بحران برای بخش عرضه گردشگری ایران، نمونه موردی: بحران شیوع ویروس کووید-۱۹. *فصلنامه مدیریت گردشگری ویژه نامه همه‌گیری کووید ۱۹*. صص ۵۹-۸۹. https://www.sid.ir/paper/379873
- درایسدل، آلاسدایر؛ جرالد اچ بلیک؛ ۱۳۷۳. *جغرافیای سیاسی خاورمیانه و شمال آفریقا*. ترجمه دره میرحیدر. تهران: انتشارات وزارت امور خارجه.
- رجبی، فاطمه و طاهرپور، جواد و میرزائی، حجت الله، سـهیلی، حبیـب؛ ۱٤۰۰. اثـر همـه‌گیری ویـروس کرونـا بـر بخش‌های اقتصاد ایران. فصلنامه بررسی مسائل اقتصاد ایران. *پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی*. سال ۸ . شماره ۲. صص ۱٦۱-۱۸۷. https://www.doi.org/10.30465/ce.2021.6982
- رضوانی، محمدرضا؛ ۱۳۸۰. نگرشی بر نظام برنامه ریزی توسعه روستایی. *نشریه پژوهشـهای جغرافیـایی*. دوره ۳۳. شماره ٤۱. صص ۳۸- ۲۵. https://ensani.ir/fa/article/45380
- رومی، فرشاد و کاظمی، احسان؛ ۱۳۹۹. کرونا ویروس، متغیری نوین در تحلیل کلان تحولات سیاسی و بین‌المللـی. *فصلنامه پژوهش‌های راهبردی سیاست*، دوره ۹، شماره ۳۳. صص ۸۹-٦۳.

https://www.doi.org/10.22054/qpss.2020.52134.2530
- رئیسی، احمد و همکاران؛ ۱۳۹۱. *راهنمای جامع نظام مراقبت بیماری‌های واگیر برای پزشک خانواده*، انتشارات اندیشمند، تهران.
- زرقانی، هادی؛ ۱۳۸٦. *مقدمه‌ای بر شناخت مرزهای بین‌المللی*. تهران: انتشارات دانشگاه علوم انتظامی ناجا.
- شهرام نیا، امیرمسعود؛ ۱۳۹۲. تعامل و تقابل ملی‌گرایی و اسلام گرایی در ایران پس از پیروزی انقلاب اسلامی. *فصلنامه پژوهش‌های راهبردی سیاست*. دوره ۲ شماره ۵. صص ۲۱۷-۱۹۷.
https://www.magiran.com/paper/1250854
- شهرزادی، لیلا و شعبانی، احمد و امینی رارانی، مصطفی؛ ۱٤۰۰. سیاست گذاری مبتنی بر نظریه آشوب در پاندمی کووید ۱۹. *نشریه مدیریت اطلاعات سلامت*، دوره ۱۸، شماره ۲، صص ۸۹- ۹۱.
https://doi.org/10.22122/him.v18i2.4332
- صفایی و همکاران؛ ۱۳۹۹. تحلیل مدل دینامیکی تأثیر شیوع کووید-۱۹ بر واردات و نیروی کار در ایران. *مجله کنترل. ویژه نامه کووید ۱۹*. جلد ۱٤. شماره ۵. صص ۱۲۰-۱۰۷
http://joc.kntu.ac.ir/article-1-824-en.html
- علی اکبری، عطیه؛ تقوایی، مسعود؛ ۱۳۹۹. نظر شهروندان نسبت به وضعیت فستفود و عوامل مؤثر بر توسعه آن (موردمطالعه: شهروندان اصفهان). *نشریه مطالعات اجتماعی گردشگری*. دوره ۸ . شماره ۱۵. صص ۲۷٦-۲٤۹.
http://www.journalitor.ir/Article/35883/FullText
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۹. اخلاق محیطی و بیماری کرونا. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، سال ۷، شماره ٤. صص ۱-۲۰.
https://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.7.4.28.1
- غریب‌پور، منصور؛ ۱۳۹۹. تبیین فقهی مسئولیت دولت در رویارویی با بیماری کرونا. *مجله فقه پزشکی*. دوره ۱۲. شماره ٤۲. صص ۲۰-۱.
https://doi.org/10.22037/mfj.v12i4232630
- قربان‌زاده، داوود؛ عابدی، احسان؛ ۱۳۹۹. بررسی نقش دلبستگی ایمن در پیش‌بینی نیات تجربی گردشگران در سفر به مقاصد گردشگری در دوران شیوع ویروس کووید-۱۹. *فصلنامه مدیریت گردشگری ویژه نامه همه‌گیری کووید ۱۹*. صص ۱٤۵-۱۷۷.
https://tms.atu.ac.ir/article_11955.html
- کساوندی، آرزو؛ امیرانی، مهسا؛ ۱٤۰۰. مروری بر کووید ۱۹ و پیامدهای ظهور آن. *مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی مولکولی*. دوره ۱۱ شماره ٤۲. صص ۱۲۵-۱۱۱.
http://ncmbjpiau.ir/article-1-1359-fa.html
- مسائلی، ارشک؛ رضائی، ناصر؛ باسخا، مهدی؛ درفشی، خه بات؛ ۱٤۰۰. اثرات همه‌گیری کرونا بر اشتغال نیروی کار در صنایع مرتبط با گردشگری ایران. *فصلنامه مطالعات گردشگری*. دوره ۱٦. شماره ۵٦. ص ص ۳۰۸-۲۷۹.
https://tms.atu.ac.ir/article_13487.html
- ملکیان، منصوره؛ ۱۳۹۹. فرصت‌ها و تهدیدهای ویروس کرونا برای محیط‌زیست. *فصلنامه رهیافت*. شماره ۷۹. صص ۷٦-٦۳.
https://rahyaft.nrisp.ac.ir/article_13859.html
- منتی، حسین؛ ۱۳۹۹. بررسی اثرات ویروس کرونا-کووید ۱۹ بر اقتصاد جهانی. *فصلنامه ارزیابی تأثیرات اجتماعی*. شماره دوم. ویژه نامه پیامدهای شیوع ویروس کرونا-کووید ۱۹. صص ۱۸۱-۱٦۳.
https://www.magiran.com/paper/2126045

- میرتقیان رودسری، سیدمحمد؛ فرخیان، فیروزه؛ نقویان، مریم؛ ۱۳۹۹. بررسی رفتار جامعه میزبان نسبت به گردشگران در دوران شیوع کووید ۱۹. *نشریه مطالعات مدیریت گردشگری*. دوره ۱۵. صص ۱۱۵- ۱٤۳.
https://doi.org/10.22054/tms.2020.52929.2332

- Argus., 2020. Argus White Paper: The Coronavirus Impact; https://www.argusmedia.com/-/media/Files/white-papers/argus-whitepaper-coronavirus.ashx.
- Chang, C.-L., McAleer, M., & Ramos, V., 2020. A charter for sustainable tourism after COVID-19: Multidisciplinary Digital PublishingInstitute.
- Chebli, A. A., 2020. The impact of Covis19 on tourist consumption behaviour: a perspective article Journal of Tourism Management Research, 7(2), 196-207. https://doi.org/10.18488/journal.31.2020.72.196.207.
- Dikshit, R.D., 1995. Political Geography the Discipline and Its Dimension. Tata McGraw – Hill publishing Company Limited.
- Flight Radar 24, Airlines data: Retrived 31 March 2020.from http://www.flightradar24.com/data/airlines.
- http://www.Statisa.com/topics/6139/covid-19-impact-on-the-global-economy.
https://www.iom.int.
- Huang, C., Wang & Others., 2020. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. Lancet 395, 497–506. https://doi.org/10.3390/su12093671.
- MacDonald M, Piazza R, Sher, G., 2020. A Simple Guide to Estimating the Impact of COVID-19 on Travel and Hospitality Activity", International Monetary Fund (IMF), Special series on COVID-19. https://doi.org/10.3390/su12093671.
- Macfarlane N., 2008. The Three Asias: Are They a New Region?; in: World History Archives.
- Newman D and Paasi A., 1998. Fences and neighbours in the postmodern world: boundary narratives in political geography. Progress in Human Geography 22,186-207.
- Porta M., 2008. A Dictionary of Epidemiology, Fifth Edition. Oxford University Press, Inc., New York (Telephone: 212-726-6000, Website: http://www.oup.com/us/), 320 pp. https://doi.org/10.1093/aje/kwp322.
- Sonnichsen N., 2020. Expected quarterly global oil demand volume following Covid-19 for 2020, http://www.statista.com/statistics/332201/global- oil-demand-outlook-following-covid-19/.
- Sonnichsen N., 2020. Weekly crude oil prices for Brent, OPEC basket, and WTI 2019-2020, http://www.statista.com/statistics/326017/weekly-crude-oil-prices/.

Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.317-338 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.76706.1227 Open access

# The Morphodynamics of Sand Dunes and Wind Patterns (Case Study: New and Young Arg in Southeast of Qom)

**Naser Mashhadi**[a*]

[a] *Assistant Professor in Geomorphology (Wind Erosion), University of Tehran, Tehra, Iran*

***Received: 15 May 2022*** ***Revised: 28 June 2022*** ***Accepted: 11 July 2022***

## Abstract

The study of dunes morphology provides a valuable tool for investigating wind systems and the identification of sand sources (removal region). The wind direction is the primary factor controlling the dune shape and elongation. In deserts jubject to wind from different directions and with comparable magnitude, dunes are formed having different morphologies. The sand dunes are either perpendicular or parallel to the wind direction. The purpose of this study was to analyze the morphology of sand dunes under bimodal winds using conventional models. Observations showed that the linear (seif) dunes formation are due to the elongation of a barchan horn. These dunes are created by a bimodal wind regime with a strong peak from the result of northwest and west winds and a weaker peak from the east winds with a divergence angle of 135°. Sinuous crest lines of seif dune grow directly by west and east winds. The study showed that the evolution trend of the sand dunes of the region, under the strong northwest wind, first shield dune transforms into a dihedral barchans. At this stage, wind erosion on the back of the sand pile (shield dune) leads to the formation of a crest perpendicular to the wind direction and then to the formation of a slip face downwind. According to the effect of the magnitude and change of direction in the Westerly and Easterly winds, the western wing of barchan begins to extend and turns into a dentate seif dune.

**Keywords:** Erg, pre-Barchanic, Sand dunes, seif dune, Shield dune.

*. Email: nmashhad@ut.ac.ir Tel:+989122979442

**How to cite this Article:** Mashhadi, N. (2024). The Morphodynamics of Sand Dunes and Wind Patterns (Case Study: New and Young Arg in Southeast of Qom). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 317-338.

**DOI: 10.22067/geoeh.2022.76706.1227**

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 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76706.1227
**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۳۳۸-۳۱۷**

مقاله پژوهشی

# مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد
# (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم)

**ناصر مشهدی[1] -دکتری آبخیزداری، استادیار، دپارتمان علوم زمین، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۲۰**

**چکیده**

مطالعه مورفولوژی تپه‌ها، ابزار ارزشمندی را در بررسی سیستم‌های بادی و در نتیجه شناسایی قطاع منابع ماسه فراهم می‌کند. جهت باد عامل اصلی کنترل شکل و کشیدگی تپه است. در بیابان‌های در معرض باد از جهت‌های مختلف و با اندازه‌های قابل‌مقایسه، تپه‌ها با مرفولوژی متفاوت شکل می‌گیرند. این تپه‌ها یا عمود یا موازی با جهت باد هستند. هدف این مقاله، تجزیه‌وتحلیل مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای تحت بادهای دوجهته با استفاده از مدل‌های مرسوم است. مشاهدات نشان داد که شکل‌گیری تپه‌های خطی (سیف)، حاصل کشیدگی یک بازوی بارخان است. به‌طوری که، این تپه‌ها توسط یک رژیم بادی دومدال با یک پیک قوی از برآیند بادهای شمال غربی و غرب و یک پیک ضعیف‌تر از بادهای شرقی با زاویه واگرائی ۱۳۵ درجه ایجاد می‌شوند. خطوط تاج سینوسی تپه سیف توسط بادهای شرقی و غربی رشد می‌کنند. مطالعات همچنین نشان داد که روند تکامل تپه ماسه‌ای منطقه، تحت باد قوی شمال غرب ابتدا تپه سپر تشکیل و سپس تبدیل به بارخان دو وجهی (ناقص) می‌شود. در این مرحله، فرسایش باد در پشت تپه سپر، منجر به تشکیل یک تاج عمود بر جهت باد و به همین ترتیب به

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۹۷۹۴۲۲ Email:nmashhad@ut.ac.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

مشهدی، ناصر. (۱۴۰۳). مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۳۳۸-۳۱۷

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76706.1227

شکل‌گیری یک دامنه پرشیب در پائین‌دست باد می‌گردد. با توجه به تأثیر بزرگی و تغییر جهت در بادهای غربی و شرقی، بازوی غربی بارخان شروع به گسترش می‌کند و تبدیل به تپه سیف دندانه‌ای می‌شود.

**کلیدواژه‌ها**: ارگ، پیش بارخانی، تپه‌های ماسه‌ای، تپه سیف، تپه سپر.

**۱- مقدمه**

در اقالیم خشک، باد و منابع ماسه دو عنصر اصلی در شکل‌گیری ناهمواری‌های ماسه‌ای هستند (مشهدی و همکاران، ۲۰۰۷). جهت باد، مسیر و کشیدگی[1] تپه‌های ماسه‌ای را تعیین می‌کند و رژیم‌های باد فرم‌های[2] مختلف تپه‌های ماسه‌ای را به وجود می‌آورند (ژندا[3]، ۱۹۸۹).

فراوانی و تنوع تپه‌های ماسه‌ای در مناطق بیابانی منجر شده که هیچ طبقه‌بندی پذیرفته شده‌ای وجود نداشته باشد که به تمام انواع تپه‌های شناخته شده اشاره کند (تسوار[4] و همکاران، ۲۰۰٤). بر این اساس، طبقه‌بندی مورفودینامیک تپه‌ها در الگوهای مختلف پیشنهاد و ارائه گردیده است. الگوهایی همچون الگوهای رژیم باد و مورفودینامیک تپه ماسه‌ای (منگو[5]، ۱۹۸٤؛ تسوار و همکاران، ۲۰۰٤؛ مک کی[6]، ۱۹۷۹ و لنکستر[7]، ۱۹۸۲). الگوهای قدرت باد، شار ماسه و مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای (روبین[8] و هانتر[9]، ۱۹۸۷؛ روبین و ایکدا[10]، ۱۹۹۰؛ رفعت[11] و همکاران، ۲۰۱۰؛ پارتلی[12] و همکاران، ۲۰۰۹؛ کوک[13] و همکاران، ۱۹۹۳ پای[14] و تسوار، ۲۰۰۸) و الگوی فراوانی، مدت‌زمان وزش باد و مورفودینامیک تپه ماسه‌ای (پارتلی و همکاران، ۲۰۰۹) ارائه شده است.

مطالعات الگوهای رژیم باد و مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای نشان داده که مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای را می‌توان در سه رژیم اصلی باد طبقه‌بندی کرد. (الف) تپه‌های هلالی و زنجیره عرضی، تحت یک باد یک جهته غالب، (ب) تپه‌های خطی، نتیجه باد دو جهته و (ج) تپه‌های ستاره‌ای، زمانی که بادها از سه جهت یا بیشتر می‌وزند (تسوار و همکاران، ۲۰۰٤؛ منگو،۱ ۹۸٤).

1 Alignment
2 Forms
3 Zhenda
4 Tsoar
5 Mainguet
6 McKee
7 Lancaster
8 Rubin
9 Hunter
10 Ikeda
11 Reffet
12 Parteli
13 Cooke
14 Pye

اکثر تپه‌های ماسه‌ای در جهان به‌وسیله بادهایی که بیشتر از یک جهت می‌وزند شکل می‌گیرند. بادهای دو جهته که به‌طور دوره‌ای بین دو جهت اصلی نوسان دارند، متداول‌ترین بادها در بزرگ‌ترین بیابان‌های ماسه‌ای هستند (مک گی، ۱۹۷۹؛ روبین، تسوار و بلومبرگ[۱]، ۲۰۰۸؛ فرایبرگ[۲] و دین[۳]، ۱۹۷۹).

رژیم باد دو جهته، تپه‌هایی با مرفولوژی طولی[۴] (بگنولد[۵]، ۲۰۱۲) و یا خطی و کشیده[۶] (منگو، ۱۹۸٤) را به وجود می‌آورند. تپه‌های خطی ساده[۷] (منگو، ۱۹۸٤) یا سیف[۸] (پارتلی، دیوران[۹]، تسوار، شوامل[۱۰] و هرمان[۱۱]، ۲۰۰۹)، نوع تپه غالب تحت رژیم‌های دوجهته باد هستند. تپه‌های خطی ساده (سیف)، پایه‌ای برای گسترش و تکامل تپه‌های خطی مرکب[۱۲] همانند سیلک[۱۳] می‌باشند (منگو، ۱۹۸٤).

مطالعات الگوی قدرت باد، شار ماسه و مورفودینامیک تپه ماسه‌ای نشان داده، که مورفولوژی تپه ماسه‌ای رابطه تنگاتنگی با قدرت و زاویه بین دو باد غالب یا فرساینده دارد. هنگامی‌که مقدار و بزرگی هر دو باد قابل‌مقایسه و توجه باشند، روند تپه‌ها تنها، به زاویه بین دو جهت شار ماسه بستگی دارد (روبین و هانتر، ۱۹۸۷؛ روبین و ایکدا، ۱۹۹۰). در این الگو، تپه‌های ماسه‌ای عرضی، مایل و طولی شکل می‌گیرند. این تغییر مرفولوژی تنها توسط دو پارامتر زاویه بین دو باد و نسبت ماسه حمل شده در دو جهت ایجاد می‌شوند (روبین و هانتر، ۱۹۸۷؛ روبین و ایکدا، ۱۹۹۰). تپه‌هایی با یک روند مایل وقتی مشاهده می‌شوند که حمل رسوب در یک جهت بر جهت‌های دیگر غالب شود (روبین و هانتر، ۱۹۸۷؛ روبین و ایکدا، ۱۹۹۰؛ ورنر[۱۴] و کوکورک[۱۵]، ۱۹۹۷؛ کوکورک و اوینگ[۱۶]، ۲۰۰۵).

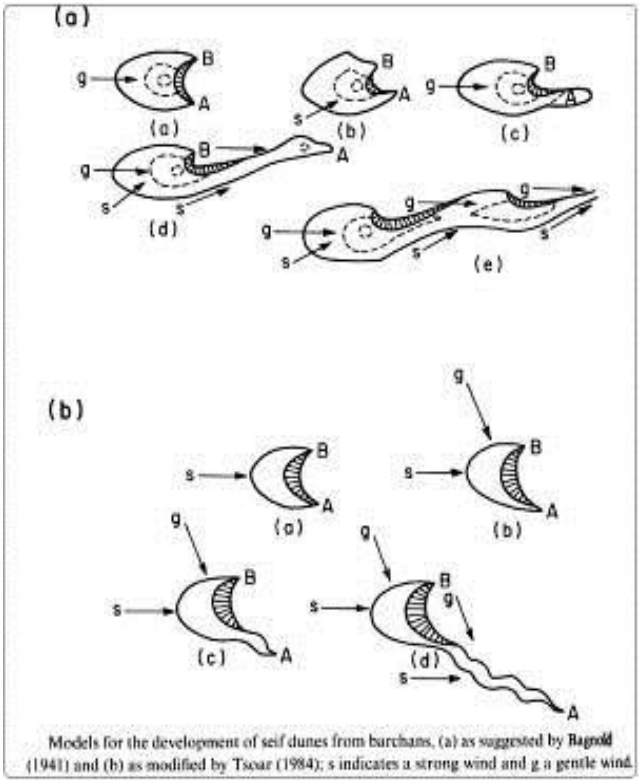
روند کشیدگی تپه‌های ماسه‌ای خطی بستگی به شرایط محلی قابلیت دسترسی به ماسه[۱۷] و قدرت و جهت باد دارد (بگنولد، ۲۰۱۲؛ کوک و همکاران، ۱۹۹۳؛ پای و تسوار، ۲۰۰۸؛ رفعت و همکاران، ۲۰۱۰).

یک مدل پیشنهادی، برای تشکیل تپه‌های خطی ساده یا سیف، تکامل بارخان است (بگنولد، ۱۹٤۱؛ تسوار، ۱۹۸٤). بدین‌صورت که یکی از بازوهای بارخان، به علت تغییرات در جهت باد کشیده می‌شود. در

1 Blumberg
2 Fryberger
3 Dean
4 Longitudinal
5 Bagnold
6 Linear and Elongate
7 Simple linear dunes
8 Seif
9 Durán
10 Schwämmle
11 Herrmann
12 Complex linear dunes
13 Silk
14 Werner
15 Kocurek
16 Ewing
17 Sand availability

این شرایط، یکی از جهت‌های باد دو جهته، جهت اصلی است، یعنی بادی با تداوم $T_{W1}$ که بارخان را شکل می‌دهد. جهت دیگر باد ثانویه است که با باد اصلی زاویه $\theta_w$ را ایجاد می‌کند و زمان مشخصه آن $T_{w2}$ است (شکل ۱).

تپه‌های ماسه‌ای فعال و جوان موردمطالعه، با مساحت ۲۲۷ هکتار در شمال کاشان و جنوب شرقی قم واقع شده است. مرفولوژی این تپه‌ها خطی بوده و در طول سه دهه اخیر تشکیل شده‌اند. بررسی‌ها و مقایسه تصاویر ماهواره از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ نشان داد که این مجموعه تپه‌های ماسه‌ای در این بازه زمانی تشکیل شده‌اند (**حسنی و همکاران، ۱۳۹٦**). بررسی‌های محلی نیز مؤید تشدید میزان فرسایش بادی و گردوغبار در منطقه است. هدف این مقاله تجزیه‌وتحلیل مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای تحت بادهای دوجهته با استفاده از مدل‌های مرسوم است.




**شکل ۱- مدل‌های توسعه تپه‌های سیف از بارخان، (a) بر اساس طرح پیشنهاد شده بگنولد (۱۹٤۱) و (b) بر اساس طرح اصلاح شده تسوار (۱۹۸٤). s: باد قوی و g: باد ملایم**

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- ویژگی‌های منطقه موردمطالعه

ارگ جدید و جوان منطقه موردمطالعه (شرق آب شیرین) در جنوب شرقی قم و شمال کاشان واقع شده است، که تحت نفوذ تپه‌های ماسه‌ای خطی ساده، با روند شمالی جنوب است. از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض ۳٤ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۳٤ درجه و ۲۲ دقیقه و ٤۲ ثانیه شمالی و در طول ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی قرار دارد (شکل ۲). با توجه به فرم تپه‌ها، جهت‌گیری آن‌ها توسط یک رژیم باد دو جهته کنترل و تابع ویژگی‌های آب و هوایی ایستگاه هواشناسی قم است. با توجه به نمودار آمبروترمیک ایستگاه هواشناسی قم، بیشترین شدت خشکی در تیر ماه و دوره خشک از فروردین شروع و تا آبان ماه ادامه دارد. دوره مرطوب از آذر شروع و تا حداکثر اسفند ادامه پیدا می‌کند. با این وصف، منطقه بیشتر تحت تأثیر دوره خشک قرار دارد و بادهای شدید نیز بیشتر در دوره خشک می‌وزند (حسنی و همکاران، ۱۳۹٦).

**شکل ۲- منطقه موردمطالعه**

به‌منظور مطالعه و تجزیه‌وتحلیل مورفولوژی تپه‌ها، از روش تفسیر چشمی بر روی تصاویر نرم‌افزار Google Earth استفاده شد (قربانی و پاکروان، ۲۰۱۳). در روش مطالعه علاوه بر تصاویر نرم‌افزار گوگل

ارث، به‌صورت تکمیلی از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سال ۱۹۵۷ نیز استفاده گردید. این مجموعه داده‌ها با نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک قم تکمیل گردید.

با توجه به اینکه ارتفاع تپه‌ها از چند متر تجاوز نمی‌کند و همچنین برای برداشت‌های صحرایی و مطالعه توپوگرافی در محل، بازدید میدانی نیز صورت گرفت. سپس مرفولوژی تپه‌ها در قالب مدل‌ها و الگوهای ارائه شده، طبقه‌بندی گردیدند. مورفودینامیک این تپه‌ها، ابتدا به‌تنهایی، بر اساس الگوهای رژیم، فراوانی و قدرت باد، شار ماسه و بعد به‌صورت ترکیبی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- آنالیز باد

به‌منظور شناسایی ویژگی‌های باد در رابطه با شکل‌گیری مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای سه موضوع گل‌باد، گل‌توفان و گل‌ماسه موردبررسی قرار گرفتند. از طرفی بررسی‌های مرفولوژی تپه‌ها نشان داد که داده‌های بادسنجی ایستگاه قم بیشترین تأثیر را بر ایجاد و گسترش تپه‌ها داشته‌اند، بنابراین داده‌های این ایستگاه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

**- گلباد**

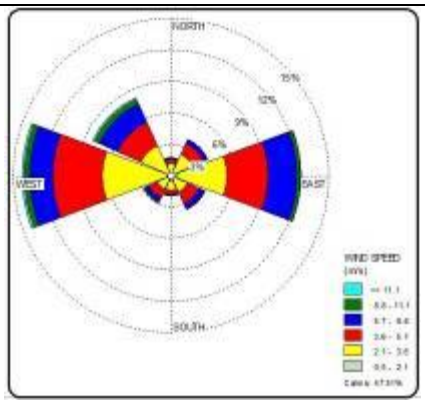
به‌منظور بررسی بادهای غالب یا بادهای با بیشترین فراوانی منطقه، از داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک قم در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳٦۹، برای رسم گل‌باد سالانه استفاده گردید (شکل ۳).

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که در ٤۷ درصد از توزیع فراوانی بادها، هوا آرام است و نیز وزش بادها از سمت غرب و سپس از سمت شرق بیشترین فراوانی را دارند. بر اساس نمودار گل‌باد، بادهای با سرعت ۳/٦-۵/۷ متر بر ثانیه بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند (حسنی و همکاران، ۱۳۹٦).

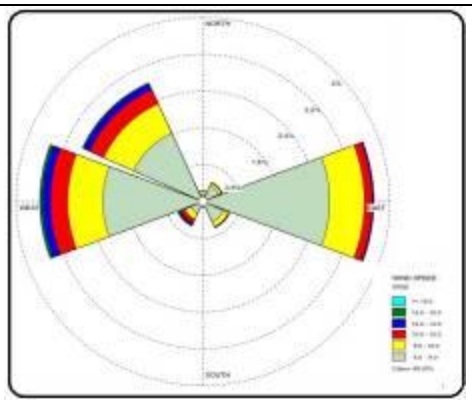
**- گل‌توفان**

بر اساس بادهای با سرعت‌های بیشتر از ٦/۵ متر بر ثانیه (بادهای فرساینده)، گل‌توفان سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳٦۹-۱۳۹۵، ترسیم گردید (شکل ٤).

با توجه به گل‌توفان سالانه ایستگاه قم، مشاهده می‌شود که وزش بادهای فرساینده غرب و شمال‌غرب با فراوانی و سرعت بیشتر از بادهای سمت شرق هستند. با توجه به همین نمودار، بادهای ٦/۵-۸ و ۸-۱۰ متر بر ثانیه، بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند (حسنی و همکاران، ۱۳۹٦).




**شکل ۳- گل‌باد سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۵**



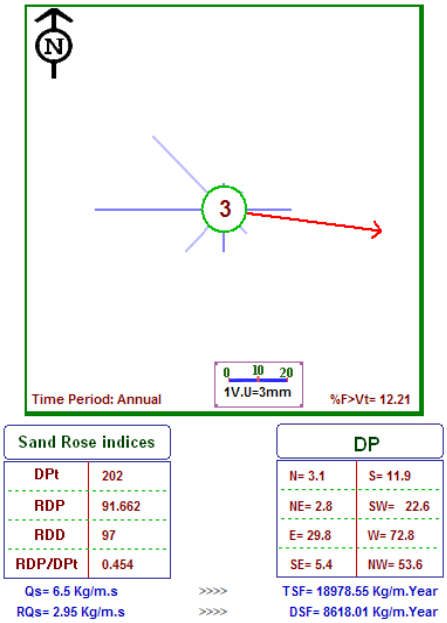
**شکل ٤- گل‌توفان سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳٦۹**

**- گل‌ماسه**

به‌منظور محاسبه‌ی مقدار و جهت نهایی حرکت ماسه و نیز تعیین دبی حمل ماسه، گل‌ماسه سالانه ایستگاه قم موردمطالعه و ترسیم گردید (شکل ۵).

همان‌گونه که گل‌ماسه سالانه ایستگاه قم نشان می‌دهد، جهت نهایی حمل ماسه، به سمت شرق و کمی متمایل به جنوب است و توان حمل ماسه، سالیانه ۲۰۲ واحد برداری است که بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) توان‌فرسایشی باد، متوسط است. مجموع ماسه جابه‌جاشده در واحد عرض در طول یک سال TSF[1]، برابر ۱۸/۹۸ تن و دبی جریان ماسه DSF[2]، برابر ۸/٦۱ تن بر متر در سال است. با توجه به شاخص UDI[3] محاسبه شده در قم که برابر ۰/٤٥٤ است، می‌توان نتیجه گرفت که قم دارای بادهای دو جهته است که زمینه را برای ایجاد انواع تپه‌ها خطی فراهم می‌کند (توکلی فرد و همکاران، ۱۳۹۱).

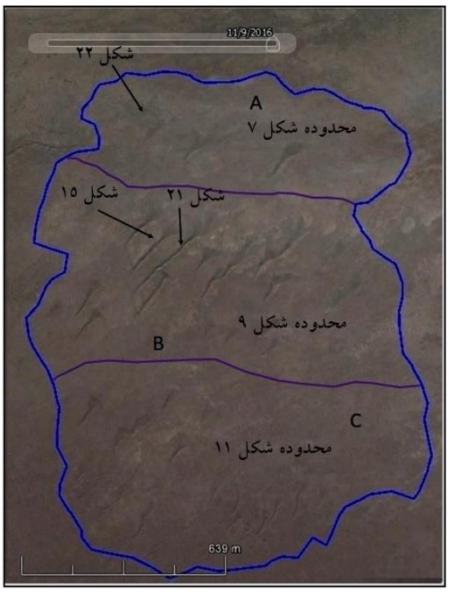
1 Total Sand Flux
2 Discharge Sand Flow
3 Uni Directional Index




**شکل ٥- گلماسه‌ی سالانه ایستگاه سینوپتیک قم در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳٦۹**

### ۳-۲- مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای ارگ

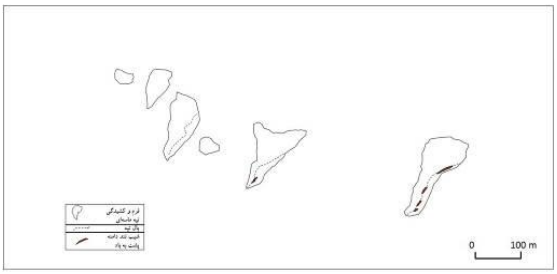
ازآنجاکه این تپه‌های ماسه‌ای طی سال‌های اخیر به وجود آمده‌اند، معمولاً تپه‌های جوان بوده بنابراین فعال می‌باشند. طبق شواهد موجود، این تپه‌ها در طی دهه‌های اخیر گسترش داشته و وسعت آن‌ها در طی این مدت به ۲۲۷ هکتار رسیده است. مطالعه تپه‌های ارگ، سه منطقه کاملاً مشخص را نشان داد (شکل ٦).




**شکل ٦- مناطق تفکیک شده در ارگ با مرفولوژی متفاوت و محل تپه‌های تفسیر شده در متن**

– منطقه شمال ارگ (A)، منطقه بالادست باد (upwind)، شامل تپه‌های اولیه و جوان ازجمله سپر، سپر بارخانی، بارخان نامتقارن دو وجهی و ترکیب سیف – بارخان نامتقارن خطی می‌شود (شکل‌های ۷ و ۸).

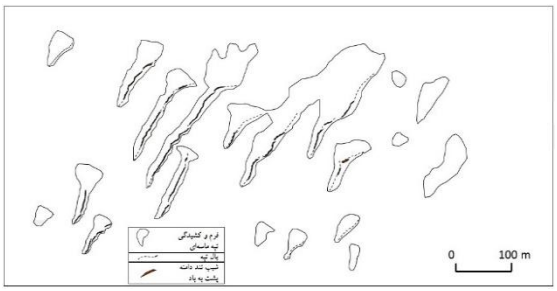
**شکل ۷– مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش شمالی ارگ در تصویر ماهواره**




**شکل ۸– الگوی مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش شمالی ارگ**

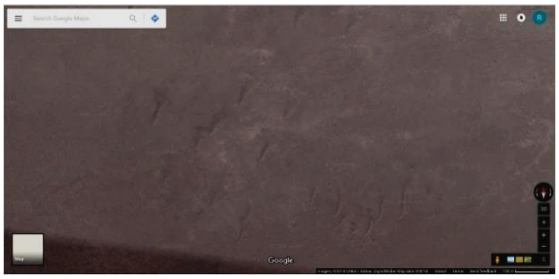
– منطقه میانی ارگ (B)، که بیشتر شامل تپه‌های تکامل یافته خطی با ابعاد بزرگ‌تر از نظر طول، عرض و ارتفاع و در نتیجه حجم بزرگ‌تر می‌گردد. اثرات شکل‌دهی سه جهت باد در این تپه‌ها مشهودتر است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

**شکل ۹– مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش میانی ارگ در تصاویر ماهواره**

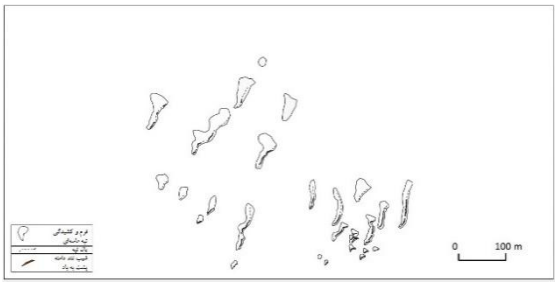



**شکل ۱۰– کروکی مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش میانی ارگ**

– منطقه جنوبی ارگ (C)، منطقه پائین‌دست باد (downwind)، که شامل انواع تپه‌ها بارخان و تپه‌های خطی ساده کمی تحول‌یافته (سیف) با اندازه‌های بسیار کوچک‌تر از تپه‌های خطی شمالی و میانی هستند (شکل ۱۱ و ۱۲). مشاهدات صحرایی نشان داد که مرفولوژی تپه‌ها در این منطقه بیشتر تحت تأثیر بادهای قوی‌تر با تداوم بیشتر یعنی بادهای شمال‌غرب شکل می‌گیرند.

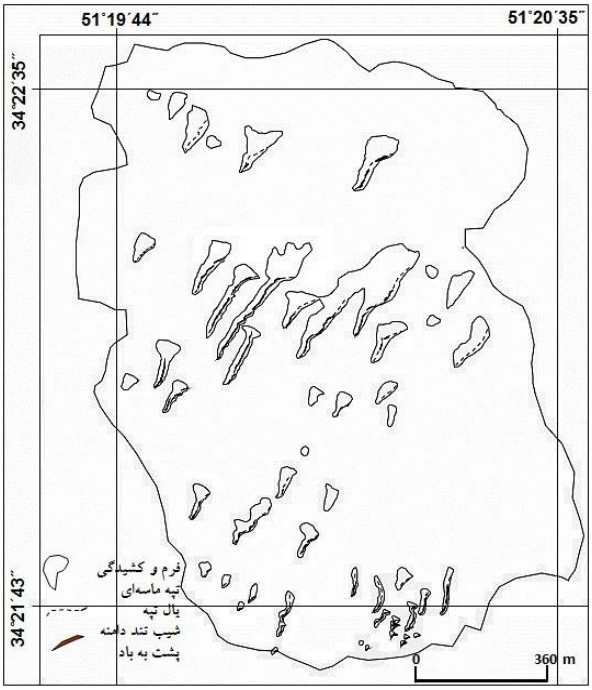


**شکل ۱۱- مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش جنوبی ارگ در تصاویر ماهواره**




**شکل ۱۲- کروکی مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای بخش جنوبی ارگ**

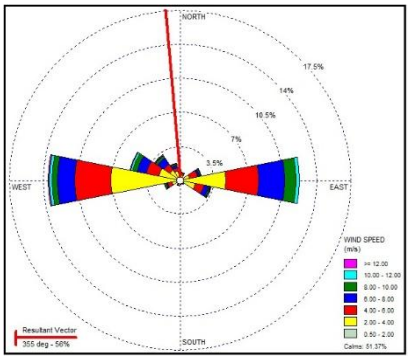
تکامل تپه‌های ماسه‌ای بر اساس مشاهدات صحرایی و تفسیر تصاویر ماهواره نشان داد که دو سیستم تکاملی برای تپه‌های خطی منطقه قابل‌تشخیص است. یکی شکل‌گیری تپه‌های خطی از تپه سپر به سپر بارخانی و سپس به بارخان نامتقارن و نهایتاً به تپه خطی ساده یا سیف (شکل ۷ و ۸)، و دیگری سیستم تکاملی تپه سپر به تپه دوکی شکل گوه‌ای (wedge) و سپس به تپه خطی ساده یا سیف (شکل ۱۱ و ۱۲). سیستم تکاملی اول در بالا دست باد جایی که قدرت باد زیاد است و سیستم تکاملی دوم در پائین‌دست باد جایی که قدرت باد کاسته می‌شود، رخ می‌دهد. شکل ۱۳ کروکی پیوستگی انواع تپه‌های ماسه‌ای را در ارگ نشان می‌دهد.



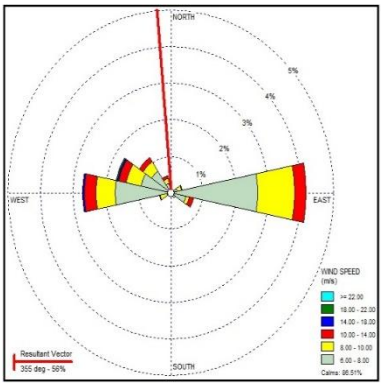

**شکل ۱۳- کروکی پیوستگی مرفولوژی و تکامل تپه‌های ماسه‌ای ارگ بر اساس شکل ٦**

### ۳-۳- الگوهای باد و شار ماسه

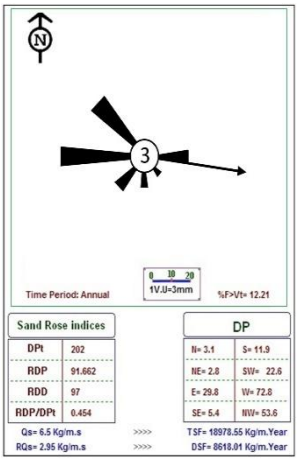
شکل ١٦ نشانگر گل‌باد، گل‌توفان و گلماسه در ایستگاه قم برای یک دوره زمانی بیست‌وشش‌ساله از ١٣٦٩ تا ١٣٩٥ است. گل‌باد، گل‌توفان و گلماسه پراکندگی زاویه‌ای جریان هوا و انتقال رسوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ١٤ نشان داده شده است، یک رژیم باد دو جهته واضح در هر دو شکل گل‌باد و گل‌توفان با یک پیک اول در جهت غرب و شمالغرب با سرعت‌های بالا و فراوانی کمتر و یک پیک دوم در جهت شرق با سرعت پایین‌تر و فراوانی بیشتر وجود دارد. جهت بادهای متفاوت در ارتباط با تغییرات فصلی منطقه است (حسنی و همکاران، ١٣٩٦).




گل‌باد (یاد با فراوانی زیاد-باد چیره)




گل‌توفان (باد فرساینده)




گل‌ماسه (شار ماسه)

**شکل ١٤- رژیم باد در ایستگاه قم برای یک دوره زمانی بیست‌وشش‌ساله از ١٣٦٩ تا ١٣٩٥. باد غالب و باد فرساینده به‌طورکلی دارای جهت یکسان هستند و شار ماسه، از تغییرات باد فرساینده یعنی گل‌توفان پیروی می‌کند.**

### ۳-٤- الگوهای رژیم باد و فرم تپه ماسه‌ای

**- تئوری تکامل زمانی و گسترش تپه سپر تحت رژیم‌های باد جهته**

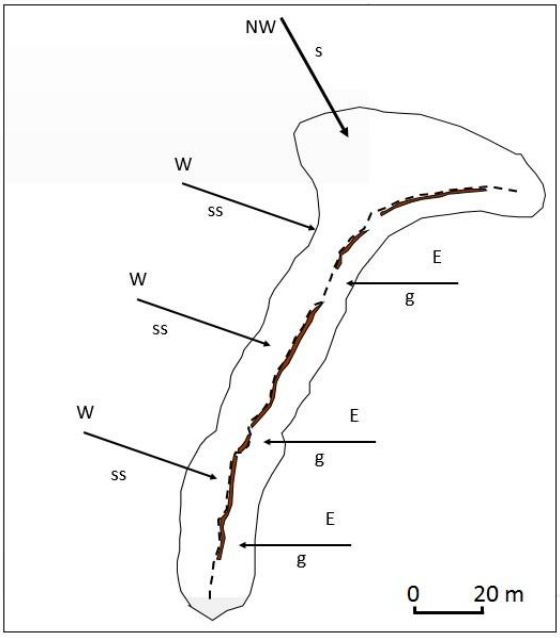
بادهای دو جهته، بادهایی که به‌طور دوره‌ای بین دو جهت اصلی نوسان دارند، و زمانی نامتقارن هستند که نرخ انتقال هر دو جهت باد برابر نباشد (بگنولد، ١٩٤١؛ تسوار، ١٩٨٤).

اولین مدل مفهومی این تئوری توسط باگنولد (١٩٤١) بوده است. بر اساس این مدل، در یک بارخان متقارن حاصل از سپر بارخانی، و ایجاد شده توسط باد ملایم (g)، اگر باد طوفانی (قوی =s) از جهت ثانویه بورزد، نامتقارن می‌شود و یک زاویه واگرایی حاد با باد اصلی ایجاد می‌کند. بخشی از تپه که در معرض باد

طوفانی قرار می‌گیرد، در طرف مقابل، کشیده می‌شود، بنابراین به یک تپه سیف طولی تبدیل می‌گردد (شکل ۱).

مدل متفاوتی بعداً توسط تسوار (۱۹۸٤) پیشنهاد شد. به این صورت که، یک باد قوی (s) تپه بارخان را شکل داده و یک باد ملایم (g) (نه باد طوفانی) از جهت ثانویه می‌ورزد، و اندامی که کشیده می‌شود، نقطه مقابل باد ملایم ثانویه است (تسوار، ۱۹۸٤) (شکل ۱).

بر پایه این دو تئوری و با توجه به آنالیز باد (شکل ۳ و ٤) و بر اساس مشاهدات صحرایی و مرفولوژی تپه‌ها، می‌توان بیان کرد که الگوی شکل دهنده و تکامل تپه‌های خطی منطقه از تئوری ارائه شده توسط تسوار (۱۹۸٤) پیروی می‌کند، به‌طوری‌که باد قوی شمالغرب باعث تشکیل و شکل‌گیری اولیه بارخان می‌شود و سپس باد ملایم شرقی باعث رشد و کشیدگی بازوی سمت غرب بارخان می‌شود. از این مرحله به بعد دنباله به وجود آمده، تحت تأثیر دو باد غربی و شرقی که دارای زاویه برخورد نزدیک ۱۸۰ درجه هستند به‌صورت تپه رفت و برگشتی (reversing dunes) در آمده و کمی متمایل به جنوب غرب گسترش و تکامل پیدا می‌کنند (شکل ۱۵).

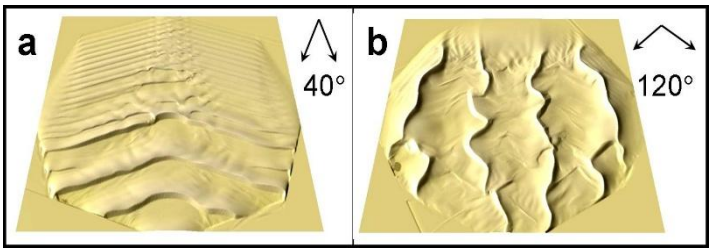


**شکل ۱۵- مدل توسعه تپه سیف از بارخان برای منطقه موردمطالعه، s : باد قوی وss: باد نیمه قوی و g: باد ملایم E: جهت شرق W: جهت غرب و NW: شمال‌غرب**

**- تئوری گسترش تپه خطی با بزرگی و زاویه بین دو باد غالب یا فرساینده**

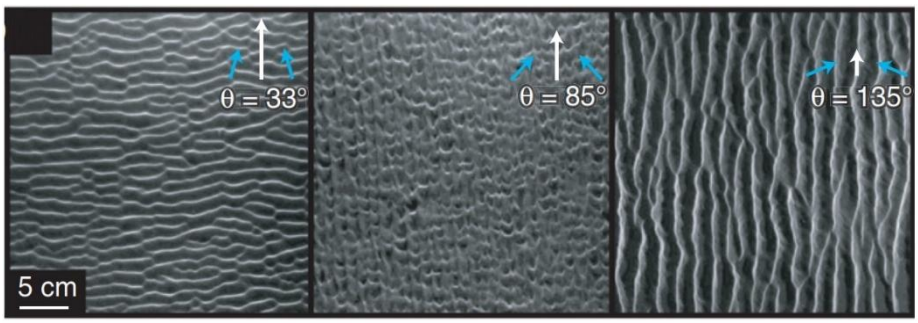
هنگامی که بزرگی هر دو باد قابل‌مقایسه باشند، روند تپه‌ها تنها، به زاویه بین دو جهت حمل بستگی دارد (روبین و هانتر ۱۹۸۷; روبین و ایکدا ۱۹۹۰ و پارتلی و همکاران ۲۰۰۹).

تئوری مرفولوژی تپه‌های خطی سیف با اندازه زاویه بین دو جهت باد را پارتلی و همکاران (۲۰۰۷) به‌صورت آزمایشگاهی، در بستر ماسه‌ای تخت (flat) با استفاده از یک رژیم باد دو جهته انجام دادند. آن‌ها دریافتند که عرصه‌های تپه‌های خطی سیف را می‌توان فقط برای زوایای بزرگ‌تر از ۹۰ درجه مشاهده کرد (شکل ۱۶ b)، و برای زوایای کوچک‌تر از ۹۰ درجه، تپه‌های عرضی با دامنه با شیب کم، در جهت باد، به دست می‌آید (شکل ۱۶ a).



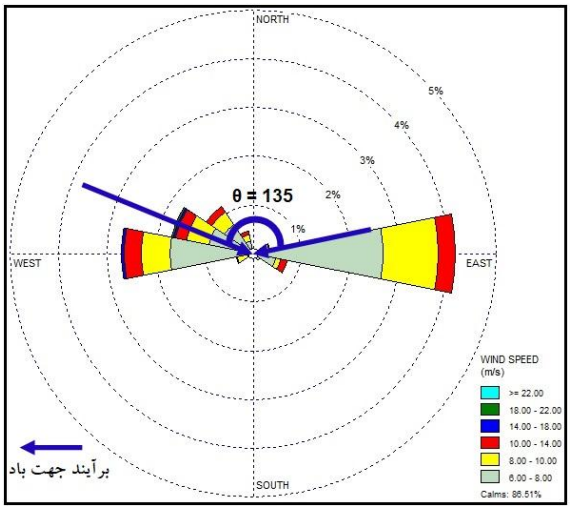

**شکل ۱۶- ظهور تپه‌ها تحت رژیم باد دو جهته**

موضوع بزرگی و زاویه بین دو باد غالب یا فرساینده توسط رفعت و همکاران (۲۰۱۰) نیز به‌صورت آزمایشگاهی و در بستر ماسه‌ای تخت و در محدوده ۰ تا ۱۸۰ درجه انجام گرفته است (شکل ۱۷). آن‌ها دریافتند که تپه‌های عرضی برای $\theta \leq 90$ درجه، درحالی‌که تپه‌های طولی در برای درجه دیده می‌شود.




**شکل ۱۷- رشد تپه‌های آزمایشی در یک بستر ماسه‌ای که توسط وزش دو باد ایجاد شده‌اند. برای θ برابر ۳۳ درجه، شکل تپه‌ها عرضی، برای θ برابر ۱۳۵ درجه شکل تپه‌ها طولی، درحالی‌که برای θ برابر ۸۵ درجه، یک حالت انتقال**

بر اساس تئوری‌های ارائه شده در بالا، مطالعات بر روی تپه‌های ماسه‌ای منطقه صورت گرفت. بر پایه مطالعات گل‌توفان، زاویه ایجاد شده بین برآیند بادهای غربی و شرقی محاسبه گردید، و مرفولوژی تپه‌ها به‌ویژه کشیدگی آن‌ها با زاویه دو جهت باد بررسی شد (شکل ۱۸).




**شکل ۱۸- برآورد زاویه بین برآیند بادهای شرقی و غربی**

همان‌گونه که شکل ۱۸ نشان می‌دهد زاویه بین برآیند بادهای شرقی و غربی حدود ۱۳۵ درجه است.

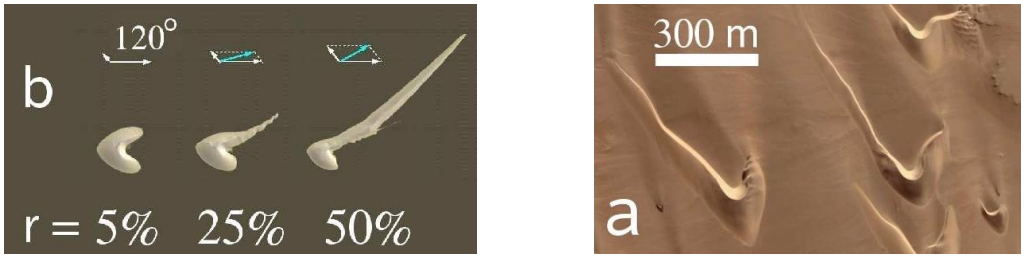
**- تئوری گسترش تپه خطی با نسبت وزش باد در یک جهت به وزش باد در جهت دیگر**

بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌ها نشان داده است که به‌جز زاویه بین دو باد غالب، میزان زمان وزش نیز در تحول شکل تپه‌های خطی نیز مؤثر است. مطالعات پارتلی و همکاران (۲۰۰۹) از شبیه‌سازی تپه‌های خطی نشان داده که هر دو زمان و زاویه در تحول شکل‌گیری تپه‌های خطی مهم است. مشاهدات و شبیه‌سازی شکل‌گیری تپه ماسه‌ای خطی سیف از یک بارخان برای θ w = ۱۲۰ در شکل ۱۹ نشان داده شده است. بر اساس این مطالعات مشخص شده که تکامل تپه ماسه‌ای بستگی به نسبت زمان وزش باد در یک جهت به زمان وزش باد در جهت دیگر دارد (رابطه ۱).

$$r = Tw2 / Tw1 \qquad (۱)$$

(Tw2 زمان وزش باد ثانویه و Tw1 زمان وزش باد اولیه)، همان‌گونه که شکل ۱۹ نشان می‌دهد در $r \leq 5\%$ یعنی نسبت بین زمان‌های وزش دو باد کمتر از ۵ درصد باشد، شکل بارخان تغییر نمی‌کند. زمانی که

این نسبت بیشتر از ۲۵ درصد می‌شود (r>25%)، بازوی بارخان تنها در جهت برآیند کشیده می‌شود. علاوه بر این، اگر این نسبت افزایش یابد، سرعت کشیدگی بازو نیز افزایش می‌یابد.




**شکل ۱۹- a : ظهور تپه‌های سیف از یک بازوی بارخان‌ها در نامیبیا، b : برآورد محاسباتی: شکل تپه متأثر از عملکرد r = Tw2 / Tw1 نسبت بین تداوم جهت باد است.**

مطالعات مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه بر اساس این تئوری و با توجه به گل‌توفان صورت گرفت. بر اساس تجربه و رابطه اریک پارتلی و با توجه به داده‌های میدانی، در این پژوهش، برای فرم‌دهی و کشیدگی تپه‌ها، از نسبت فراوانی وزنی جهت بادها به جای نسبت زمانی استفاده شده است.

**r = Fw2 / Fw1** (۲)

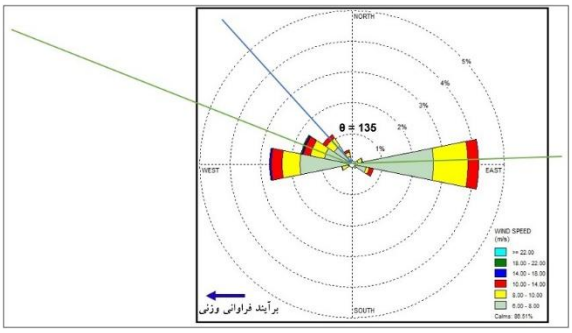
بدین ترتیب، که در آن Fw2 فراوانی وزنی باد ثانویه (شرقی) و Fw1 فراوانی وزنی باد اولیه (شمال‌غربی و غرب) و r نسبت فراوانی وزنی این دو باد است.

این اطلاعات از نرم‌افزار WRplot، منوی Frequency Distribution و داده‌های گل‌توفان فصلی به دست آورده شد. برای مثال: فراوانی باد برای بادهای غربی به‌صورت زیر محاسبه گردیده است.

$$\text{فراوانی وزنی} = \text{فراوانی فصلی وقوع} * \frac{(\text{فراوانی هر طبقه سرعت} * \text{سرعت متوسط هر طبقه سرعت} + \text{فراوانی هر طبقه سرعت} * \text{سرعت متوسط هر طبقه سرعت} + \dots)}{\text{مجموع سرعت متوسط طبقات}} \quad (۳)$$

$$\text{فراوانی وزنی باد غربی} = \frac{(۳)}{٤} * \frac{(٥٠*٧) + (١٧*٩) + (١٠*١٢ + (٢*١٦)}{٤٤} = ١١/٢$$

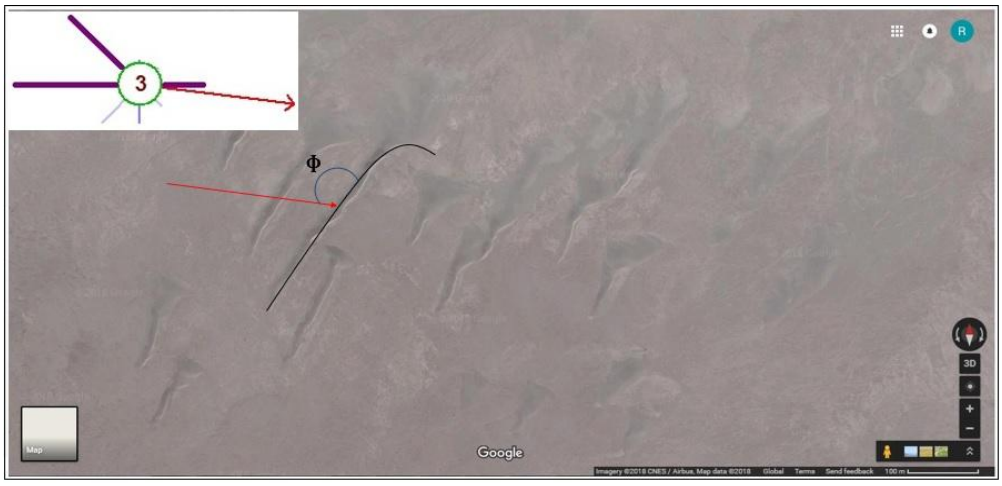
بر اساس رابطه ۳، فراوانی وزنی بادهای شمال‌غرب و غرب ازیک‌طرف و فراوانی وزنی بادهای شمال‌شرق و شرق از طرف دیگر محاسبه گردید و برآیند آن‌ها برای بادهای غربی به‌عنوان باد اولیه برابر ۱۱ و برای بادهای شرقی به‌عنوان باد ثانویه برابر ٤/٧ به دست آمد، بنابراین مقدار r بر اساس رابطه ۲ برابر ۰/٤۲ یا ٤۲ درصد می‌شود که طبق برآورد اریک پارتلی و همکاران (۲۰۰۷)، زمانی که این نسبت بیشتر از ۲۵ درصد می‌شود (r> 0.25)، بازوی بارخان تنها در جهت برآیند دو باد کشیده می‌شود (شکل ۲۰).




**شکل ۲۰- برآورد زاویه بین برآیند فراوانی بادهای شرقی و غربی**

### ۳-۵- الگوهای شار ماسه و فرم تپه ماسه‌ای

هنگامی که باد دارای دو جهت غالب است، علاوه بر الگوهای ارائه شده در بالا، روند شکل‌گیری تپه‌ها، می‌تواند با توجه به زاویه Φ، زاویه بین جهت تاج تپه و جهت برآیند شار ماسه، طبقه‌بندی شود، که معمولاً در Φ بیشتر از ۷۵ درجه تپه‌ها به‌صورت تپه عرضی و در Φ بین ۱۵ تا ۷۵ درجه تپه‌ها مایل و در Φ کمتر از ۱۵ درجه تپه‌ها طولی شناسایی شده‌اند (هانتر و همکاران، ۱۹۸۳). مطالعات نشان داد که زاویه بین جهت تاج تپه و جهت برآیند شار ماسه، در منطقه ۱۳۵ درجه است (شکل ۲۱).




**شکل ۲۱- برآورد زاویه بین جهت تاج تپه و جهت برآیند شار ماسه**

**٤- نتیجه‌گیری**

در منطقه آب شیرین کاشان در طول سالیان اخیر، تجمعی از تپه‌های ماسه‌ای (ارگ) با مساحت حدود ۲۲۷ هکتار ایجاد شده است. وجود تپه‌های ماسه‌ای کم تحول‌یافته هلالی شکل (پیش بارخانی) تا تپه سیف، عدم استقرار پوشش گیاهی و ویژگی‌های تغییر مرفولوژی، نشان می‌دهد که ارگ مزبور فعال است.

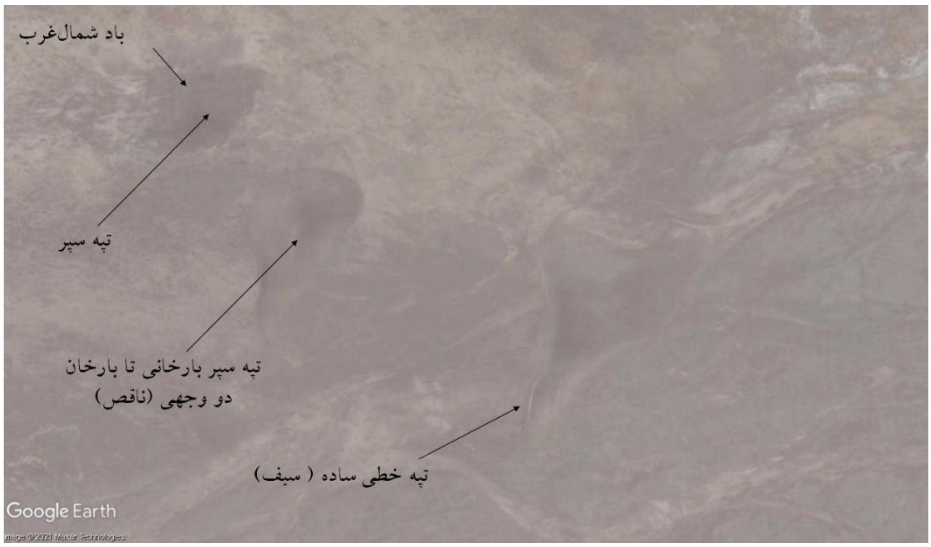
توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای از شمال به‌طرف جنوب در سه بخش کاملاً آشکار است، بخش شمالی که توسط تپه‌های پیش‌بارخانی تا تپه‌های خطی ساده سیف حاصل از توسعه یک بازوی بارخان پوشش داده شده است (شکل‌های ۷ و ۸). بخش میانی که تکامل اشکال بخش شمالی بوده و تپه‌های خطی کشیده را ایجاد کرده‌اند، بعضی از این تپه‌ها به‌صورت سیلک ساده دندانه‌ای بوده و در بخش بالادست باد به هم متصل شده و در حال تشکیل شکل بسیار ابتدایی از سیلک خوشه‌ای نامتقارن می‌باشند (شکل‌های ۹ و ۱۰). بخش جنوبی ارگ که بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های پائین‌دست بادهای دو جهته هستند و شکل‌های تپه‌ها با ترکیب بسیار کم از تپه‌های هلالی شکل مثل بارخان نامتقارن و ترکیب بیشتر از تپه‌های خطی ساده سیف می‌باشند.

مطالعات نشان داد که گلباد و گل‌توفان ایستگاه قم از یک الگو پیروی می‌کنند، بنابراین هر دو در شکل‌دهی تپه‌ها مؤثر هستند. ولی بادهای فرساینده یا بادهای غربی و شمال‌غربی، از گل‌توفان تبعیت کرده و آورد ماسه را پشتیبانی می‌کنند (شکل‌های ۳ و ٤).

مقایسه الگوی گل‌توفان با الگوی شار ماسه (شکل ١٤) نشان داد که الگوهای توان حمل جریان (Drift Potential)، در جهت‌های مختلف با الگوی سرعت‌های باد فرساینده در جهت‌های مختلف هماهنگ هستند؛ اما برآیند سرعت و جهت بادهای فرساینده با برآیند شار ماسه، یک زاویه حدود ۱۲۰ درجه تشکیل می‌دهند و همخوانی ندارند. مطالعات حسنی (١٣٩٦) در منطقه نشان داده است که رژیم باد دو جهته منطقه به‌طور مجزا در دو دوره اتفاق می‌افتد. بادهای شرقی با فراوانی زیاد ولی با سرعت کمتر از ١٤ متر بر ثانیه و در فصل تابستان بوده، در حالی که بادهای شمال‌غرب و غرب با فراوانی زیاد و سرعت‌های تا ۲۲ متر در ثانیه، در سه فصل پائیز، زمستان و بهار، رخ می‌دهد (حسنی و همکاران ١٣٩٦). این فراوانی و اختلاف سرعت فصلی از یک طرف و اختلاف ژئومرفولوژی اراضی بالا دست بادهای شرقی (اراضی کویری رسی و سیلتی سخت دریاچه نمک)، با اراضی بالا دست بادهای غربی و شمال‌غربی (اراضی کشاورزی، دشت‌سرهای پوشیده با سطوح سست) باعث گردیده که برآیند شار ماسه از غرب به طرف شرق رخ دهد و زاویه‌ای بین برآیند بادها با برآیند شار ماسه ایجاد گردد و با یکدیگر همخوانی نداشته باشند. **توکلی فرد و همکاران (۱۳۹۱)**، نشان دادند که اراضی با مرفولوژی متفاوت دارای سرعت آستانه فرسایش مختلف بوده و

در نتیجه دارای شار ماسه گوناگون هستند. نارتئو[1] (۲۰۱۳) این اختلاف در الگو را نتیجه تغییرات فصلی قدرت و جهت باد می‌دانند (نارتئو و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعه و بررسی‌های صحرایی رابطه مرفولوژی و کشیدگی تپه‌ها با جهت و سرعت باد، نشان داد که این الگوها بیشتر از گل‌توفان پیروی می‌کنند، بطوری که، بادهای شمال‌غرب که قوی‌ترین بادها از نظر سرعت و فراوانی می‌باشند باعث تشکیل تپه‌های پیش بارخانی (سپر و سپر بارخانی) می‌شود، به‌این‌ترتیب که ابتدا یک توده مخروطی شکل تشکیل شده (سپر) که با آورد ماسه، ارتفاع این توده زیاد شده و منجر به تشکیل یک تاج عمود بر جهت باد و هم زمان یک دامنه پرشیب در پائین‌دست باد می‌گردد (سپر بارخانی). درنهایت با توجه به حفظ شدن توده اصلی تپه، کناره‌های کم‌حجم آن، بیشتر از بالای آن گسترش‌یافته و توده به شکل هلالی با بازوهای بلند تبدیل می‌گیرد (بارخان). در مرحله بعد بادهای غربی عمل کرده و با تأثیر بر شکل بارخان‌ها باعث کشیدگی بازوی غربی بارخان‌ها شده و شکل اولیه سیف را به وجود می‌آورد (شکل ۲۲). تأثیر بادهای غربی و شرقی را می‌توان در توسعه این بازو مشاهده کرد، بطوریکه این دو باد با توجه به زاویه حدود ۱۸۰ درجه بین آن‌ها، تشکیل تپه‌های رفت و برگشتی را باعث می‌شوند (سیف دندانه‌ای). مرفولوژی دامنه‌های سیف‌های دندانه‌ای، از فراوانی و سرعت بادهای غربی و شرقی پیروی می‌کنند؛ به‌طوری‌که بادهای غربی، تپه‌های بزرگ‌تر (از نظر ابعاد) با شیب ملایم به سمت غرب را ایجاد کرده و بادهای شرقی فقط به‌عنوان باد تکامل‌دهنده در کشیدگی شکل تپه‌ها عمل می‌کنند (شکل ۱۵). این مشاهدات صحرایی و بررسی‌ها نشان داد که تکامل این نوع مرفولوژی از تئوری ارائه شده توسط تسوار (۱۹۸٤) پیروی می‌کند.




**شکل ۲۲- تئوری تکامل تپه‌های ماسه‌ای بر اساس الگوهای رژیم باد و فرم تپه ماسه‌ای**

1 Narteau

همچنین مطالعات شکل‌گیری تپه‌ها با الگوی بادهای فرساینده نشان داد که تپه‌های خطی منطقه در زاویه ۱۳۵ درجه ایجاد شده بین برآیندهای این بادها شکل گرفته‌اند (شکل ۱۸). کارهای آزمایشگاهی پارتلی و همکاران (۲۰۰۷) و رفعت و همکاران (۲۰۱۰)، در بستر ماسه‌ای تخت، با استفاده از یک رژیم باد دو جهته، نیز زوایای بیشتر از ۹۰ درجه بین بادهای فرساینده را برای تشکیل تپه‌ها خطی تائید می‌کند.

این مطالعه همچنین به گسترش و تکامل تپه‌ها بر اساس فراوانی بادهای فرساینده به جای زمان وزش باد پرداخت. مطالعات نشان داد که نسبت فراوانی بادها می‌تواند جایگزین مناسبی برای نسبت زمان وزش بادها قرار گیرد.

بررسی‌های الگوهای شار ماسه و فرم تپه ماسه‌ای نشان داد که زاویه بین جهت تاج تپه و جهت برآیند شار ماسه، در منطقه ۱۳۵ درجه است. که با مطالعات هانتر و همکاران (۱۹۸۳) تفاوت دارد. به‌طوری‌که آن‌ها اندازه زاویه برای تپه‌های مایل را تا ۷۵ درجه ذکر کرده‌اند. این اختلاف می‌تواند اول به دلیل آزمایشگاهی بودن کار هانتر و دوم، همان‌طور که بیان شد، به دلیل نامتعادل بودن تغییرات فصلی در جهت و سرعت باد منطقه باشد.

به‌طورکلی بر اساس مشاهدات میدانی، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای از تپه‌های ماسه‌ای و تجزیه‌وتحلیل خصوصیات باد می‌توان بیان کرد که ارگ مزبور ارگی فعال است، بنابراین پتانسیل گسترش مکانی زیادی دارد. آنالیزهای بادسنجی نشان داد که در ایجاد این ارگ، بادهای دوجهته غربی (شمالغرب و غرب) در وهله اول و بادهای شرقی در وهله دوم در آورد ماسه و شکل‌دهی، دارای اهمیت هستند. در حقیقت منابع ماسه در قطاع شمال‌غرب تا غرب و در شرق قرار دارند. از طرفی با توجه به ژئومرفولوژی اراضی این قطاع‌ها می‌توان بیان کرد که منابع ماسه در قطاع شمال غرب تا غرب فعال‌تر هستند. مطالعات اولیه صحرایی نشان داد که تغییرات وسیع و گسترده کاربری زمین در شمال غرب و غرب می‌تواند علت اصلی برای تشکیل این ارگ در منطقه باشد. مطالعه مشهدی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داده که تغییرات کاربری اراضی تأثیر قابل‌ملاحظه روی تعادل طبیعی فرایند بادی داشته و سه ویژگی ظرفیت حمل باد، تأمین رسوب و قابلیت دسترسی به رسوب برای باد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد مطالعه و پژوهشی در این موضوع صورت گیرد.

## کتابنامه

- حسنی درآباد، فرهاد؛ مشهدی، ناصر؛ ۱۳۹۶. ارتباط گلباد و گلتوفان با دوره‌های خشک و مرطوب منحنی نرمال آمبروترمیک (بررسی موردی: ایستگاه سینوپتیک قم)، *مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع طبیعی در کشورهای درحال‌توسعه، کرج.*

https://civilica.com/doc/780619

- توکلی فرد، اصغر؛ قاسمیه، هدی؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ مشهدی، ناصر؛ میرزاونـد محمـد؛ ۱۳۹۱. بررسـی نقـش اراضی مختلف در توفان‌های ماسه‌ای با استفاده از گلباد و گل‌توفان (مطالعه موردی: کاشان). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*. شماره ۲. صص ۲۵-۴۱ .

https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-103-fa.html

- Bagnold, R.A., 1941. The Physics of Wind Blown Sand and Desert Dunes, vol. 265 (10), 244 pp. Methuen & Co., London. https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-5682-7.
- Bagnold, R.A., 2012. The physics of blown sand and desert dunes. Courier Corporation. https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-5682-7.
- Cooke, R.U., Warren, A. and Goudie, A.S., 1993. Desert geomorphology. CRC Press. https://doi.org/10.2307/622457.
- Fryberger, S.G. and Dean, G., 1979. Dune forms and wind regime. In A study of global sand seas (Vol. 1052, pp. 137-169). US Government Printing Office Washington. https://doi.org/10.3133/pp1052.
- Ghorbani, A. and Pakravan, M., 2013. Land use mapping using visual vs. digital image interpretation of TM and Google earth derived imagery in Shrivan-Darasi watershed (Northwest of Iran). European Journal of Experimental Biology, 3 (1), pp.576-582. https://www.primescholars.com/articles/bhba-nefa-and-ldh-have-changed-in-fatty-liver-syndromean-abattoirbased-study.pdf.
- Hunter, R.E., Richmond, B.M. and Rho Alpha, T.A.U., 1983. Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast. Geological Society of America Bulletin, 94(12), pp.1450-1465. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<1450:SODOTO>2.0.CO;2.
- Kocurek, G. and Ewing, R.C., 2005. Aeolian dune field self-organization–implications for the formation of simple versus complex dune-field patterns. Geomorphology, 72(1-4), pp.94-105. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.05.005.
- Lancaster, N., 1982. Linear dunes. Progress in Physical Geography, 6(4), pp.475-504. http://ppg.sagepub.com/content/13/1/67.
- Mainguet, M. (1986). The wind and desertification processes in the Saharo-Sahelian and Sahelian regions. In Physics of desertification (pp. 210-240). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mashhadi, N., AHMADI, H., Ekhtesasi, M. R., FEYZNIA, S., & Feghhi, G. (2007). Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran). https://jdesert.ut.ac.ir/article_31068_a0a022a6702aeb4427d51f070eee7f07.pdf.
- McKee, E.D., 1979. A study of global sand seas (Vol. 1052). US Government Printing Office. https://doi.org/10.3133/pp1052.
- Narteau, C., Ping, L., Dong, Z., Zhang, Z. and Courrech Du Pont, S., 2013, December. Emergence of oblique dunes in a landscape-scale experiment. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2013, pp. EP43F-02). https://doi.org/10.1038/ngeo2047.
- Parteli, E.J., Durán, O., Tsoar, H., Schwämmle, V. and Herrmann, H.J., 2009. Dune formation under bimodal winds. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(52), pp.22085-22089. https://doi.org/10.1073/pnas.0808646106.
- Pye, K. and Tsoar, H., 2008. Aeolian sand and sand dunes. Springer Science & Business Media. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-85910-9.
- Reffet, E., Courrech du Pont, S., Hersen, P. and Douady, S., 2010. Formation and stability of transverse and longitudinal sand dunes. Geology, 38(6), pp.491-494. https://doi.org/10.1130/G30894.1.

- Rubin, D.M. and Hunter, R.E., 1987. Bedform alignment in directionally varying flows. Science, 237(4812), pp.276-278. https://www.science.org/doi/10.1126/science.237.4812.276.
- Rubin, D.M. and Ikeda, H., 1990. Flume experiments on the alignment of transverse, oblique, and longitudinal dunes in directionally varying flows. Sedimentology, 37(4), pp.673-684. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1990.tb00628.x.
- Rubin, D.M., Tsoar, H. and Blumberg, D.G., 2008. A second look at western Sinai seif dunes and their lateral migration. Geomorphology, 93(3-4), pp.335-342. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.03.004.
- Tsoar, H., 1984. The formation of seif dunes from barchans-a discussion. Zeitschrift fur Geomorphologie, 28(1), pp.99-103. https://cris.bgu.ac.il/en/publications/the-formation-of-seif-dunes-from-barchans-a-discussion.
- Tsoar, H., Blumberg, D.G. and Stoler, Y., 2004. Elongation and migration of sand dunes. Geomorphology, 57(3-4), pp.293-302. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00161-2.
- Werner, B.T. and Kocurek, G., 1997. Bed-form dynamics: Does the tail wag the dog? Geology, 25(9), pp.771-774. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0771:BFDDTT>2.3.CO;2.
- Zhenda, Z., 1984. Aeolian landforms in the Taklimakan Desert. In Deserts and arid lands (pp. 133-143). Dordrecht: Springer Netherlands.

# GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

## (Research Journal)

**VOLUME 13, NO. 49, Spring 2024**


CONTENTS


- **Modeling Snowmelt Runoff by SRM Model and the Estimation of Degree-Day Factor using Net Radiation Satellite Images (Case Study: Kardeh Basin)** 1
  Reza Shahraki Mojahed, Amin alizadeh, Seyyed Hossein Sanaei Nezhad, Alireza Faridhosseini, Azar Zarrin
- **Investigating Flood Risk using SWAT and SIMHYD Models in Karganrud Drainage Basin, Talesh, Iran** 2
  Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Kosar Loghmannia, Sadra Karimzadeh, Abdollah Behboodi
- **Investigating the Impact of Bridge Structures on the River Floodplain using HEC-RAS and Arc-GIS Software (Case Study: Sarnagh Bridge on the Zola River)** 3
  Hassan Hajihosseinlou, Vahid Aghdam, Ebrahim Valizadeghan
- **Identifying and Measuring the Importance of Spatial Policy Indicators for Rural Flood Risk Management** 4
  Seyyed Mohammad Mousavi Parsaei, Morteza Tavakoli, Mehdi Pourtahari
- **Assessing the Vulnerability of Power Distribution Network to Natural Flood Hazards: A Case Study of the Behdan Watershed in Birjand County** 5
  Ali Ashrafi, Javad Mikaniki, Morteza Dehghani, Hassan Sabeghi
- **Spatial Analysis of Resilience of Urban Areas Against Earthquak (Case Study: Kermanshah City)** 6
  Chnour Mohammadi, Hossain Nazmfar, Sayyad Asghari Saraskanroud
- **Seismic Hazard Assessment of Badakhshan Region (Northeast Afghanistan)** 7
  Khadijah Mohammadi, Ebrahim Moghimi, Mehdi Zare, Mojtaba Yamani
- **Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran** 8
  Mostafa Heidari, Ahmad Mazidi, Iman Rousta
- **Projection of Precipitation using CMIP6 Models Until the End of the 21st Century in the Northwest of Iran** 9
  Behrouz Sari Saraf , Hashem Rostamzadeh, Nabi Mohamadi
- **Investigating the Atmospheric Structure of the Von Phenomenon at the Time of Forest Fires in Northern Iran** 10
  Faramarz Khoshakhlagh, Hasan Hajimohammadi, Hosein Koshky
- **Detection of Temperature Differences due to Urban and Suburban Land Use Changes (Case Study: Urmia City)** 11
  Nasrin Alsadat Bazmi, Zahra Hejazizadeh Parviz Zeaiean Firouzabadi, Gholamreza Janbaz Ghobadi
- **Multidecadal Investigation of Integrated Surface Ultra-Violet Radiation and its Consistency with Total Column Ozone and Cloudiness** 12
  Haniyeh Baziyarpour, Ali Akbar Sabziparvar
- **Detecting Changes in Iran's Climate Zones over the Period 1965-2015** 13
  Hengameh Shiravand, Zarrin Tahan, Seyed Asaad Hosseini
- **Investigating the Impact of the Spread of the Corona Virus on the Acquisition Functions of Borders in Southwest Asia** 14
  Shaghayegh Baradaran, Mohsen Janparvar, Ali Mohamadpour
- **The Morphodynamics of Sand Dunes and Wind Patterns (Case Study: New and Young Arg in Southeast of Qom)** 15
  Naser Mashhadi

# GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

**Editor-in-Chief:**
**Dr. S. R. Hosseinzadeh**
*Department of Geography*
*Ferdowsi University of Mashhad,*
*Mashhad, Iran*

**Director**:
**Dr. S. R. Hosseinzadeh**
*Department of Geography*
*Ferdowsi University of Mashhad,*
*Mashhad, Iran*

**Executive Manager :**
*Sayyed Mohammad Ali Moosavi*

**Managing Editor:**
*Dr. Neda Mohseni*

**English Language Editor:**
*Dr. Abdullah Nowruzy*

## International Editorial Board:

**Professor Victor R. Baker**
*Department of Hydrology and Water Resource*
*University of Arizona, USA*
**Professor Ziyadin Çakir**
*Department of Geology*
*Istanbul Technical University, Turkey*
**Professor Gao-Lin Wu**
*Institute of Water and Soil Conservation*
*Chinese Academy of Sciences*
**Dr. Masoud Irannezhad**
*Senior Research Fellow*
*University of Oulu, Finland*

**Iranian Editorial Board:**

**Dr. Morteza Akbari**
*Department of Natural Resources and Environment*
*Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Hamid Ejtehadi**
*Department of Biology, Sciences*
*Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Mohammad Reza Esfehani**
*Department of Civil Engineering*
*Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Bakhtiar Feizizadeh**
*Department of Geography*
*University of Tabriz, Tabriz, Iran*

**Dr. Manijeh Ghahroudi Tali**
*Department of Geography*
*University of Alkharazmi, Tehran, Iran*

**Dr. Alireza Karimi**
*Department of Soil Sciences*
*Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr.Golamreza Lashkaripour**
*Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Abolfazl Masudian**
*Department of Physical Geography*
*University of Isfahan, Isfahan, Iran*

**Dr. Masoud Minaei**
*Department of Geography Ferdowsi*
*University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Masoud Mirzaei Shahrabi**
*Department of Chemistry Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Hossein Mohammadzadeh**
*Department of Geology Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Alireza Rashki**
*Department of Natural Resources and Environment Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Dr. Hossein Shafizadeh-Moghadam**
*Department of Water Engineering and Management Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

**Dr. Shaban Shataee Joybari**
*Department of Forest Sciences*
*University of Gorgan, Gorgan, Iran*

**Dr. Kkalil ValizadehKamran**
*Department of Remote Sensing and GIS*
*Tabriz University, Tabriz, Iran*

**Dr. Mojtaba Yamani**
*Department of Physical Geography*
*University of Tehran, Tehran, Iran*

**Dr. Azar Zarrin**
*Department of Geography Ferdowsi*
*University of Mashhad, Mashhad, Iran*

**Geography and Environmental Hazards** (ISSN:2322-1682) is published four times a year in June, September, December and March by Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Postal Code: 9177948883, Tel: +98(0) 5138805273
Fax: +98(0) 51 38794144 E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website : http://geoeh.um.ac.ir

# *GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS*

## Notes For Contributors

### AIMS AND SCOPE

**Geography and environmental Hazards** is an Iranian Interdiciplinary 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, Geomorphlogical, 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 abstracet in English. authors with English papers must submit the initial electronic mansuript 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 submissians 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 affilications 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 13, NO 49, Spring 2024 Pages


- **Modeling Snowmelt Runoff by SRM Model and the Estimation of Degree-Day Factor using Net Radiation Satellite Images (Case Study: Kardeh Basin)** **1**
  Reza Shahraki Mojahed, Amin alizadeh, Seyyed Hossein Sanaei Nezhad, Alireza Faridhosseini, Azar Zarrin
- **Investigating Flood Risk using SWAT and SIMHYD Models in Karganrud Drainage Basin, Talesh, Iran** **21**
  Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam, Kosar Loghmannia, Sadra Karimzadeh, Abdollah Behboodi
- **Investigating the Impact of Bridge Structures on the River Floodplain using HEC-RAS and Arc-GIS Software (Case Study: Sarnagh Bridge on the Zola River)** **47**
  Hassan Hajihosseinlou, Vahid Aghdam, Ebrahim Valizadeghan
- **Identifying and Measuring the Importance of Spatial Policy Indicators for Rural Flood Risk Management** **63**
  Seyyed Mohammad Mousavi Parsaei, Morteza Tavakoli, Mehdi Pourtahari
- **Assessing the Vulnerability of Power Distribution Network to Natural Flood Hazards: A Case Study of the Behdan Watershed in Birjand County** **87**
  Ali Ashrafi, Javad Mikaniki, Morteza Dehghani, Hassan Sabeghi
- **Spatial Analysis of Resilience of Urban Areas Against Earthquak (Case Study: Kermanshah City)** **109**
  Chnour Mohammadi, Hossain Nazmfar, Sayyad Asghari Saraskanroud
- **Seismic Hazard Assessment of Badakhshan Region (Northeast Afghanistan)** **133**
  Khadijah Mohammadi, Ebrahim Moghimi, Mehdi Zare, Mojtaba Yamani
- **Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran** **151**
  Mostafa Heidari, Ahmad Mazidi, Iman Rousta
- **Projection of Precipitation using CMIP6 Models Until the End of the 21st Century in the Northwest of Iran** **173**
  Behrouz Sari Saraf , Hashem Rostamzadeh, Nabi Mohamadi
- **Investigating the Atmospheric Structure of the Von Phenomenon at the Time of Forest Fires in Northern Iran** **195**
  Faramarz Khoshakhlagh, Hasan Hajimohammadi, Hosein Koshky
- **Detection of Temperature Differences due to Urban and Suburban Land Use Changes (Case Study: Urmia City)** **217**
  Nasrin Alsadat Bazmi, Zahra Hejazizadeh Parviz Zeaiean Firouzabadi, Gholamreza Janbaz Ghobadi
- **Multidecadal Investigation of Integrated Surface Ultra-Violet Radiation and its Consistency with Total Column Ozone and Cloudiness** **243**
  Haniyeh Baziyarpour, Ali Akbar Sabziparvar
- **Detecting Changes in Iran's Climate Zones over the Period 1965-2015** **265**
  Hengameh Shiravand, Zarrin Tahan, Seyed Asaad Hosseini
- **Investigating the Impact of the Spread of the Corona Virus on the Acquisition Functions of Borders in Southwest Asia** **293**
  Shaghayegh Baradaran, Mohsen Janparvar, Ali Mohamadpour
- **The Morphodynamics of Sand Dunes and Wind Patterns (Case Study: New and Young Arg in Southeast of Qom)** **317**
  Naser Mashhadi

# JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Research Journal

Volume. 13, No. 49, Spring 2024


- **Modeling Snowmelt Runoff by SRM Model and the Estimation of Degree-Day Factor using Net Radiation Satellite Images (Case Study: Kardeh Basin)**
  Reza Shahraki Mojaheda, Amin alizadehb, Seyyed Hossein Sanaei Nezhadc, Alireza Faridhosseinid, Azar Zarrine
- **Investigating Flood Risk using SWAT and SIMHYD Models in Karganrud Drainage Basin, Talesh, Iran**
  Mohammad Hossein Rezaei Moghaddama , Kosar Loghmanniab, Sadra Karimzadehc, Abdollah Behboodid
- **Investigating the Impact of Bridge Structures on the River Floodplain using HEC-RAS and Arc-GIS Software (Case Study: Sarnagh Bridge on the Zola River)**
  Hassan Hajihosseinloua , Vahid Aghdamb, Ebrahim Valizadeghanc
- **Identifying and Measuring the Importance of Spatial Policy Indicators for Rural Flood Risk Management**
  Seyyed Mohammad Mousavi Parsaeia, Morteza Tavakolib, Mehdi Pourtaharic
- **Assessing the Vulnerability of Power Distribution Network to Natural Flood Hazards: A Case Study of the Behdan Watershed in Birjand County**
  Ali Ashrafia , Javad Mikanikib, Morteza Dehghanic, Hassan Sabeghid
- **Spatial Analysis of Resilience of Urban Areas Against Earthquak (Case Study: Kermanshah City)**
  Chnour Mohammadia, Hossain Nazmfar b, Sayyad Asghari Saraskanroudc
- **Seismic Hazard Assessment of Badakhshan Region (Northeast Afghanistan)**
  Khadijah Mohammadia, Ebrahim Moghimib, Mehdi Zarec, Mojtaba Yamanid
- **Investigating the Earthquake Cloud Precursor in the 2017 Azgeleh Earthquake in Kermanshah, Iran**
  Mostafa Heidaria , Ahmad Mazidib, Iman Roustab
- **Projection of Precipitation using CMIP6 Models Until the End of the 21st Century in the Northwest of Iran**
  Behrouz Sari Saraf a, Hashem Rostamzadeh b, Nabi Mohamadic
- **Investigating the Atmospheric Structure of the Von Phenomenon at the Time of Forest Fires in Northern Iran**
  Faramarz Khoshakhlagha, Hasan Hajimohammadib, Hosein KoshkyC
- **Detection of Temperature Differences due to Urban and Suburban Land Use Changes (Case Study: Urmia City)**
  Nasrin Alsadat Bazmia , Zahra Hejazizadehb Parviz Zeaiean Firouzabadic, Gholamreza Janbaz Ghobadid
- **Multidecadal Investigation of Integrated Surface Ultra-Violet Radiation and its Consistency with Total Column Ozone and Cloudiness**
  Haniyeh Baziyarpoura, Ali Akbar Sabziparvarb
- **Detecting Changes in Iran's Climate Zones over the Period 1965-2015**
  Hengameh Shiravanda, Zarrin Tahana, Seyed Asaad Hosseinib
- **Investigating the Impact of the Spread of the Corona Virus on the Acquisition Functions of Borders in Southwest Asia**
  Shaghayegh Baradarana, Mohsen Janparvarb , Ali Mohamadpourc
- **The Morphodynamics of Sand Dunes and Wind Patterns (Case Study: New and Young Arg in Southeast of Qom)**
  Naser Mashhadi


دانشگاه هرمزگان — دانشگاه علوم کشاورزی و علوم طبیعی گرگان — دانشگاه سیستان و بلوچستان — دانشگاه خوارزمی تهران — دانشگاه تبریز — دانشگاه اصفهان

ISSN:2322-1682
Published by
Ferdowsi University of Mashhad