

مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی



(نشریه علمی)

سال دوازدهم، شماره ۴۶، تابستان ۱۴۰۲، شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

- واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP حسین بهزادی کریمی، غلامعلی مظفری، کمال امیدوار، احمد مزیدی
- اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران فضل الله احمدی میرقاند، بابک سوری
- بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها ... زهرا وهابزاده، اتابک فیضی، لیلا ملکانی
- تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه حسن احمدزاده، مصطفی داورپناه
- تحلیل فضایی مهاجرت و خشک‌سالی در کشور با استفاده از تحلیل لکه داغ و شاخص استاندارد بارش علی عزیزی، رسول صادقی
- تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای عطا غفاری گیلانده، وحید صفریان زنگیر
- پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم سید محمد حسینی، فرحناز خرم‌آبادی
- تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران) علی محمد حسینی، حمیدرضا کامیاب، حسن رضائی
- توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی شاخص کیفیت هوای شهری (منطقه مطالعاتی: شهر تهران) پیمان کرمی، سید احمد اسلامی نژاد، مبین افتخاری، فراز برومند، محمد اکبری
- بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی بر تنوع زیستی خاک ... انسیه صابری پور، فاطمه طباطبائی یزدی، مرتضی کهراریان
- تبیین محرک‌های مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهرها با رویکرد تحلیل ساختاری ... ندا اسکندری، زهرا سادات سعیده زرآبادی، فرح حبیب
- سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل ... شادی گله‌دار، شبنم گله‌دار، ماندانا مسعودی‌راد
- ارزیابی تاب‌آوری شهری با استفاده از رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey سمانه کلیدری، ابوالقاسم صادقی نیارکی، مصطفی قدوسی
- پتانسیل سنجی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن) امیر صفاری، سارا کیانی، امیرعلی عباس‌زاده
- برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله منیر شیرزاد گرجان، حسین نظم فر، ابوالفضل قنبری





فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی نشریه علمی

سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و شش، تابستان ۱۴۰۲
شاپا چاپی: ۱۶۸۲-۲۳۲۲
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۳۰۷۶

- واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP حسین بهزادی کریمی، غلامعلی مظفری، کمال امیدوار، احمد مزیدی
- اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران فضل الله احمدی میرقائد، بابک سوری
- بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها ... زهرا وهابزاده، اتابک فیضی، لیلا ملکانی
- تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه حسن احمدزاده، مصطفی داورپناه
- تحلیل فضایی مهاجرت و خشک‌سالی در کشور با استفاده از تحلیل لکه داغ و شاخص استاندارد بارش علی عزیز، رسول صادقی
- تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای عطا غفاری گیلانده، وحید صفریان زنگیر
- پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم سید محمد حسینی، فرحناز خرم‌آبادی
- تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران) علی محمد حسینی، حمیدرضا کامیاب، حسن رضائی
- توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی شاخص کیفیت هوای شهری (منطقه مطالعاتی: شهر تهران) پیمان کریمی، سید احمد اسلامی نژاد، مبین افتخاری، فراز برومند، محمد اکبری
- بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی بر تنوع زیستی خاک ... انسیه صابری پور، فاطمه طباطبائی یزدی، مرتضی کهراریان
- تبیین محرک‌های مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهرها با رویکرد تحلیل ساختاری ... ندا اسکندری، زهرا سادات سعیده زربآبادی، فرح حبیب
- سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل ... شادی گله‌دار، شبنم گله‌دار، ماندانا مسعودی‌راد
- ارزیابی تاب‌آوری شهری با استفاده از رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey سمانه کلیدری، ابوالقاسم صادقی نیارکی، مصطفی قدوسی
- پتانسیل سنجی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن) امیر صفاری، سارا کیانی، امیرعلی عباس‌زاده
- برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله منیر شیرزاد گرجان، حسین نظم فر، ابوالفضل قنبری



دانشگاه گیلان

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

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

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

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

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

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

بر اساس آئین نامه کمیسیون نشریات وزارت علوم تحقیقات و فناوری از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی - پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی و انجمن کواترنری ایران است
مدیر داخلی: دکتر ندا محسنی کارشناس اجرایی: سید محمد علی موسوی ویراستاری انگلیسی: مرکز ویراستاری دانشکده ادبیات و علوم انسانی (عبدالله نوروزی)
ویراستاری ادبی: دکتر جواد میزبان حروف نگاری و صفحه آرای: الهه تجویدی طراحی جلد: امیراسفندیار عامل محرایی

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

نشانی: مشهد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی، کد پستی ۹۱۷۹۴۸۸۳

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

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

نشانی اینترنتی:

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

این مجله در پایگاه های زیر نمایه می شود:

- پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)
- پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
- پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)
- DOAJ (Directory of Open Access Journals)
- EBSCO Information Services

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فصلنامہ جغرافیاء و مخاطرات محیطی

(نشریہ علمی)

سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی : ۱۶۸۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی : ۲۳۸۳-۳۰۷۶

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

جغرافیا و مخاطرات محیطی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

۹- شماره و عنوان جداول در بالا و با قلم ۱۲ پرننگ 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 پرننگ B Lotus درج گردد.

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

شیوه منبع نویسی مقالات انگلیسی

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

کتب انگلیسی:

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

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

مقالات فارسی:

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

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

کتب فارسی:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. عباسعلی آروین (دانشیار جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور واحد خمینی شهر)
۲. پاکزاد آزادخانی (استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه باخر ایلام)
۳. زهرا اسدالهی (استادیار آمایش محیط زیست گروه آموزشی علوم و مهندسی محیط زیست دانشگاه لرستان)
۴. مرضیه اسمعیل پور (استادیار جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه مراغه)
۵. جمیل امان الهی (دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان)
۶. لیلا امینی (رئیس مرکز پیش بینی و مخاطرات جوی اداره کل هواشناسی استان اصفهان)
۷. علیرضا انتظاری (دانشیار جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی دانشگاه حکیم سبزواری)
۸. اصغر تیموری (دکتری مخاطرات محیط های شهری دانشگاه شهید بهشتی)
۹. میلاد حسعلی زاده (دکتری تخصصی جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زنجان)
۱۰. سید محمد حسینی (استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی)
۱۱. امیدعلی خوارزمی (استادیار مدیریت نوآوری - توسعه ملی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۲. قاسم ذوالفقاری (دانشیار مخاطرات زیستی دانشگاه حکیم سبزواری)
۱۳. حمید رحیمی (دکتری مخاطرات اقلیمی و اتمسفریک دانشگاه رازی - کرمانشاه)
۱۴. محسن رضائی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری - مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)
۱۵. علیرضا محمدی (دانشیار مخاطرات محیط های شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی)
۱۶. ابوالفضل مساعدی (استاد هیدرولیک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۷. رضا منصوری (استادیار دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان)
۱۸. اسماعیل نجفی (استادیار مخاطرات محیط های شهری، گروه جغرافیای دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان)
۱۹. محمد سعید نجفی (هیات علمی پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب)
۲۰. رضا هاشمی معصوم آباد (دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی)
۲۱. جلیل هلالی (دکتری مخاطرات اقلیمی و اتمسفریک دانشگاه تهران)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱	● واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP حسین بهزادی کریمی، غلامعلی مظفری، کمال امیدوار، احمد مزیدی
۲۹	● اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران فضل الله احمدی میرقاند، بابک سوری
۴۷	● بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها ... زهرا وهابزاده، اتابک فیضی، لیلا ملکانی
۶۳	● تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه حسن احمدزاده، مصطفی داورپناه
۸۱	● تحلیل فضایی مهاجرت و خشک‌سالی در کشور با استفاده از تحلیل لکه داغ و شاخص استاندارد بارش علی عزیزی، رسول صادقی
۱۰۱	● تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای عطا غفاری گیلانده، وحید صفریان زنگیر
۱۲۵	● پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم سید محمد حسینی، فرحناز خرم‌آبادی
۱۴۷	● تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران) علی محمدحسینی، حمیدرضا کامیاب، حسن رضائی
۱۶۵	● توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی شاخص کیفیت هوای شهری (منطقه مطالعاتی: شهر تهران) پیمان کرمی، سید احمد اسلامی نژاد، مبین افتخاری، فراز برومند، محمد اکبری
۱۸۷	● بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی بر تنوع زیستی خاک ... انسیه صابری‌پور، فاطمه طباطبائی یزدی، مرتضی کهراریان
۲۰۷	● تبیین محرک‌های مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهرها با رویکرد تحلیل ساختاری ... ندا اسکندری، زهرا سادات سعیده زرآبادی، فرح حبیب
۲۳۳	● سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل ... شادی گله‌دار، شبنم گله‌دار، ماندانا مسعودی‌راد
۲۵۱	● ارزیابی تاب‌آوری شهری با استفاده از رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey سمانه کلیدری، ابوالقاسم صادقی نیارکی، مصطفی قدوسی
۲۶۷	● پتانسیل سنجی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن) امیر صفاری، سارا کیانی، امیرعلی عباس‌زاده
۲۸۵	● برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله منیر شیرزاد گرجان، حسین نظم فر، ابوالفضل قنبری



بسمه تعالی

توافقنامه همکاری علمی

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

ماده ۱- نشریه به صورت فصلنامه و هر سال چهار شماره به زبان فارسی منتشر می شود. 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 پژوهش های علمی.

ماده ۲- امور علمی نشریه را هیأت تحریریه که حداقل یک چهارم اعضای آن از اعضای انجمن هستند انجام خواهند داد. تبصره ۱: انجمن متعهد می شود که حداقل دو نفر از اعضای هیأت تحریریه را از اعضای هیأت علمی دانشگاهها انتخاب نماید. تبصره ۲: یکی از اعضای هیأت تحریریه عضو دانشگاه فردوسی مشهد با پیشنهاد بالاترین مقام صاحب امتیاز و تأیید هیأت مدیره انجمن به عنوان سردبیر نشریه تعیین و با حکم بالاترین مقام صاحب امتیاز به این سمت منصوب خواهد شد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

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

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

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

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

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

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

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

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن آوری دانشگاه فردوسی مشهد

دانشگاه فردوسی مشهد
معاونت پژوهش و فناوری



دکتر فریبرز قریب
رئیس هیأت مدیره انجمن کواترنری ایران

انجمن کواترنری ایران



بسمه تعالی



توافقنامه همکاری علمی

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

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

ماده ۲: امور علمی نشریه را هیأت تحریریه، که حداقل یک چهارم اعضای آن از بین اعضای انجمن هستند، انجام خواهند داد. تبصره ۱: انجمن متعهد می‌شود که لااقل دو نفر از اعضای هیأت تحریریه را از اعضای فعال هیأت علمی دانشگاهها انتخاب نماید. تبصره ۲: یکی از اعضای هیأت تحریریه عضو دانشگاه فردوسی با پیشنهاد بالاترین مقام صاحب امتیاز و تأیید هیأت مدیره انجمن به عنوان سردبیر نشریه تعیین و با حکم بالاترین مقام صاحب امتیاز به این سمت منصوب خواهد شد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین‌نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

ماده ۳: دفتر نشریه در موسسه متقاضی نشریه و با مسئولیت مدیر مسئول اداره خواهد شد.
ماده ۴: روی جلد مجله علاوه بر نشان دانشگاه فردوسی مشهد نشان انجمن ایرانی ژئومورفولوژی با اندازه یکسان نیز چاپ خواهد شد.
ماده ۵: در صفحه حقوقی تمامی شماره‌های نشریه، این جمله آورده شود «این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی است».


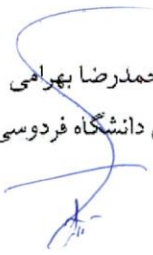
ماده ۶: کلیه هزینه‌های آماده سازی نشریه تا قبل از لیتوگرافی اعم از هزینه‌های داوری، حق الزحمه ویراستار، مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ، ... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

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

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

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

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد



معاونت پژوهش و فن‌آوری

دکتر مجتبی یمانی
رییس هیأت مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی





Analysis of Climatic Zones and the Danger of Desertification in Karun Basin under Climate Change Conditions using UNEP Index

Hossein Behzadi Karimi^{a*}, Gholam Ali Mozaffari^b, Kamal Omidvar^b, Ahmad Mazidi^c

^a PhD in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran

^b Professor in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran

^c Associate Professor in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran

Received: 26 July 2022

Revised: 28 October 2022

Accepted: 30 November 2022

Abstract

The excessive emission of greenhouse gases in recent decades and the ongoing changes in the climate have changed the meteorological parameters and, accordingly, the climatic zones. In this study, the future prospect of climatic zones and the risk of desertification in the watershed of Karun basin was investigated using UNEP index and LARS-WG6 microdirection model and HadGEM2-ES model under the RCPs emission scenarios for three periods 2021-2040, 2041-2060, and 2061-2080. The results pertaining to all three future periods and RCPs release scenarios showed that the long-term average annual precipitation will decrease between 1.9 and 14.6% compared to the base period, but the annual average minimum temperature will be between 1.2 and 3.4 °C, maximum temperature between 1.3 and 3.7 °C and the annual average of evaporation and transpiration will increase between 4.7 and 12.3% compared to the observation period. In the upcoming period and based on the emission scenarios, dry climate (the risk of very severe desertification) and semi-arid climate (the danger of severe desertification) increase 3.5% and 4.4%, respectively, and semi-humid (moderate desertification) and humid (no desertification) and very humid (moisture and wet climate) decrease 4% and 4.7%, respectively. However, semi-humid climate zones (low risk of desertification) with 0.8% will be less severe. Under the pessimistic scenario, the semi-arid climate region will reach its maximum level among the publishing scenarios in the near future with 12.4%. Therefore, this displacement in the boundaries of climatic classification will increase the desertification of Karun basin in the upcoming period.

Keywords: Climate Change, Trend, Climate Zoning, UNEP Index, Karun Watershed

* . Corresponding author: Hossein Behzadi Karimi E-mail: h.bkarimi@chmail.ir Tel: + 989052813277

How to cite this Article: Behzadi Karimi, H., Mozaffari, G. A., Omidvar, K., & Mazidi, A. (2023). Analysis of climatic zones and the danger of desertification in Karun Basin under climate change conditions using UNEP index. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 1-27.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.77881.1259



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77881.1259> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۷-۱

مقاله پژوهشی

واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از

شاخص UNEP

 حسین بهزادی کریمی^۱ - دانش‌آموخته دکترای آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

غلامعلی مظفری - استاد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

کمال امیدوار - استاد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

احمد مزیدی - دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۸/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۹

چکیده

انتشار بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر و تغییرات به وقوع پیوسته در اقلیم، موجب شده که پارامترهای هواشناسی و به تبع آن، پهنه‌های اقلیمی دستخوش تغییراتی گردد. در این تحقیق، چشم‌انداز آتی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص UNEP و با به‌کارگیری مدل ریزمقیاس گاهی LARS-WG6 و خروجی مدل HadGEM2-ES، تحت سناریوهای انتشار RCPS برای سه دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال، مشخص گردید که در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و در سطح حوضه آبریز کارون، روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار است؛ در حالی که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهش‌ی است؛ اما این روند کاهش‌ی، معنی‌دار نیست. مطابق یافته‌های تحقیق در هر سه دوره آتی و بر اساس سناریوهای انتشار

Email: h.bkarimi@chmail.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۰۵۲۸۱۳۲۷۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

بهزادی کریمی، حسین؛ مظفری، غلامعلی؛ امیدوار، کمال؛ مزیدی، احمد؛ ۱۴۰۲. واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه

آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۲۷-۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77881.1259>

RCPS، متوسط بلندمدت بارش سالانه بین ۱/۹ تا ۱۴/۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد اما متوسط سالانه دمای حداقل بین ۱/۲ تا ۳/۴ درجه سلسیوس، دمای حداکثر بین ۱/۳ تا ۳/۷ درجه سلسیوس و میانگین سالانه تبخیر و تعرق بین ۴/۷ تا ۱۲/۳ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. در دوره‌های آبی و بر اساس الگوهای واداشت تابشی موردبررسی، وسعت اقلیم خشک (خطر بیابان‌زایی بسیار شدید) و اقلیم نیمه‌خشک (خطر بیابان‌زایی شدید) به ترتیب ۳/۵ و ۴/۴ درصد افزایش و مساحت اقلیم خشک نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی متوسط) و اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به ترتیب ۴ و ۴/۷ درصد کاهش خواهد یافت؛ اما قلمرو آب و هوایی نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی کم) با ۰/۸+ درصد، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. گستره اقلیم نیمه‌خشک در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، با ۱۲/۴ درصد افزایش به بیشترین سطح ممکن در بین سناریوهای انتشار خواهد رسید؛ لذا این جابه‌جایی در مرزهای طبقه‌بندی اقلیمی، باعث تشدید روند بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آبی خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، روند، پهنه‌بندی اقلیمی، خطر بیابان‌زایی، شاخص UNEP، حوضه آبریز کارون.

۱-مقدمه

اقلیم، وضعیتی کلی از شرایط هوای غالب یک مکان مشخص بر اساس آمار بلندمدت است (بایلی^۱، ۱۹۹۹). تنوع عناصر آب و هوایی در تعیین اقلیم یک ناحیه مؤثر بوده و باعث شکل‌گیری اقلیم‌های متنوع و متفاوت می‌شود (هدایتی دزفولی و کاکوند، ۱۳۹۱). از مهم‌ترین ویژگی‌های آب و هوایی برای طبقه‌بندی اقلیمی، ضریب خشکی یا ضریب رطوبتی است که شناخت تحول‌های هم‌زمان بارندگی و تبخیر و تعرق و تأثیرهای آن را فراهم می‌کند (طاووسی، ۱۳۹۷). دانشمندان معیارهای متفاوتی را برای تعیین آستانه خشکی ارائه داده‌اند. شاخص زیست اقلیم یونپ^۲، نسبت میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل را به‌عنوان ضریب خشکی در نظر می‌گیرد (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه، به‌خصوص آب‌وهوا می‌تواند در امر برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین نقش مهمی ایفا نماید. همچنین وجود توان‌های محیطی، اقتصادی، کشاورزی و صنعتی از جمله طرح‌های عظیم عمرانی مانند سدسازی و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها و نیز پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی چون سیل و خشکسالی ضرورت شناخت صحیح شرایط جوی و ویژگی‌های آب و هوایی مناطق مختلف و درنهایت پهنه‌بندی اقلیمی را به‌ویژه برای برنامه‌ریزان آشکار ساخته است (گل‌کار حمزی یزد و همکاران، ۱۳۹۵).

در دهه‌های اخیر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است که با تأثیرگذاری بر روی دمای جو کره زمین، سبب به هم خوردن ترازمندی انرژی در سطح جهانی و گرمایش جهانی و

1 Bailey

2 United Nation Environment Programme

وقوع تغییر اقلیم شده است. تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده در مقیاس جهانی است و به مفهوم تغییر در پارامترهای اقلیمی یک منطقه نسبت به رفتار قابل انتظار از اطلاعات مشاهده‌شده آن منطقه در یک افق زمانی بلندمدت است (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۹۳). جهت کسب آگاهی در مورد اثرات تغییر اقلیم به‌طور معمول از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. از بین مدل‌های اقلیمی مختلف ارائه‌شده، مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)^۱ از کاربرد گسترده‌تری برخوردار هستند. این مدل‌ها، سه‌بعدی بوده و قادر به پیش‌بینی تحولات زمانی و مکانی جو می‌باشند (هوردین^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به اینکه توان تفکیک مکانی خروجی‌های این مدل‌ها، بسیار بزرگ است؛ برای قابل استفاده کردن این خروجی‌ها، نیاز به استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمائی^۳ است. پیش‌بینی‌های اقلیم آینده توسط مدل‌های اقلیمی مبتنی بر این است که در آینده چه مقدار گازهای گلخانه‌ای توسط عوامل انسانی وارد اتمسفر زمین خواهد شد و در پی آن، چه تغییراتی در سیستم اقلیمی کره زمین به وجود خواهد آمد. برای بررسی این تغییرات، سناریوهای مختلفی در ارتباط با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۴ در گزارش پنجم خود در سال ۲۰۱۰، سناریوهای جدیدی تحت عنوان RCP^۵ را بر اساس میزان واداشت تابشی ارائه کرد. این سناریوهای پیشنهادی، معرف مسیرهای جدیدی از سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و دارای چهار حالت مختلف شامل RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 هستند (خارین^۶ و همکاران، ۲۰۱۳). لذا، انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای و تغییرات به وقوع پیوسته در اقلیم، می‌تواند باعث افزایش و یا کاهش گستره یک منطقه اقلیمی و در نتیجه جلبه‌جایی مناطق آب و هوایی شود و تنش‌هایی را در جوامع گیاهی و جانوری آن مناطق پدید آورد (چن و چن^۷، ۲۰۱۳؛ وانگ و اورلند^۸، ۲۰۰۴).

در خصوص پهنه‌بندی‌های آب و هوایی با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی اقلیمی، مطالعات مختلفی در سطح جهان و ایران انجام گرفته است که به چند نمونه از آن اشاره می‌گردد: الیویرو و آپارسیدو^۹ و همکاران (۲۰۱۶)، به طبقه‌بندی اقلیمی ایالت پارانا در برزیل به کمک روش کوپن، تورنت وایت و کامارگو پرداختند. نتایج نشان داد مناطق به‌صورت سرد و مرطوب، مرطوب و گرم، کم آب، مرطوب و خشک طبقه‌بندی شدند که بیشترین پهنه آب‌وهوا مربوط به مناطق سرد و مرطوب بود. طاووسی (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران پرداخت. نتایج ایشان حاکی از تغییر شرایط آب و

1 Global Circulation Model

2 Hourdin

3 Downscaling

4 Intergovernmental Panel on Climate Change

5 Representative Concentration Pathways

6 Kharin

7 Chen and Chen

8 Wang and Overland

9 Oliveria Aparecido

هوایی نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب و از شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی نیمه خشک می باشد. **شجاع و همکاران (۱۳۹۸)** در مطالعه‌ای به بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی اقدام کردند. نتایج نشان داد منطقه مورد بررسی در هفت گروه اقلیمی طبقه‌بندی شد که پهنه AC14، اقلیم خشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با ۳۹ درصد و ۹ ایستگاه و پهنه EC14، اقلیم فراخشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با یک ایستگاه به ترتیب بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ناحیه اقلیمی بودند. در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر پهنه‌های اقلیمی، مطالعات لندکی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. **یینگ^۱ و همکاران (۲۰۱۲)** با استفاده از داده‌های مدل RegCM3 و تحت سناریو A1B، جابجایی‌های احتمالی در مناطق اقلیمی چین (به روش کوپن) در قرن ۲۱ را بررسی کردند و نشان دادند که مناطق اقلیمی چین، جابجایی‌های معناداری را در آینده تجربه خواهند کرد که مهم‌ترین آن‌ها، کاهش شدید مناطق اقلیمی سرد مانند توندررا و کاهش مناطق مرطوب جنب‌حاره‌ای است. **انگلبرشت و انگلبرشت^۲ (۲۰۱۶)** با استفاده از میانگین گروهی از مدل‌های اقلیمی و بر اساس سناریو A2، جابجایی‌های احتمالی قاره آفریقا را برای دهه‌های آینده بررسی نمودند. نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شده برای سده ۲۱، جابجایی‌های زیادی را در مناطق اقلیمی آفریقا پدید خواهد آورد که مهم‌ترین آن‌ها گسترش منطقه استپی گرم به سوی منطقه استپی سرد و در نتیجه کاهش گستره اقلیمی مناطق بیلبانی و استپی سرد در این قاره است. همچنین می‌توان به مطالعات محققین دیگر مانند **پیل^۳ و همکاران (۲۰۰۷)**، **دی کاسترو^۴ و همکاران (۲۰۰۷)**، **روبل و کوتک^۵ (۲۰۱۰)** و **چان^۶ و همکاران (۲۰۱۶)** اشاره نمود. در داخل کشور، **بذرافشان دریا ساری و همکاران (۱۳۹۴)** به مطالعه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان بر اساس خروجی مدل LARS-WG^۷ طی سه دوره زمانی آینده و تحت سناریوهای مختلف A2، A1B و B1 پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که استان گلستان در دوره‌های اقلیمی آتی در اثر تغییر اقلیم به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش خواهد رفت. **میرموسوی و کیانی (۱۳۹۶)** به بررسی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در ایران در سال ۱۹۷۵ و مقایسه آن با خروجی مدل MIROC، برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ و ۲۱۰۰ و تحت سناریوی A1B و A2 پرداختند. طبقه‌بندی‌های حاصل از خروجی مدل، روند رو به رشد اقلیم گروه B که نماینده اقلیم خشک و نیمه خشک در طبقه‌بندی کوپن است و کاهش تنوع اقلیمی را نشان می‌دهند. **رضیئی (۱۳۹۶)** در مطالعه‌ای به بررسی جابجایی مناطق اقلیمی ایران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شده برای سده بیست و یکم با استفاده از روش کوپن-گایگر پرداخت. نتایج

1 Ying

2 Engelbrecht and Engelbrecht

3 Peel

4 De Castro

5 Rubel

6 Chan

7 Long Ashton Research Station-Weather Generator

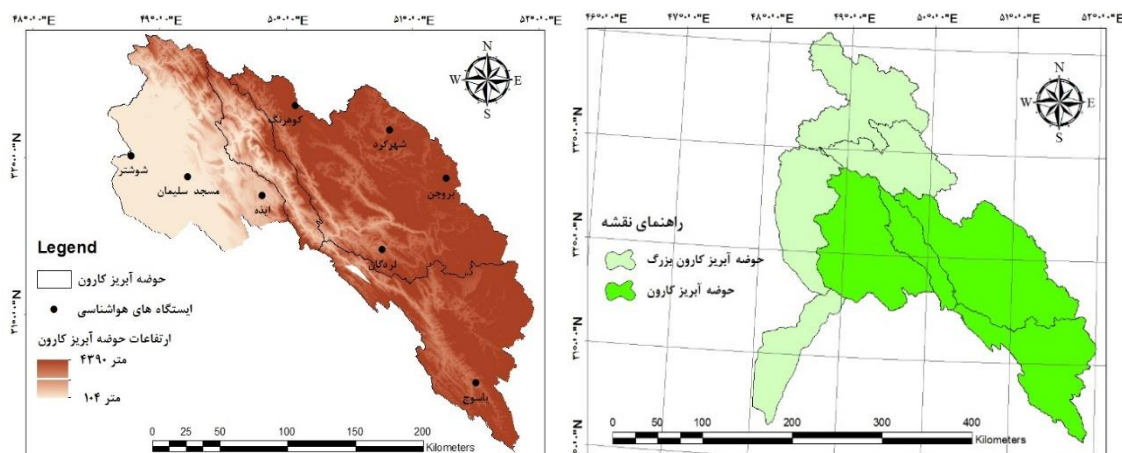
به‌دست‌آمده از سناریوهای مختلف، نشان از گسترش اقلیم بیابانی گرم در ایران مرکزی و گرایش شدید شمال غرب ایران به سوی بیابانی شدن دارند. **فاخرنسب و همکاران (۱۳۹۹)**، به پهنه‌بندی تغییرات دما و بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد تا افق زهانی ۲۰۶۱ پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر مکانی، بر پهنه‌های با دمای خنک و گرم‌تر در سطح استان افزوده خواهد شد و پهنه مناطق پر بارش محدودتر شده و بر پهنه مناطق کم بارش استان افزوده خواهد شد.

ایران از یک‌سو به دلیل گستردگی در عرض‌های جغرافیایی مختلف و در نتیجه برخورداری از تنوع اقلیمی و از سوی دیگر، با توجه به قرارگیری آن در کمربند گرم و خشک جهان، این کشور را متأثر از مسئله گرمایش جهانی و تغییر اقلیم قرار داده است؛ بنابراین با توجه به افزایش دما در سطح جهان و رخداد خشکسالی‌های پیایی در کشور ایران، این پرسش مطرح است که آیا پیامد این رویدادها به‌صورت افزایش ضریب خشکی آب و هوایی و در نتیجه گسترش بیابان‌زایی در حوضه آبریز کارون نقش داشته است؟ لذا بر پایه این پرسش تلاش شده است تغییرات پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم با استفاده از شاخص خشکی یونپ (UNEP) بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ویژگی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش تحت عنوان حوضه آبریز کارون (شامل زیر حوضه‌های آبریز کارون بالا، کارون وسط، کارون پایین و خرسان) محدود به مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۰۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. مساحت حوضه آبریز کارون ۳۸۱۰۴ کیلومتر مربع بوده که در حدود ۵۷ درصد از سطح حوضه آبریز کارون بزرگ را شامل می‌شود (**شکل ۱**). با توجه به مساحت حوضه، ۸ ایستگاه به دلیل پراکنش مناسب آن‌ها نسبت به هم و وجود داده‌های تاریخی هواشناسی معتبر و کافی، انتخاب شدند. متغیرهای اقلیمی مورد بررسی شامل آمار روزانه پارامترهای بارش، حداقل و حداکثر دما در طول دوره آماری پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) است. **جدول (۱)**، مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های همدید واقع در حوضه آبریز کارون

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

میانگین سالانه بارش (mm)	میانگین سالانه دما (°C)	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		نام ایستگاه	نام اختصاری حوضه
			درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
۳۳۱	۱۱/۴	۲۰۴۸	۳۲	۱۷	۵۰	۵۱	شهرکرد	کارون بالا
۲۱۹/۷	۱۰/۷	۲۲۶۰	۳۱	۵۹	۵۱	۱۸	بروجن	کارون بالا
۱۳۲۶/۲	۹/۳	۲۲۸۵	۳۲	۲۵	۵۰	۰۶	کوهرننگ	کارون بالا
۵۱۶/۱	۱۵/۳	۱۵۸۰	۳۱	۳۱	۵۰	۴۹	لردگان	کارون بالا
۷۳۲/۵	۱۵/۲	۱۸۳۱	۳۰	۴۱	۵۱	۳۴	ياسوج	ياسوج (خرسان)
۲۵۸/۴	۲۶/۳	۶۷	۳۲	۰۳	۴۸	۵۰	شوشتر	کارون پایین
۳۶۵/۵	۲۵/۳	۳۲۰	۳۱	۵۶	۴۹	۱۷	مسجد سلیمان	کارون پایین
۵۶۹/۶	۲۰/۸	۸۲۷	۳۱	۵۰	۴۹	۵۲	ایذه	کارون پایین

هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی چشم‌انداز آبی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص خشکی یونپ می‌باشد. روش کار بدین صورت است که پس از کنترل کیفی داده‌ها و آشکارسازی روند سری سالانه فراسنج‌های مذکور طی دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) که با استفاده از آزمون روند من-کنندال انجام گرفت؛ داده‌های اقلیمی مورد بررسی با استفاده از مدل ریزمقیاس گاهی LARS-WG6 برای دوره پایه شبیه‌سازی می‌شود و پس از صحت‌سنجی مدل با کمک معیارهای نکویی برازش (R^2 ، RMSE، MSE، MAE)، داده‌های اقلیمی برای سه دوره زمانی آبی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) با استفاده از خروجی مدل

HadGEM2-ES^۱ که یکی از مدل‌های جفت شده CMIP5^۲ است، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تولید شدند. در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده، میزان تبخیر و تعرق دوره‌های مذکور با کمک معادله هارگریوز-سامانی^۳ (H-S) برآورد گردید. در پایان بر مبنای شاخص خشکی یونپ (UNEP)^۴، نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون، طی دوره‌های زمانی آتی و تحت سناریوهای مختلف انتشار در محیط ArcGIS تهیه گردید.

۲-۲- مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)

در خصوص مدل‌سازی اقلیمی دوره‌های آینده، روش‌های مختلفی وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها، مدل‌های گردش عمومی (GCM) هستند. یکی از چالش‌های مهم در مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ‌مقیاس بودن مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده است؛ بنابراین خروجی‌های حاصل از این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی و حتی حوضه آبخیز قابل استفاده نیستند؛ لذا باید خروجی‌های این مدل‌ها، ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس‌نمایی داده‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو معمولاً به دو روش آماری و دینامیکی صورت می‌گیرد. در این تحقیق، برای ریزمقیاس‌کاهی مدل‌های گردش عمومی، از مولد آب و هوایی LARS-WG^۵ لبداع‌شده توسط راسکو^۶ و همکاران (۱۹۹۱) و سمنوف و بارو^۶ (۱۹۹۷) استفاده شده است.

۲-۳- مدل ریزمقیاس‌کاهی LARS-WG6

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی آب و هوایی است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، دماهای حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. مبنای مدل LARS-WG برای مدل‌سازی، طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی هست. نسخه ۶ این مدل (LARS-WG6) در سال ۲۰۱۸، جهت ریزمقیاس‌کاهی داده‌های گزارش پنجم (CIMP5) به‌روز و منتشر گردید که در این پژوهش جهت ریزگردانی از داده‌های خروجی مدل جهانی HadGEM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) استفاده شد. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن‌ها، مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند؛ سپس به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه، مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود؛ سپس این خروجی‌ها، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی

1 Hadley centre global environment model- version 2

2 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

3 Hargreaves-Samani

4 United Nation Environment Programme

5 Racsko

6 Semenov and Barrow

داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی، نشان می‌دهد که می‌توان از مدل Lars-WG به منظور ریزمقیاس کاهی (در مقیاس ایستگاهی) خروجی مدل‌های اقلیمی GCM و برآورد تغییرات فراسنج‌های دما و بارش برای دوره آتی استفاده کرد. (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۴- معیارهای ارزیابی کارایی مدل

در این پژوهش، جهت بررسی عملکرد مدل LARS-WG6 از شاخص‌های ضریب تعیین^۱ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۲ (MSE)، مجذور میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) و میانگین مطلق خطا^۴ (MAE) استفاده شد؛ که روابط مربوط به آن‌ها در ادامه آورده شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^o \times Q_i^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Q_i^{o2} \times Q_i^{m2}}} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^m)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i^o - Q_i^m|}{n} \quad (4)$$

در این روابط، Q_i^o داده‌های مشاهداتی، Q_i^m داده‌های شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌هاست.

۲-۵- تحلیل روند با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال (MK) برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورداستفاده قرار می‌گیرد (ژانگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۰). در این آزمون، H_0 نشان‌دهنده عدم وجود روند و H_1 وجود روند را در سری زمانی داده‌ها نشان می‌دهد (گوچیچ و تراژکویچ^۶، ۲۰۱۳). آماره استاندارد Z در آزمون من-کندال از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند و برای اندازه‌گیری روند استفاده می‌شود. در آزمون MK، مقدار مثبت Z ، نشان‌دهنده روند صعودی است؛ درحالی‌که

1 Coefficient of Determination

2 Mean Squared Error

3 Root Mean Square Error

4 Mean Absolute Error

5 Zhang

6 Gocic and Trajkovic

مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند نزولی در سری زمانی است. باید توجه داشت که در این آزمون عدم پذیرش H_0 به این معنا نیست که روند در سری زمانی وجود ندارد؛ در حقیقت نشان می‌دهد که شواهد موجود برای نتیجه‌گیری عدم وجود روند در سری زمانی کافی نیست. در این پژوهش، برای انجام آزمون‌های روندیابی از نرم‌افزار MAKESENS2.0 تحت نرم‌افزار Excel که توسط سالمی^۱ و همکاران (۲۰۰۲) به‌منظور کشف و برآورد روند در سری‌های زمانی بارندگی و آلودگی جو در مؤسسه هواشناسی فنلاند توسعه یافته است؛ استفاده گردید.

۶-۲- شاخص خشکی یونپ (UNEP)

شاخص خشکی برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد با نام مخفف یونپ (UNEP) نسبت میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل را به‌عنوان ضریب خشکی در نظر می‌گیرد (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که دمای هوا تعیین‌کننده تبخیر و تعرق پتانسیل است؛ بنابراین رابطه یونپ بر مبنای مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین تبخیر و تعرق، بر اساس رابطه زیر بیان شده است.

$$DI = \frac{P}{ETP} \quad (5)$$

در این معادله، DI شاخص خشکی یونپ، P میانگین بارش سالانه به میلی‌متر و ETP میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر است.

شرایط اقلیمی بر اساس شاخص خشکی یونپ از فراخشک تا مرطوب و بسیار مرطوب طبقه‌بندی می‌گردد (جدول ۲).

جدول ۲- گروه‌های اصلی طبقه‌بندی اقلیمی یونپ (UNEP)، ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی آن‌ها

نوع اقلیم	ویژگی	معیار شناسایی	خطر بیابان‌زایی
VD	فراخشک	$DI > 0.05$	بیابان واقعی
D	خشک	$0.05 > DI > 0.2$	بسیار شدید
SD	نیمه‌خشک	$0.2 > DI > 0.5$	شدید
DSW	خشک نیمه مرطوب	$0.5 > DI > 0.65$	متوسط
SW	نیمه مرطوب	$0.65 > DI > 0.75$	کم
VW	مرطوب و بسیار مرطوب	$0.75 > DI > 0.85$	ندارد

۷-۲- روش هارگریوز-سامانی (H-S)

معادله هارگریوز-سامانی یکی از روش‌های شناخته‌شده و معتبر جهت محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق است. در این روش، لازم است برای دوره موردنیاز، دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما (TR) را در دوره موردنظر داشته باشیم. سپس با داشتن تابش خورشیدی (Ra)، مقدار تبخیر و تعرق به‌صورت معادله زیر قابل محاسبه است (هارگریوز-سامانی، ۱۹۸۵).

$$ETO = 0.0023R_a(T + 17.8)(TR)^{0.5} \quad (6)$$

که در آن: TR تفاوت حداکثر و حداقل دما برحسب درجه سلسیوس است. ETO همان واحدی را خواهد داشت که برای Ra انتخاب خواهیم کرد؛ که می‌توان آن را برحسب میلی‌متر در روز از جدول ویژه به دست آورد (علیزاده، ۱۳۸۷). مقادیر Ra برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر تابش خورشیدی (Ra) برحسب میلی‌متر در روز برای منطقه مورد مطالعه

Ra	Month	Ra	Month
۱۷/۸	july	۷/۶	january
۱۶/۱	august	۹/۶	february
۱۳/۵	september	۱۲/۷	march
۱۰/۷	october	۱۵/۳	april
۸/۲	november	۱۷/۴	may
۷	december	۱۸/۲	june

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل روند سالانه فراسنج‌های اقلیمی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

به‌منظور آشکارسازی روند در سری‌های مشاهداتی حداقل دما، حداکثر دما، بارش و تبخیر و تعرق سالانه، آزمون تعیین روند من-کندال به اجرا درآمد. این آزمون برای سری زمانی ۲۰ ساله دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵) برای ایستگاه‌های همدیدی یاسوج، ایذه، بروجن، شهرکرد، شوشتر، کوهرنگ، لردگان و مسجدسلیمان صورت گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول (۴) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند دمای حداقل سالانه در تمامی ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون به‌جز ایستگاه بروجن (-۰/۰۳)، افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه ایذه در سطح ۰/۰۵ و در ایستگاه‌های شوشتر و مسجدسلیمان در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است. دمای حداکثر در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، دارای روند افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه‌های بروجن و شوشتر در سطح ۰/۰۵ و در ایستگاه‌های ایذه و مسجدسلیمان در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. در دوره بیست ساله

پایه، روند سالانه سری مشاهداتی بارش در ایستگاه‌های یاسوج، بروجن و شهرکرد افزایشی و در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر، کوهرنگ و مسجدسلیمان دارای روند کاهشی و در ایستگاه لردگان، بدون روند می‌باشد؛ اما روند کاهشی و افزایشی بارش در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها، معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین روند تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه‌های شهرکرد، مسجدسلیمان، لردگان و کوهرنگ در سطح ۰/۰۵ و برای ایستگاه‌های ایذه و بروجن در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است. در سطح حوضه آبریز روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار می‌باشد؛ در حالی که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهشی است اما این روند کاهشی، معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۴- نتایج حاصل از تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵)

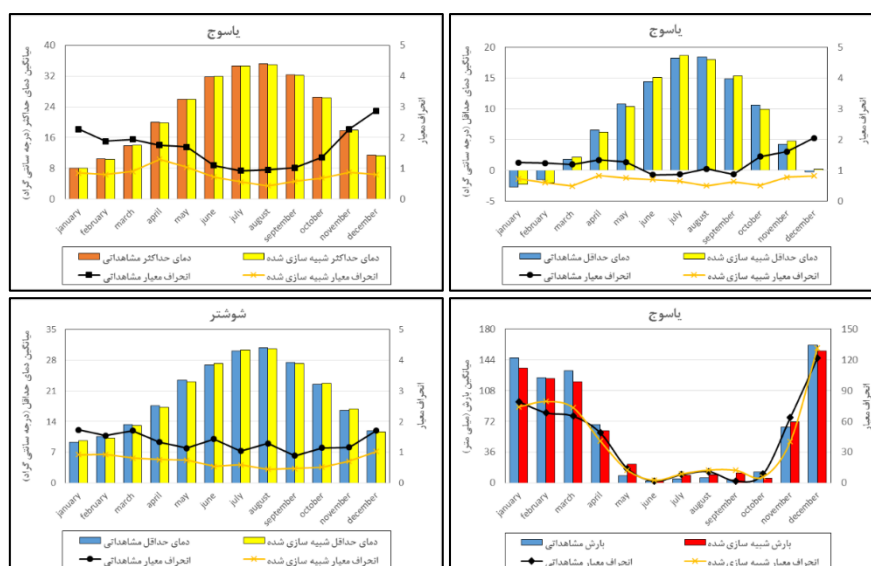
ایستگاه همدید				آماره	پارامتر
شهرکرد	بروجن	ایذه	یاسوج		
۰/۵۵	-۰/۰۳	۲/۴۳*	۰/۲۳	من کندال	دمای حداقل (°C)
افزایشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	روند	
۱/۲۰	۲/۱۷*	۲/۹۵**	۰/۷۵	من کندال	دمای حداکثر (°C)
افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند	
۰/۰۳	۰/۲۹	-۰/۵۵	۰/۷۲	من کندال	بارش (mm)
افزایشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	روند	
۲/۰۴*	۲/۸۹**	۲/۶۹**	۱/۲۰	من کندال	تبخیر و تعرق (mm)
افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند	
ایستگاه همدید				آماره	پارامتر
مسجدسلیمان	لردگان	کوهرنگ	شوشتر		
۳/۵۴**	۰/۶۸	۰/۵۵	۳/۲۱**	من کندال	دمای حداقل (°C)
افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند	
۲/۸۲**	۱/۴۶	۱/۵۹	۲/۴۳*	من کندال	دمای حداکثر (°C)
افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند	
-۰/۴۲	۰/۰۰	-۰/۷۵	-۱/۰۱	من کندال	بارش (mm)
کاهشی	بدون روند	کاهشی	کاهشی	روند	
۲/۱۱*	۲/۵۰*	۲/۵۶*	۱/۴۰	من کندال	تبخیر و تعرق (mm)
افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند	

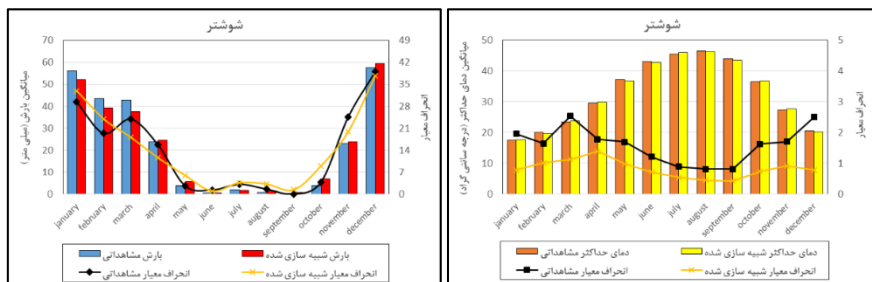
پارامتر				آماره	نام ایستگاه
تبخیر و تعرق (mm)	بارش (mm)	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)		
۲/۱۸*	-۰/۲۹	۱/۹۸*	۱/۳۳	من کندال	حوضه آبریز کارون
افزایشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	روند	

روند معنی دار به صورت ارقام پررنگ در سطح معنی داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد به ترتیب با * و ** مشخص شده‌اند.

۳-۲- نتایج ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG6 در شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای اقلیمی

به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل LARS-WG6، ابتدا مدل برای دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۶ اجرا گردید؛ سپس خروجی‌های مدل که شامل میانگین ماهانه دمای حداقل، حداکثر و بارش و انحراف معیار آن‌ها می‌باشد با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. شکل ۲، مقایسه میانگین و انحراف معیار دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز کارون (ایستگاه‌های یاسوج و شوشتر) را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصله، میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و همچنین انحراف معیار دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش به هم نزدیک بوده و اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند که حاکی از عملکرد مناسب مدل LARS-WG6 جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مذکور در منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تطابق و کمترین انحراف معیار مربوط به ماه‌های گرم و کم بارش است؛ به طوری که با افزایش تغییرات بارش در ماه‌های سرد سال، دقت مدل در شبیه‌سازی کاهش می‌یابد.





شکل ۲- مقایسه میانگین و انحراف معیار دمای حداکثر و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز کارون

جهت اطمینان از صحت سنجی مدل، از شاخص‌های ارزیابی (R^2 و $RMSE$, MSE , MAE) نیز استفاده شد **جدول (۵)**. نتایج حاصل نشان داد که مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های مذکور در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، دقت زیادی دارد. مقدار ضریب تعیین در پارامترهای حداقل و حداکثر دما در همه ایستگاه‌ها، بین ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ و برای بارش نیز از ۰/۸۷ در ایستگاه‌های یاسوج و شوشتر تا ۰/۹۶ در ایستگاه شهرکرد متغیر می‌باشد؛ بنابراین، مدل LARS-WG6، در شبیه‌سازی داده‌های دما از دقت مناسب‌تری نسبت به شبیه‌سازی داده‌های بارش برخوردار است.

جدول ۵- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG6 با استفاده از سنج‌های ارزیابی

شاخص				نوع پارامتر	ایستگاه‌های هواشناسی
R^2	RMSE	MSE	MAE		
۰/۹۹	۰/۰۶۶	۰/۰۰۴	۰/۰۵۴	دمای حداقل	یاسوج
۰/۹۹	۰/۲۰۷	۰/۰۴۳	۰/۱۶۷	دمای حداکثر	
۰/۸۷	۲/۸۳۹	۸/۰۶۰	۲/۱۱۲	بارش	
۰/۹۸	۰/۱۷۵	۰/۰۳۱	۰/۱۴۷	دمای حداقل	لردگان
۰/۹۹	۰/۰۷۹	۰/۰۰۶	۰/۰۶۷	دمای حداکثر	
۰/۸۸	۰/۹۲۱	۰/۸۴۸	۰/۷۰۳	بارش	
۰/۹۸	۰/۱۵۲	۰/۰۲۳	۰/۱۳۱	دمای حداقل	شهرکرد
۰/۹۹	۰/۱۵۸	۰/۰۲۵	۰/۱۳۴	دمای حداکثر	
۰/۹۶	۰/۵۶۰	۰/۳۱۴	۰/۴۰۸	بارش	
۰/۹۸	۰/۱۳۵	۰/۰۱۸	۰/۱۰۸	دمای حداقل	بروجن
۰/۹۹	۰/۱۹۷	۰/۰۳۹	۰/۱۶۴	دمای حداکثر	
۰/۹۱	۰/۶۰۴	۰/۳۶۴	۰/۴۸۸	بارش	
۰/۹۸	۰/۱۳۲	۰/۰۱۷	۰/۱۱۳	دمای حداقل	کوه‌رنگ
۰/۹۹	۰/۲۳۵	۰/۰۵۵	۰/۱۹۵	دمای حداکثر	

شاخص				نوع پارامتر	ایستگاه‌های هواشناسی
R ²	RMSE	MSE	MAE		
۰/۹۵	۲/۰۵۸	۴/۲۳۷	۱/۶۷۴	بارش	مسجدسلیمان
۰/۹۹	۰/۰۸۴	۰/۰۰۷	۰/۰۷۱	دمای حداقل	
۰/۹۹	۰/۱۳۶	۰/۰۱۹	۰/۱۱۶	دمای حداکثر	
۰/۹۲	۰/۶۸۳	۰/۴۶۷	۰/۵۴۳	بارش	ایذه
۰/۹۹	۰/۰۹۳	۰/۰۰۹	۰/۰۷۴	دمای حداقل	
۰/۹۹	۰/۱۸۸	۰/۰۳۵	۰/۱۵۴	دمای حداکثر	
۰/۹۱	۱/۱۵۵	۱/۳۳۵	۱/۰۰۲	بارش	شوشتر
۰/۹۹	۰/۱۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۸۹	دمای حداقل	
۰/۹۹	۰/۱۴۵	۰/۰۲۱	۰/۱۲۰	دمای حداکثر	
۰/۸۷	۰/۹۶۸	۰/۹۳۸	۰/۸۳۸	بارش	

۳-۳- پیش‌نگری تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آتی و تحت سناریوهای

انتشار RCPs

جدول (۶)، تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) را نشان می‌دهد. مطابق نتایج حاصله، میزان دما بر اساس هر سه سناریوی واداشت تابشی نسبت به دوره مشاهداتی افزایش یافته است؛ به طوری که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت الگوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حداقل به ترتیب برابر با ۱/۳، ۱/۲ و ۱/۴ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/۴، ۱/۶ و ۱/۶ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. از لحاظ ایستگاهی، بیشینه ناپهنجاری دمای حداقل، تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) در ایستگاه لردگان و نیز بر اساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و یاسوج به مقدار ۱/۵ °C مشاهده می‌شود. همچنین، بیشینه ناپهنجاری دمای حداکثر به میزان ۱/۹ °C، تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و مسجدسلیمان رخ خواهد داد. در این دوره، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۵/۶، ۶/۱ و ۳/۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش بارندگی در ایستگاه مسجدسلیمان و تحت سناریو RCP4.5 به مقدار ۲۵/۶ درصد و بیشترین درصد افزایش بارش، تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های بروجن و لردگان برابر با ۲۹/۳ و ۲۹/۱ درصد مشاهده می‌شود. همچنین مقدار افزایش تبخیر و تعرق سالانه برای سناریوهای خوش‌بینانه، حد وسط و بدبینانه به ترتیب ۵/۱، ۶/۲ و ۵/۸ درصد نسبت به دوره پایه خواهد بود. بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب مربوط

به ایستگاه‌های بروجن و شهرکرد است؛ به طوری که تحت سناریوی انتشار RCP4.5، مقدار تبخیر و تعرق ۷/۱ و ۶/۸ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت.

جدول ۶- تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه

ایستگاه	ایذه	بروجن	شهرکرد	شوشتر	کوه‌رنگ	لردگان	مسجد سلیمان	ياسوج	حوضه آبریز کارون
میانگین بارش-دوره پایه	۵۶۹/۶	۲۱۹/۷	۳۳۱	۲۵۸/۴	۱۳۲۶/۲	۵۱۶/۱	۳۶۵/۵	۷۳۲/۵	۵۳۹/۹
درصد تغییرات بارش (۲۰۴۰-۲۰۲۱)	RCP2.6	۲/۳	-۶/۸	-۶/۳	-۳/۱	-۵/۲	-۳/۹	-۱۰/۹	-۵/۶
	RCP4.5	-۱۷/۴	۱۲/۴	-۸/۵	۲/۸	-۱۰/۲	-۲۵/۶	۰/۱	-۶/۱
	RCP8.5	-۰/۱	۲۹/۳	-۲۱/۲	۱۸۷	-۱۷/۵	۲۹/۱	۴/۵	-۳/۷
میانگین دمای حداقل-دوره پایه	۱۳/۷	۲/۹	۳	۲۰	۲/۵	۷/۱	۱۹/۱	۸	۹/۵
تغییرات دمای حداقل (۲۰۴۰-۲۰۲۱)	RCP2.6	۱/۲	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱/۳
	RCP4.5	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۱	۱/۳	۱/۲
	RCP8.5	۱/۵	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱/۳	۱/۴
میانگین دمای حداکثر-دوره پایه	۲۸	۱۸/۵	۱۹/۹	۳۲/۵	۱۶/۱	۲۳/۵	۳۱/۵	۲۲/۳	۲۴/۱
تغییرات دمای حداکثر (۲۰۴۰-۲۰۲۱)	RCP2.6	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۵	۱/۴	۱/۶	۱/۴	۱/۴
	RCP4.5	۱/۹	۱/۶	۱/۶	۱/۹	۱/۵	۱/۳	۱/۹	۱/۶
	RCP8.5	۱/۸	۱/۶	۱/۶	۱/۸	۱/۶	۱/۴	۱/۸	۱/۶
میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه	۱۷۶۶/۵	۱۳۶۳/۴	۱۴۷۵/۳	۱۸۸۱/۵	۱۲۵۴/۵	۱۵۹۶/۱	۱۸۲۹/۷	۱۴۵۹/۴	۱۵۷۹/۶
درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰۴۰-۲۰۲۱)	RCP2.6	۴/۹	۶/۳	۵/۹	۵/۳	۵/۷	۴/۸	۴/۴	۵/۱
	RCP4.5	۵/۹	۷/۱	۶/۸	۶/۷	۶/۶	۴/۵	۵/۴	۶/۲
	RCP8.5	۵/۳	۷/۱	۶/۷	۵/۴	۶/۵	۴/۷	۵/۶	۵/۸

جدول (۷)، تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده میانه (۲۰۶۰-۲۰۴۱) را نشان می‌دهد. میزان دما بر اساس هر سه الگوی واداشت تابشی نسبت به دوره مشاهداتی، افزایش خواهد یافت؛ به طوری که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حداقل به ترتیب برابر با ۱/۴، ۲/۸ و ۲/۶ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/۴، ۲/۲ و ۲/۸ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشینه نابهنجاری دمای بر اساس سناریو RCP8.5 در دو ایستگاه ایذه و یاسوج (۲/۸ °C) مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه نابهنجاری دمای حداکثر، تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و مسجد سلیمان (۳/۱ °C) رخ می‌دهد. در این دوره، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر

با ۸/۸، ۱۱/۹ و ۷/۸ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین درصد کاهش بارندگی در ایستگاه مسجد سلیمان و تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) به مقدار ۲/۱ درصد رخ خواهد داد. مقدار تبخیر و تعرق سالانه نیز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که به طور متوسط این افزایش برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۴/۹، ۸/۱ و ۹/۵ درصد خواهد بود. بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه در این دوره مربوط به ایستگاه بروجن است؛ به گونه‌ای که تحت سناریو RCP8.5، مقدار تبخیر و تعرق، ۱۰/۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت.

جدول ۷- تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه

در دوره آینده میانه و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه

ایستگاه	ایده	بروجن	شهرکرد	شوشتر	کوه‌رنگ	لردگان	مسجد سلیمان	یاسوج	حوضه آبریز کارون
میانگین بارش-دوره پایه	۵۶۹/۶	۲۱۹/۷	۳۳۱	۲۵۸/۴	۱۳۳۶/۲	۵۱۶/۱	۳۶۵/۵	۷۳۲/۵	۵۳۹/۹
درصد تغییرات بارش (۲۰۶۰-۲۰۴۱)	RCP2.6	۱/۹	-۱۳/۱	-۶/۶	-۱۷/۹	-۷/۷	-۱۵/۸	-۱۷/۱	-۸/۸
	RCP4.5	-۱۵/۶	-۷/۶	-۱۱/۴	-۱۶/۶	-۱۱/۴	-۹/۲	-۳/۸	-۱۱/۹
	RCP8.5	-۴/۳	-۶/۷	-۵/۸	-۱۸	-۶	-۱۰	-۷/۴	-۷/۸
میانگین دمای حداقل-دوره پایه	۱۳/۷	۲/۹	۳	۲۰	۲/۵	۷/۱	۱۹/۱	۸	۹/۵
تغییرات دمای حداقل (۲۰۶۰-۲۰۴۱)	RCP2.6	۱/۳	۱/۷	۱/۶	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴
	RCP4.5	۲/۱	۲	۱/۹	۱/۶	۲	۱/۶	۲/۲	۲
	RCP8.5	۲/۸	۲/۵	۲/۵	۲/۴	۲/۵	۲/۳	۲/۸	۲/۶
میانگین دمای حداکثر-دوره پایه	۲۸	۱۸/۵	۱۹/۹	۳۲/۵	۱۶/۱	۲۳/۵	۳۱/۵	۲۲/۳	۲۴/۱
تغییرات دمای حداکثر (۲۰۶۰-۲۰۴۱)	RCP2.6	۱/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۷	۱/۴	۱/۶	۱/۵	۱/۴
	RCP4.5	۲/۴	۲/۲	۲/۲	۲/۴	۲/۲	۲/۴	۲/۳	۲/۲
	RCP8.5	۳/۱	۲/۸	۲/۸	۳/۱	۲/۷	۲/۴	۳/۱	۲/۸
میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه	۱۷۶۷/۵	۱۳۷۳/۴	۱۴۷۵/۳	۱۸۸۱/۵	۱۲۵۴/۵	۱۵۹۶/۱	۱۸۲۹/۷	۱۴۵۹/۴	۱۵۷۹/۶
درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰۶۰-۲۰۴۱)	RCP2.6	۴/۵	۵/۱	۵	۶	۴/۶	۴/۴	۴/۸	۴/۹
	RCP4.5	۷/۱	۹/۱	۸/۷	۸/۵	۷/۲	۸/۱	۷/۴	۸/۱
	RCP8.5	۹	۱۰/۷	۱۰/۳	۹/۶	۱۰/۶	۷/۵	۹/۶	۹/۵

میانگین تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) در جدول (۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان دما بر اساس هر سه سناریوی انتشار نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. به طوری که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حداقل به ترتیب برابر با ۱/۲، ۲/۳ و ۳/۴ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/۳، ۲/۸ و ۳/۷ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. از لحاظ ایستگاهی، بیشینه

ناهنجاری دمای حداقل، بر اساس الگوی واداشتی حد بالا (RCP8.5) در ایستگاه‌های ایزده و یاسوج (به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۳/۷ درجه سلسیوس) مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه ناهنجاری دمای حداکثر تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های شوشتر و مسجدسلیمان واقع در غرب حوضه (برابر با ۴/۱ درجه سلسیوس) رخ می‌دهد. در دوره آینده دور، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۱/۹، ۱۴/۶ و ۱۰/۶ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش بارندگی در ایستگاه مسجدسلیمان، تحت سناریو RCP4.5 به مقدار ۳۵/۸ درصد مشاهده می‌شود. همچنین، مقدار تبخیر و تعرق سالانه در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که به‌طور متوسط این افزایش برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۴/۷، ۱۰/۲ و ۱۲/۳ درصد خواهد بود. از نظر ایستگاهی، بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه مربوط به ایستگاه بروجن است؛ به‌طوری‌که تحت سناریوی حد بالا (RCP8.5) مقدار تبخیر و تعرق، ۱۳/۹ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. با توجه به یافته‌های حاصل از تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده دور می‌توان نتیجه گرفت که نواحی سردسیر و کوهستانی شمال و شرق حوضه آبریز کارون بیش از دیگر مناطق آن متأثر از تغییر اقلیم آینده خواهد بود.

جدول ۸- تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه

در دوره آینده دور و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه

ایستگاه	ایزده	بروجن	شهرکرد	شوشتر	کوه‌رنگ	لردگان	مسجد سلیمان	یاسوج	حوضه آبریز کارون
میانگین بارش-دوره پایه	۵۶۹/۶	۲۱۹/۷	۳۳۱	۲۵۸/۴	۱۳۲۶/۲	۵۱۶/۱	۳۶۵/۵	۷۳۲/۵	۵۳۹/۹
درصد تغییرات بارش (۲۰۸۰-۲۰۶۱)	RCP2.6	-۲/۹	۲/۷	-۲/۵	۱/۶	۰/۵	-۱/۰	-۵/۹	-۱/۹
	RCP4.5	-۲۱/۷	-۴/۶	-۸/۷	-۲۴	-۱۲/۴	-۳۵/۸	-۱۱/۴	-۱۴/۶
	RCP8.5	-۲۳/۷	-۸/۷	-۳/۳	-۲۴/۲	-۳/۷	-۱۲/۱	-۳۰/۳	-۱۰/۶
میانگین دمای حداقل-دوره پایه	۱۳/۷	۲/۹	۳	۲۰	۲/۵	۷/۱	۱۹/۱	۸	۹/۵
تغییرات دمای حداقل (۲۰۸۰-۲۰۶۱)	RCP2.6	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۰/۸	۱/۲	۰/۹	۱/۳	۱/۲
	RCP4.5	۲/۳	۲/۶	۲/۵	۱/۶	۲/۴	۱/۸	۲/۴	۲/۳
	RCP8.5	۳/۷	۳/۳	۳/۳	۱/۳	۳/۴	۳	۳/۶	۳/۴
میانگین دمای حداکثر-دوره پایه	۲۸	۱۸/۵	۱۹/۹	۳۲/۵	۱۶/۱	۲۳/۵	۳۱/۵	۲۲/۳	۲۴/۱
تغییرات دمای حداکثر (۲۰۸۰-۲۰۶۱)	RCP2.6	۱/۴	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱/۳	۱/۳
	RCP4.5	۳/۱	۲/۸	۲/۸	۳/۱	۲/۷	۳/۱	۲/۸	۲/۸
	RCP8.5	۴	۳/۷	۳/۷	۴/۱	۳/۵	۴/۱	۳/۸	۳/۷
میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه	۱۷۶/۵	۱۳۷/۴	۱۴۷/۳	۱۸۱/۵	۱۲۵/۵	۱۵۹/۶	۱۸۲/۷	۱۴۵/۴	۱۵۷/۶
درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰۸۰-۲۰۶۱)	RCP2.6	۴/۳	۴/۹	۴/۷	۵/۶	۵	۴/۸	۳/۸	۴/۷
	RCP4.5	۹/۵	۱۰/۸	۱۰/۴	۱۱/۳	۱۱/۱	۸/۴	۹/۵	۱۰/۲
	RCP8.5	۱۱/۱	۱۳/۹	۱۳/۳	۱۲/۶	۱۳/۴	۱۰/۳	۱۲/۴	۱۲/۳

۳-۴- طبقه‌بندی و پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵)

جدول ۹، نوع اقلیم و خطر بیابان‌زایی هر یک از ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون را بر اساس شاخص آب‌وهوایی یونپ در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵) نشان می‌دهد. از میان هفت نوع طبقه آب و هوایی بر پایه شاخص مذکور، چهار نوع اقلیم در محدوده حوضه آبریز کارون وجود دارد. براین اساس، ایستگاه‌های بروجن، مسجدسلیمان و شوشتر با مقدار کمتر از ۰/۲ در طبقه اقلیمی خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و ایستگاه‌های لردگان، شهرکرد و ایذه با مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۵ در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید قرار می‌گیرند. یاسوج با مقدار ضریب خشکی بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ از اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط و ایستگاه کوه‌رنگ با مقدار ضریب خشکی بیشتر از ۰/۷۵ از اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) برخوردار هستند.

جدول ۹- طبقه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص یونپ در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵)

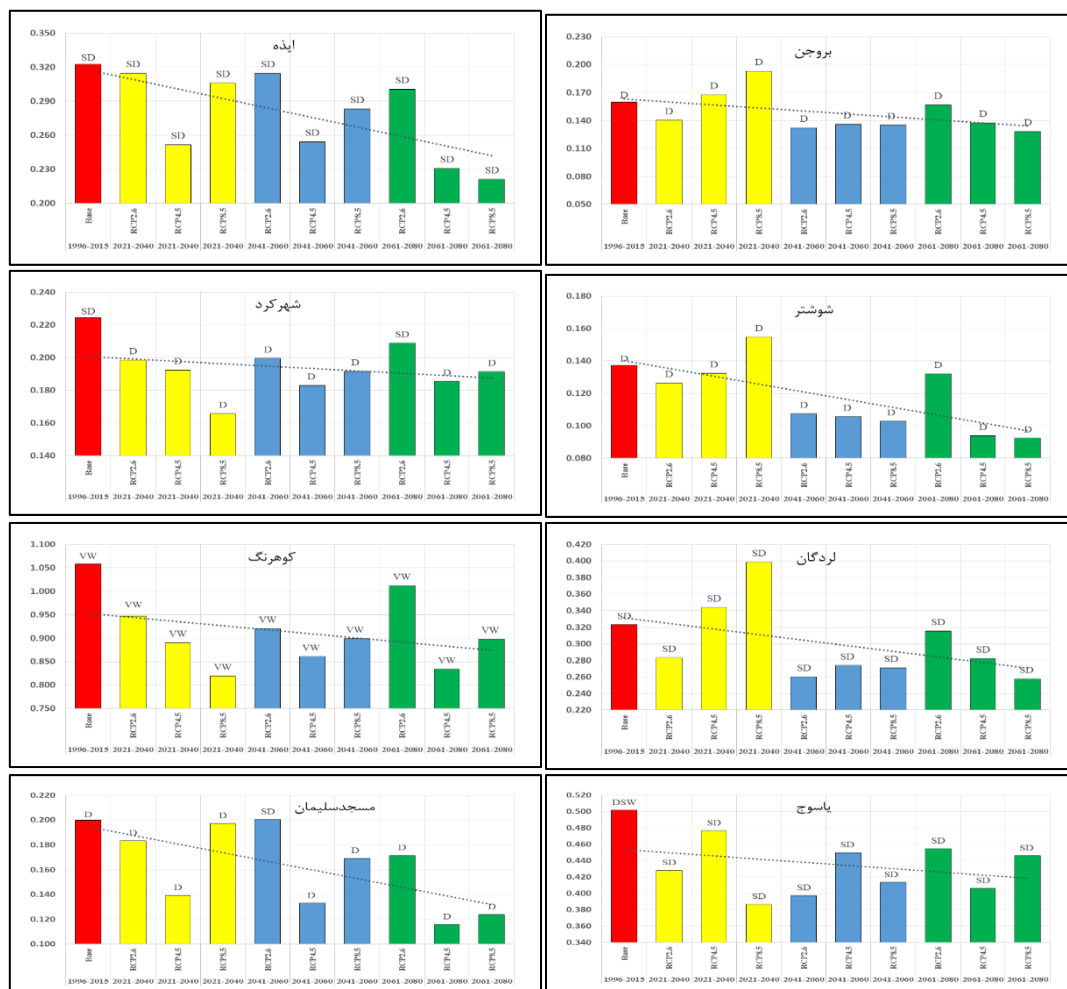
نام ایستگاه هواشناسی	مقادیر بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص یونپ در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۱۵)			نوع اقلیم	خطر بیابان‌زایی
	DI	ETP	P		
یاسوج	۷۳۲/۵	۱۴۵۹/۴	۰/۵۰۲	خشک نیمه مرطوب	متوسط
لردگان	۵۱۶/۱	۱۵۹۶/۱	۰/۳۲۳	نیمه‌خشک	شدید
شهرکرد	۳۳۱	۱۴۷۵/۳	۰/۲۲۴	نیمه‌خشک	شدید
بروجن	۲۱۹/۷	۱۳۷۳/۴	۰/۱۶۰	خشک	بسیار شدید
کوه‌رنگ	۱۳۲۶/۲	۱۲۵۴/۵	۱/۰۵۷	مرطوب و بسیار مرطوب	ندارد
مسجدسلیمان	۳۶۵/۵	۱۸۲۹/۷	۰/۱۹۹	خشک	بسیار شدید
ایذه	۵۶۹/۶	۱۷۶۶/۵	۰/۳۲۲	نیمه‌خشک	شدید
شوشتر	۲۵۸/۴	۱۸۸۱/۵	۰/۱۳۷	خشک	بسیار شدید

۳-۵- طبقه‌بندی و پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص یونپ در دوره‌های آبی و تحت و

سناریوهای انتشار RCPs

شکل ۳، نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص خشکی یونپ، طی سه دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. نتایج، بیانگر آن است که بر اثر تغییرات اقلیمی آینده در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهش ضریب شاخص یونپ رخ خواهد داد؛ به طوری که طی هر سه دوره زمانی آینده و تحت هر سه الگوی واداشت تابشی در ایستگاه‌های بروجن و شوشتر، اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و در ایستگاه‌های ایذه و لردگان، اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید و در ایستگاه کوه‌رنگ، اقلیم مرطوب و بسیار

مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) حاکم خواهد شد که نسبت به شرایط اقلیم کنونی تغییر نخواهد کرد؛ اما مقدار شاخص خشکی از زمان حاضر تا دوره‌های آتی، کاهش داشته و دارای روند نزولی می‌باشد. در دوره بیست‌ساله مشاهداتی، ایستگاه شهرکرد که دارای اقلیم SD با خطر بیابان‌زایی شدید هست در همه دوره‌های زمانی آینده (به‌جز آینده دور و تحت سناریو RCP2.6) به اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید تغییر خواهد یافت. ایستگاه یاسوج که در دوره پایه، دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط می‌باشد؛ طی دوره‌های آتی و تحت هر سه سناریوی موردبررسی به اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید تغییر خواهد یافت. در ایستگاه مسجدسلیمان، هم در دوره پایه و هم در دوره‌های آتی، آب‌وهوای خشک (D) مشاهده می‌شود و فقط در دوره آینده میانه و تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6)، اقلیم نیمه‌خشک (SD) حاکم خواهد شد.

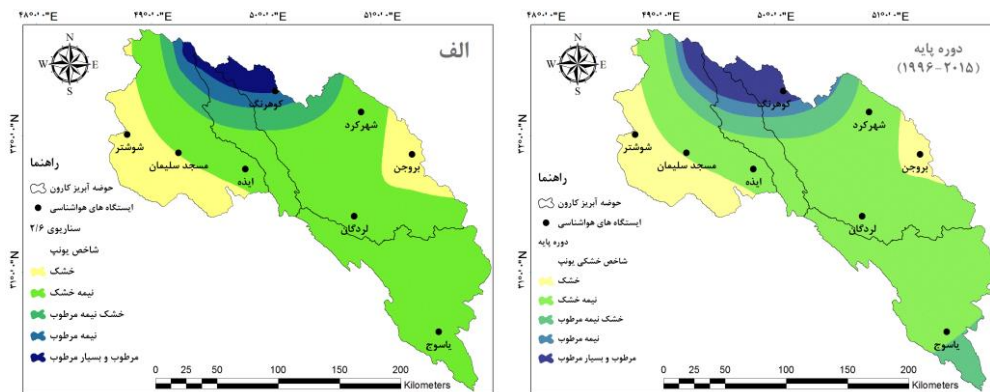


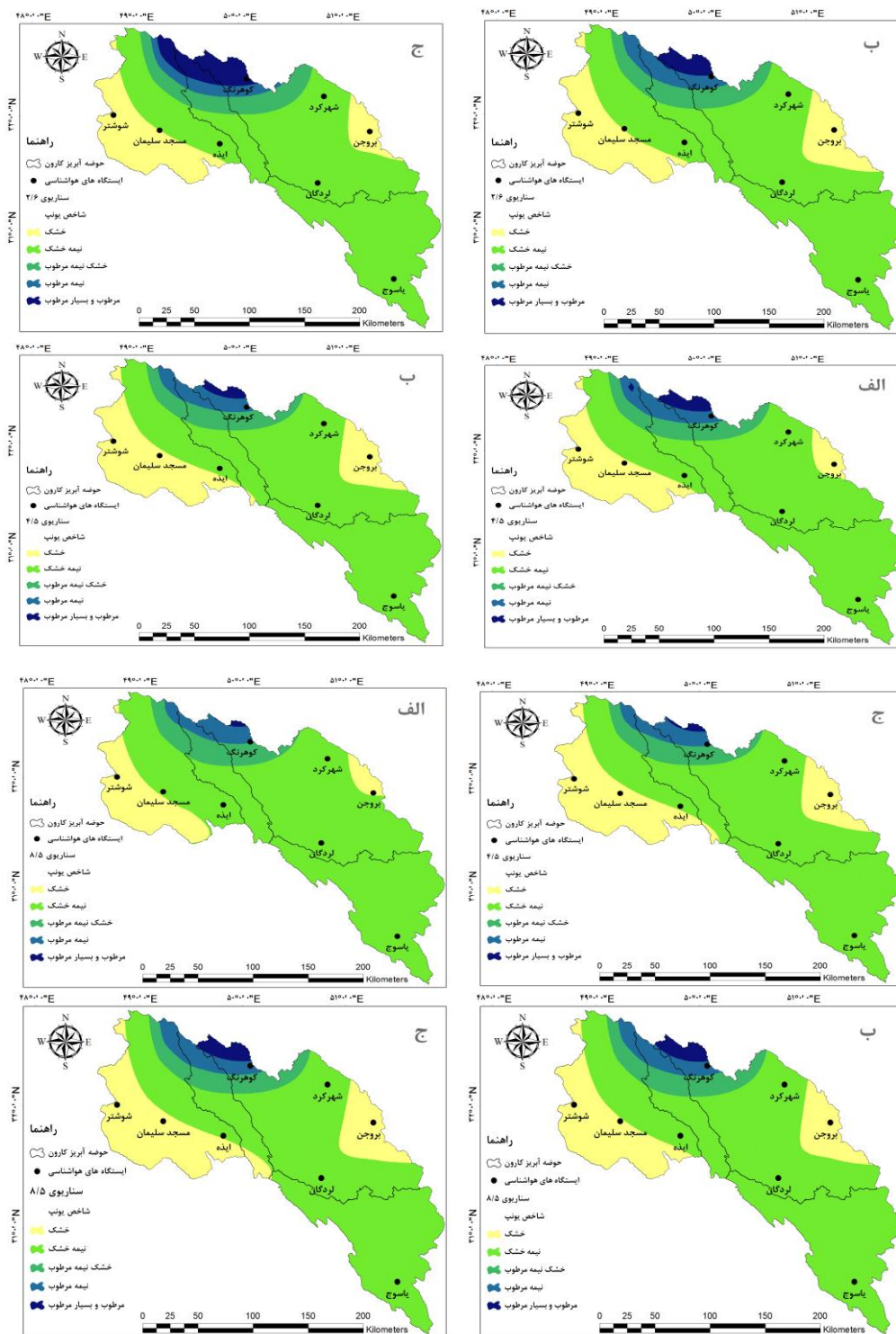
شکل ۳- نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص یونپ در دوره پایه و

دوره‌های زمانی آینده و تحت سناریوهای انتشار RCPs

در شکل ۴، پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره مشاهداتی و دوره‌های زمانی آینده و تحت الگوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله در دوره پایه، قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه (در حدود ۶۰ درصد) دارای اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید است که بیشتر در مناطق جنوبی و مرکزی حوضه مشاهده می‌شود. قسمت‌های غربی حوضه و بخش کوچکی از شرق حوضه از اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید برخوردار است. محدوده کوچکی از مناطق جنوبی و شمالی حوضه دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط و ناحیه کوهستانی شمال حوضه دارای آب‌وهوای مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) است؛ اما طبق یافته‌های تحقیق، در دوره‌های آتی، تغییراتی در مقدار وسعت مناطق دارای اقلیم‌های مذکور حاصل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مرزهای طبقه‌بندی آب و هوایی بر اساس شاخص یونپ، طی دوره‌های زمانی مورد بررسی شاهد جابه‌جایی‌های فراوانی بوده است (جدول ۱۰ و شکل ۴). بر اساس یافته‌های پژوهش، اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید که با ۱۵/۱ درصد از مساحت سطح حوضه در دوره مشاهداتی، مناطق غربی و بخش کوچکی از شرق منطقه مورد مطالعه را پوشش داده است در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 شاهد افزایش ۲/۸ و ۱/۵ درصدی و تحت سناریوی RCP8.5 شاهد کاهش ۰/۹ درصدی بوده است (شکل ۴-الف). در دوره‌های آینده میانه و دور و بر اساس هر سه الگوی واداشت تابشی، مساحت این نوع اقلیم افزایش خواهد یافت. در دوره بیست‌ساله آینده میانه، بیشترین افزایش در مساحت اقلیم خشک، تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) به مقدار ۵/۶ درصد و در دوره آینده دور و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) به میزان ۶/۹ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ۴-ب و ۴-ج). اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید که بیشتر در مناطق مرکزی و جنوبی و بخش کوچکی از مناطق شمالی حوضه گسترش یافته است و با ۶۱ درصد، بیشترین مقدار وسعت سطح حوضه در دوره پایه را داشت، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آینده نزدیک، این رقم به ۶۴/۴، ۶۷/۴ و ۷۳/۵ درصد، در دوره آینده میانه، مساحت این نوع اقلیم به ۶۴/۳، ۶۵/۳ و ۶۴/۶ و در دوره آینده دور به ۶۰/۷، ۶۶/۶ و ۶۲/۶ درصد خواهد رسید. در واقع، بیشترین مقدار افزایش مساحت اقلیم نیمه‌خشک در دوره ۲۰ ساله آینده نزدیک و تحت سناریو RCP8.5 به میزان ۱۲/۴ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج). نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی در دوره‌های زمانی آینده نشان می‌دهد که اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط به‌صورت یک نوار نیم‌دایره‌ای در شمال منطقه مورد مطالعه گسترش یافته است. در دوره مشاهداتی، در حدود ۱۲/۸ درصد سطح حوضه دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب می‌باشد که تحت هر سه الگوی مورد بررسی، شاهد کاهش مساحت تحت پوشش این نوع اقلیم خواهیم بود؛ به‌طوری‌که بیشترین کاهش در مساحت اقلیم DSW در دوره آینده دور و تحت سناریو RCP4.5 برابر با ۵/۲ و پس از آن در دوره آینده میانه، تحت همین سناریو و به میزان ۴/۹ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ۴-ب و ۴-ج).

ج). اقلیم نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی کم با ۴ درصد، کمترین مقدار وسعت سطح حوضه در دوره مشاهداتی را به خود اختصاص داده که به‌صورت یک نوار باریک در شمال منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. مساحت این نوع اقلیم در دوره‌های آتی و تحت سناریوهای مختلف انتشار، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. در دوره آینده نزدیک (تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5)، در دوره آینده میانه (تحت هر سه سناریو) و در دوره آینده دور (تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5)، مساحت تحت پوشش اقلیم نیمه مرطوب از ۰/۵ تا ۱/۲ درصد افزایش خواهد داشت؛ اما در دوره آینده نزدیک و بر اساس سناریوی بدبینانه، مساحت این نوع اقلیم به میزان ۰/۳ درصد کاهش و در دوره آینده دور و تحت سناریوی خوش‌بینانه، مساحت آن بدون تغییر خواهد بود (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج). اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به‌صورت یک ناحیه کوچک در منتهی‌الیه شمال حوضه آبریز کارون گسترش یافته است. در دوره بیست‌ساله پایه، تقریباً ۷ درصد منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم VW با شرایط آب و هوایی مرطوب و بسیار مرطوب است که در هر سه دوره آتی و بر اساس هر سه سناریوی مورد بررسی، شاهد کاهش وسعت تحت پوشش این نوع اقلیم خواهیم بود؛ به‌طوری‌که بیشترین کاهش در مساحت این نوع اقلیم، در دوره آینده نزدیک (تحت سناریو RCP8.5) برابر با ۶/۸ درصد، در دوره آینده میانه (تحت سناریو RCP4.5) به مقدار ۵/۹ درصد و در دوره آینده دور (تحت سناریو RCP4.5) به میزان ۶/۳ درصد به وقوع خواهد پیوست (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج).





شکل ۴- پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره آینده نزدیک (الف)،

آینده میانه (ب)، آینده دور (ج) و تحت سناریوهای انتشار RCPs

جدول ۱۰- مساحت و درصد پهنه‌های اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره پایه و دوره‌های زمانی آینده و تحت سناریوهای انتشار RCPs

مربوط و بسیار مربوط (VW)	نیمه مربوط (SW)	خشک نیمه مربوط (DSW)	نیمه‌خشک (SD)	خشک (D)	نوع اقلیم		
					خطر بیابان‌زایی		
ندارد	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید	مساحت (کیلومتر مربع)	دوره پایه	مقدار شاخص خشکی
۲۶۵۸	۱۵۴۲	۴۸۹۰	۲۳۲۵۳	۵۷۶۱	مساحت (درصد)		
۷	۴	۱۲/۸	۶۱	۱۵/۱			
۱۳۵۲	۱۷۱۷	۳۶۸۷	۲۴۵۲۰	۶۸۲۸	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP2.	مقدار شاخص خشکی
۳/۵	۴/۵	۹/۷	۶۴/۴	۱۷/۹	مساحت (درصد)	6	
۸۰۳	۲۱۰۲	۳۱۸۲	۲۵۶۷۸	۶۳۳۹	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP4.	خشکی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)
۲/۱	۵/۵	۸/۴	۶۷/۴	۱۶/۶	مساحت (درصد)	5	
۹۲	۱۴۲۹	۳۱۷۵	۲۷۹۹۶	۵۴۱۲	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP8.	
۰/۲	۳/۸	۸/۳	۷۳/۵	۱۴/۲	مساحت (درصد)	5	
۸۴۱	۱۹۹۸	۳۴۱۲	۲۴۴۹۵	۷۳۵۸	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP2.	مقدار شاخص خشکی
۲/۲	۵/۲	۹	۶۴/۳	۱۹/۳	مساحت (درصد)	6	
۴۱۶	۱۹۲۵	۳۰۰۷	۲۴۸۸۰	۷۸۷۶	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP4.	خشکی آینده میانه (۲۰۴۱-۲۰۶۰)
۱/۱	۵/۱	۷/۹	۶۵/۳	۲۰/۷	مساحت (درصد)	5	
۷۹۵	۱۹۱۰	۳۳۱۴	۲۴۶۰۰	۷۴۸۵	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP8.	
۲/۱	۵	۸/۷	۶۴/۶	۱۹/۶	مساحت (درصد)	5	
۲۴۷۶	۱۵۴۵	۴۶۲۰	۲۳۱۴۵	۶۳۱۸	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP2.	مقدار شاخص خشکی
۶/۵	۴/۱	۱۲/۱	۶۰/۷	۱۶/۶	مساحت (درصد)	6	
۲۵۲	۱۸۸۷	۲۸۹۱	۲۵۳۸۴	۷۶۹۰	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP4.	خشکی آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰)
۰/۷	۵	۷/۶	۶۶/۶	۲۰/۲	مساحت (درصد)	5	
۷۸۵	۱۹۷۸	۳۱۲۰	۲۳۸۴۰	۸۳۸۱	مساحت (کیلومتر مربع)	RCP8.	
۲/۱	۵/۲	۸/۲	۶۲/۶	۲۲	مساحت (درصد)	5	

۴- جمع‌بندی

در این مطالعه، پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص خشکی UNEP پیش‌بینی گردید. بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال، مشخص گردید که در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و در سطح حوضه آبریز کارون، روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار می‌باشد؛ در حالی که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهشی است اما این روند کاهشی، معنی‌دار نمی‌باشد. مطابق یافته‌های تحقیق در هر سه دوره

آبی و بر اساس سناریوهای انتشار RCPs، متوسط بلندمدت بارش سالانه بین ۱/۹ تا ۱۴/۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد اما متوسط سالانه دمای حداقل بین ۱/۲ تا ۳/۴ درجه سلسیوس، دمای حداکثر بین ۱/۳ تا ۳/۷ درجه سلسیوس و میانگین سالانه تبخیر و تعرق بین ۴/۷ تا ۱۲/۳ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. در دوره‌های آبی و بر اساس سناریوهای موردمطالعه، وسعت اقلیم خشک (خطر بیابان‌زایی بسیار شدید) و اقلیم نیمه‌خشک (خطر بیابان‌زایی شدید) به ترتیب ۳/۵ و ۴/۴ درصد افزایش و مساحت اقلیم خشک نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی متوسط) و اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به ترتیب ۴ و ۴/۷ درصد کاهش خواهد یافت؛ اما قلمرو آب و هوایی نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی کم) با ۰/۸+ درصد، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. گستره اقلیم نیمه‌خشک در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوی بدبینانه، با ۱۲/۴ درصد افزایش به بیشترین سطح ممکن در بین سناریوهای انتشار خواهد رسید؛ لذا این جابه‌جایی در مرزهای طبقه‌بندی اقلیمی، باعث تشدید روند بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آبی خواهد شد.

نتایج این تحقیق با مطالعات پورمحمدی و ملکی نژاد (۱۳۹۲) در ایران، طائی سیمیری و همکارانش (۱۳۹۴) در حوضه آبخیز نیشابور، طاووسی (۱۳۹۷) در غرب و شمال غرب ایران، بذرافشان دریاسری و همکاران (۱۳۹۴) در استان گلستان، محمدلو و طهماسبی پور (۱۳۹۶) در شمال غرب ایران، میرموسوی و کیانی (۱۳۹۶) و رضایی (۱۳۹۶) در سطح ایران و شکبیا و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان مطابقت دارد. پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی انکارنپذیر که برای دوره‌های زمانی آینده پیش‌بینی شده، موجب تغییر پهنه‌های اقلیمی و به تبع آن خطرات بیابان‌زایی در منطقه موردمطالعه گردیده است. اگر این تغییرات آب و هوایی با دیگر عوامل تشدیدکننده بیابان‌زایی مثل چرای بی‌رویه، جنگل‌زدایی، افت منابع آب زیرزمینی، فرسایش آبی و غیره همراه باشد، می‌تواند در تشدید تخریب سرزمین این منطقه مؤثر باشد؛ بنابراین ضرورت دارد هرگونه تغییر در اقلیم آینده به‌عنوان اولین زنجیره تأثیرگذار در تغییر قلمروهای آب و هوایی و فرآیندهای بیابان‌زایی موردتوجه قرار گیرد.

کتاب‌نامه

- آقاشاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک سخن، محمدحسین؛ طهماسبی، بهشته؛ ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به‌منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران. <https://civilica.com/doc/170203>
- بذرافشان دریاسری، مهران؛ مفتاح هلقی، مهدی؛ قربانی، خلیل؛ قهرمان، نوذر؛ ۱۳۹۴. مطالعه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۲ (۵)، ۱۸۷-۲۰۲.

https://jwsc.gau.ac.ir/article_2872.html

پورمحمدی، سمانه؛ ملکی نژاد، حسین؛ ۱۳۹۲. طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی کشور ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تکنیک گشتاور خطی. *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*، ۴ (۸)،

<http://jwmmr.sanru.ac.ir/article-1-317-fa.html>. ۷۶-۵۸

رضیعی، طیب؛ ۱۳۹۶. چشم‌اندازی از مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-کایگر در سده بیست و یکم. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱ (۱)، ۸۴-۱۰۰. http://www.ijgeophysics.ir/article_46717.html

شجاع، فائزه؛ طاووسی، تقی؛ عسگری، الهه؛ ۱۳۹۸. بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی. *مجله مدیریت بیابان*، ۷ (۱۳)، ۱۱۷-۱۳۴.

<https://doi.org/10.22034/JDMAL.2019.36538>

شکیبا، علیرضا؛ رائینی سرجاز، محمود؛ متکان، علی‌اکبر؛ رحیمی، محمد؛ ۱۳۹۹. تحلیل پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بر اساس طرح طبقه‌بندی کوپن-تراورتا با رویکرد تغییر اقلیم. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴۰ (۴۰)، ۱-۱۱. http://clima.irimo.ir/article_113828.html

طاووسی، تقی؛ ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷ (۱۰۵)، ۸۵-۹۶.

http://www.sepehr.org/article_31475.html

طاووسی، تقی؛ دل‌آرا، قدیر؛ ۱۳۸۹. پهنه‌بندی آب و هوایی استان اردبیل. *مجله علمی و فنی نیوار*، ۳۴ (۷۱-۷۰)، ۴۷-۵۲.

http://nivar.irimo.ir/article_13228.html

طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ ۱۳۹۴. پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷ (۲)، ۱۵۶-۱۴۵.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_101258.html

علیزاده، امین؛ ۱۳۸۷. *هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

فاخر نسب، احمد؛ علیجانی، بهلول؛ اسدیان، فریده؛ ۱۳۹۹. آشکارسازی تغییرات دمای هوا و بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل MIROC5. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۳ (۵۰)، ۳۵-۱۵.

http://jopg.iaularestan.ac.ir/article_679718.html

کارآموز، محمد؛ عراقی نژاد، شهاب؛ ۱۳۹۳. *هیدرولوژی پیشرفته*. انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران.

گل کار حمزبی یزد، حمیدرضا؛ رضایی نژاد، محمد و طاووسی، مجتبی؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با نرم افزار GIS. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۶ (۱)، ۴۷-۵۹.

https://wsrj.srbiau.ac.ir/article_9463.html

محمملو، محمد؛ طهماسبی پور، ناصر؛ ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طبقه بندی‌های اقلیمی در قسمت‌هایی از شمال غرب ایران. *مجله علمی سامانه‌های سطوح آبخیز باران*، ۵ (۴)، ۳۵-۴۶.

<http://jircsa.ir/article-1-285-fa.html>

میرموسوی، سید حسین؛ کیانی، حدیث؛ ۱۳۹۶. بررسی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در ایران در سال ۱۹۷۵ و مقایسه آن با خروجی مدل MIROC برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی A1B و A2 (با تأکید بر مسئله تغییر اقلیم). *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲ (۲۲)، ۵۹-۷۲.

<https://doi.org/10.22067/GEO.V6I2.57155>

هدایتی دزفولی، اکرم؛ کاکاوند، رضا؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. *مجله علمی و فنی نیوار*، ۳۶ (۷۶-۷۷)، ۶۶-

http://nivar.irimo.ir/article_13201.html

۵۹.

Bailey, Robert G., 1999. USDA Forest Service, Inventory & Monitoring Institute, Ecological Climate Classification.

Chan, D., Wu, Q., Jiang, G., and Dai, X., 2016. Projected Shifts in Köppen Climate Zones over China and Their Temporal Evolution in CMIP5 Multi-Model Simulations: *Advances in Atmospheric Sciences*, 33, 283- 293. <https://doi.org/10.1007/s00376-015-5077-8>

Chen, D., and Chen, H. W., 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010, *Environmental Development*, 6, 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007>

De Castro, M., Gallardo, C., Jylha, K., and Tuomenvirta, H., 2007. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models: *Climatic Change*, 81, 329–341. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9224-1>

Engelbrecht, C. J, and Engelbrecht, F. A., 2016. Shifts in Köppen-Geiger climate zones over southern Africa in relation to key global temperature goals: *Theoretical and Applied Climatology*, 123, 247-261. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1354-1>

Gocic, M., and Trajkovic, S., 2013. Analysis Mann-Kendall and of changes in meteorological variables usin Sen's slope estimator statistical tests in Serbia, *Global and Planetary Change* 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>

Hargreaves, G.H. and Samani, Z., 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air tempraturer. Meeting American Society of Agricultural Engineers, Chicago. *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2): 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>

Hourdin F, Musat I, Bony S, Braconnot P, Codron F, Dufresne J.L, Krinner G., 2006. The LMDZ4 general circulation model: climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. *Climate Dynamics*, 27 (8): 787-813. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0158-0>

Kharin V.V Zwiers F.W Zhang X, Wehner M., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*, 119 (2):345-357. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0705-8>

Oliveria Aparecido, L. E., Souza Rolim, G., Richetti, J., Souza, P. S. & Johann, J.A., 2016. Koppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Parana, Brazil, *Ciencia e Agrotecnologia* 40(4):405-417. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916>

Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification: *Hydrology and Earth System Sciences*, 4, 439–473. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Racsko, P. Szeidl, L. Semenov, MA., 1991. Serial approach to local stochastic weather models. *Ecol Model*, 57: 27–41. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(91\)90053-4](https://doi.org/10.1016/0304-3800(91)90053-4)

- Rubel, F., and Kottek, M., 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen- Geiger climate classification: *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 135–141. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the Excel template application MAKESENS, Finnish Meteorological Institut. <https://doi.org/10.4236/jmp.2012.38101>
- Semenov, MA. and Barrow, EM., 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 35, 397-414. <https://doi.org/10.4236/jmf.2016.62024>
- Wang, M., and Overland, J. E., 2004. Detecting Arctic climate change using Köppen climate classification: *Climatic Change*, 67, 43-62. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007>
- Ying, S., Xue-Jie, G., and Jia, W., 2012. Projected Changes in Köppen Climate Types in the 21st Century over China: *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. 5 (6):495-498. <https://doi.org/10.1080/16742834.2012.11447043>
- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D. and Niitsoo, A., 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere – Ocean*, 38(3): 395-429. <https://doi.org/10.1080/07055900.2000.9649654>



The Impact of Land Use Change on Water Yield in the Teraz Watershed, Khuzestan Province, Southwestern Iran

Fazlolah Ahmadi Mirghaed^{a*}, Babak Souri^b

^a Postdoctoral Researcher, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

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

Received: 8 July 2022

Revised: 6 September 2022

Accepted: 13 September 2022

Abstract

Water is one of the critical needs of human life and living things. Therefore, proper planning is important for its consumption all over the world, especially in Iran. This study was conducted to evaluate the impacts of land use change on water yield in the Teraz watershed, Khuzestan province, Iran, from 1990 to 2050. Water yield was evaluated using integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs (InVEST) tool and land use was mapped using the maximum likelihood classification in the ENVI 5.3, and CA-Markov in the TerrSet environment. Moreover, the relationship between water yield and landscape metrics, including the number of patches (NP), patch density (PD), landscape shape index (LSI), and Largest Patch Index (LPI), was considered based on the Geographically Weighted Regression (GWR) method in the Arc GIS 10.5. The results showed that the area of forest and rangeland in the studied area decreased in the last 30 years, by 3199 and 1611 ha, respectively, and the area of agriculture and construction land uses increased by 4388 and 387 ha, respectively. It is predicted that in the next 30 years, 2442 ha of forests will decrease and the area of agriculture, rangeland, and construction land uses will increase by 1651, 687, and 102 ha, respectively. It was found that the total volume of available water yield in the region is equal to 26.5 Mm³ in 2020, on average of 857 m³ ha⁻¹, and based on that, the ranking of land uses is as follows: 1. Construction, 2. Rangeland, 3. Forest, 4. agriculture. The results of GWR confirmed that water yield had a significant and negative spatial relationships with the NP, PD, and LSI metrics ($R^2 > 0.83$, $p\text{-value} > 0.05$), while its relationship with the LPI metric was a significant and positive relationship ($R^2 > 0.84$, $p\text{-value} > 0.05$). It can be concluded that the landscape features and land use pattern can determine the production and yield of water in the study area.

Keywords: Ecosystem Services, Water Yield, Land Use Change, InVEST, Geographically Weighted Regression

* . Corresponding author: Fazlolah Ahmadi Mirghaed E-mail: f.ahmadi.m@gmail.com Tel: + 989169879344

How to cite this Article: Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B. (2023). The impact of land use change on water yield in the Teraz watershed, Khuzestan province, southwestern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 29-46.

DOI: 10.22067/GEOEH.2022.77944.1261



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023


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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77944.1261> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۴۶-۲۹

مقاله پژوهشی

اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران

 فضل الله احمدی میرقائد^۱ - پژوهشگر پسادکتری گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
بابک سوری - دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۲۲

چکیده

آب یکی از نیازهای اساسی حیات انسان‌ها و موجودات زنده به شمار می‌رود و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده از آن در سراسر جهان، بخصوص ایران، حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰ انجام شد. در این راستا، ارزیابی تولید آب با استفاده از InVEST و نقشه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در محیط ENVI 5.3 و اتوماتای سلولی زنجیره مارکف در محیط TerrSet صورت پذیرفت. همچنین رابطه تولید آب با سنج‌های سیمای سرزمین شامل تعداد، تراکم، شکل و مساحت لکه بر مبنای روش رگرسیون وزنی مکانی (GWR) در محیط Arc GIS 10.5 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در ۳۰ سال گذشته مساحت جنگل‌ها و مراتع در منطقه مطالعاتی به ترتیب حدود ۳۱۹۹ و ۱۶۱۱ هکتار کاهش و مساحت اراضی کشاورزی و ساخته شده‌ها به ترتیب ۴۳۸۸ و ۳۸۷ هکتار افزایش یافته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز ۲۴۴۲ هکتار از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود و مساحت کاربری‌های کشاورزی، مراتع و ساخته شده‌ها به ترتیب

Email: f.ahmadi.m@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۰۱۱۷۱۴۹۱۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

احمدی میرقائد، فضل الله؛ سوری، بابک؛ ۱۴۰۲. اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۴۶-۲۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77944.1261>

۱۶۵۱، ۶۸۷ و ۱۰۲ هکتار افزایش یابد. کل حجم آب تولیدی قابل دسترس در منطقه در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۶۵ میلیون مترمکعب (به طور متوسط ۸۵۷ مترمکعب در هکتار) و میزان تولید آب در ساخته شده‌ها، مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی به ترتیب ۳۱۲۳، ۱۰۷۴، ۱۰۷۱ و ۳۷۴ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. نتایج GWR تأیید کرد که تولید آب با سنج‌های تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین رابطه مکانی معنادار و معکوس دارد ($R^2 \geq 0.83$, $p\text{-value} > 0.05$)؛ درحالی که رابطه آن با شاخص بزرگ‌ترین لکه یک رابطه معنادار و مستقیم است ($R^2 = 0.84$, $p\text{-value} > 0.05$). بر این اساس می‌توان گفت که ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین و الگوی کاربری اراضی حاکم بر منطقه می‌تواند تعیین‌کننده تولید آب باشد.

کلیدواژه‌ها: خدمات اکوسیستمی، تولید آب، تغییرات کاربری اراضی، اینوست، رگسیون وزنی مکانی.

۱- مقدمه

وضعیت و روند تغییرات خدمات اکوسیستمی در جهان، حیات انسان و موجودات دیگر را به طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و تهدیدی جدی برای امنیت محیط‌زیستی آینده و رفاه جوامع کنونی به شمار می‌رود. خدمات اکوسیستمی تحت تأثیر بحران‌های محیط‌زیستی شامل تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی، رشد جمعیت، توسعه سریع اقتصادی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع به شدت در حال کاهش هستند؛ از این رو نیاز است که شرایط و وضعیت خدمات اکوسیستمی به طور مناسب و دقیق درک شود تا بر اساس آن بتوان رویکردهای مناسب مدیریتی در راستای استفاده مناسب و حفاظت خدمات اکوسیستمی اتخاذ کرد (احمدی میرقاند، ۱۳۹۷).

فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی انسان تغییرات اساسی در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کند که در نتیجه آن خدمات اکوسیستمی مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند. توسعه کاربری‌ها و تغییرات آن‌ها از جمله مهم‌ترین اقدامات انسانی است که ویژگی سیستم‌های اکولوژیک را تغییر می‌دهند و تأثیرات مهمی بر خدمات اکوسیستمی ایجاد می‌کنند (احمدی میرقاند و همکاران^۱، ۲۰۲۰). تغییرات کاربری اراضی به عنوان نماینده تغییرات خدمات اکوسیستم برای ارزیابی توسعه و تغییرات محیط‌زیستی آینده در نظر گرفته می‌شود. از این رو، توجه به تغییرات کاربری اراضی و مدیریت آن‌ها حائز اهمیت است (لانگ و سانگ^۲، ۲۰۱۹؛ پنگ و همکاران^۳، ۲۰۱۹).

لی و همکاران^۴ (۲۰۲۱) اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری بر خدمات اکوسیستمی در حوضه ایلی بلخاش در آسیای مرکزی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تغییرات مکانی-زمانی در آب‌وهوا، کاربری زمین و چهار خدمات اکوسیستمی شامل تولید آب، حفاظت خاک، ذخیره کربن و کیفیت زیستگاه‌ها را از ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ ارزیابی کردند. مونپراپوسورن^۵ (۲۰۱۷) چگونگی پیش‌بینی خدمات آینده اکوسیستم ساحلی در استان ساموتساکورن را بر اساس

1 Ahmadi Mirghaed et al.

2 Long and Song

3 Peng et al.

4 Li et al.

5 Monrapussorn

تغییرات کاربری و اقلیمی مورد مطالعه قرار داد. وی نشان داد که افزایش سطح دریا، دما و بارش با کاهش پوشش جنگلی و در نهایت تضعیف عملکرد و خدمات اکوسیستم ساحلی همراه است و از تاب‌آوری اکوسیستم‌ها جلوگیری می‌کند. شیرپکی و همکاران^۱ (۲۰۱۷) تأثیرات آتی تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی را بر خدمات اکوسیستم چندمنظوره در دره استوای اتریش در آلپ مرکزی را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها شش خدمات اکوسیستمی شامل تولید علوفه، کیفیت علوفه، حاصلخیزی خاک، کیفیت آب، ذخیره کربن و ارزش‌های زیباشناختی را بر اساس مدل‌های مبتنی بر ویژگی‌های گیاهی برای شرایط فعلی و آینده (در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) و با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی-اجتماعی مورد بررسی قرار دادند. هی و همکاران^۲ (۲۰۱۷) اثرات تغییر کاربری بر کیفیت زیستگاه را با استفاده از چارچوب یکپارچه شبیه‌سازی اتوماتای سلولی و ابزار اینوست^۳ در منطقه وانزو واقع در چین انجام دادند. آن‌ها کیفیت زیستگاه‌ها را طی سه سناریوی گسترش سریع شهری، توسعه شهری هوشمند و حفاظت محیط‌زیست بررسی کردند. وو و همکاران^۴ (۲۰۲۰) خدمات اکوسیستمی وابسته به آب شامل عملکرد آب، تولید رسوب و تصفیه آب را در تعامل با تغییرات کاربری اراضی و اقلیمی در حوضه رودخانه لوانه چین با استفاده از ابزار اینوست مورد مطالعه قرار دادند. یلنگ و همکاران^۵ (۲۰۲۱) خدمات تأمین آب در حوضه رودخانه زرد واقع در چین را بر اساس مدل اینوست و روش تحلیل سناریو انجام دادند. آن‌ها از داده‌های پوشش و کاربری زمین، هواشناسی و نوع خاک به‌عنوان ورودی برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و زمانی عملکرد آب و تأثیر بارش و تغییر کاربری زمین بر تولید آب استفاده کردند. اقصائی و همکاران^۶ (۲۰۲۰) اثرات تغییرات کاربری و پوشش زمین را بر هیدرولوژی حوضه و عملکرد رسوب در حوضه آبریز انزلی، ایران را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از مدل ارزیابی خاک و آب سوات^۷ برای ارزیابی تأثیرات تبخیر و تعرق، تولید آب و تولید رسوب استفاده کردند.

حوضه آبخیز رودخانه تراز واقع در استان خوزستان در بخش نیمه‌خشک ایران واقع شده است و اثرات انسانی را می‌توان در تغییر ویژگی‌های طبیعی آن به‌خوبی مشاهده کرد. در بخش‌های شمالی منطقه میزان توسعه ساخته‌شده‌ها نسبت به بخش‌های جنوبی کمتر اتفاق افتاده است. در بخش‌های جنوبی و غرب منطقه ردپای انسان و توسعه بسیار چشمگیرتر است و انجام فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی و توسعه زیرساخت‌ها در این مناطق بسیار شدید است که باعث تخریب محیط‌زیست و کاهش کیفیت خدمات اکوسیستمی آن شده است. از این رو، مطالعه اثرات تغییرات کاربری بر خدمات اکوسیستمی در این منطقه برای شناسایی اثرات و اتخاذ راهکارهای مناسب برای مدیریت

1 Schirpke

2 He et al.

3 Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)

4 Wu et al.

5 Yang et al.

6 Aghsaee et al.

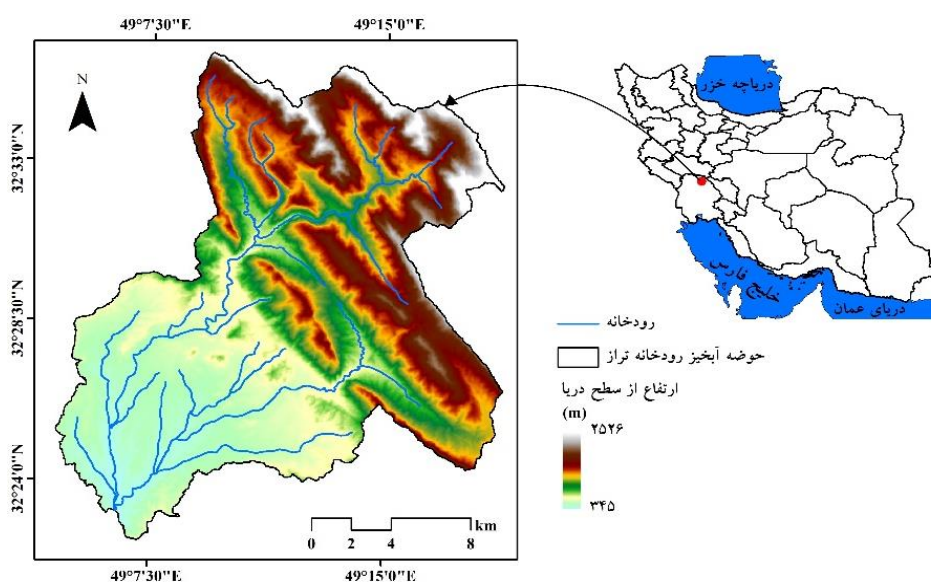
7 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

منابع طبیعی آن حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف (۱) مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز تراز در استان خوزستان، (۲) ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی تولید آب در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰ و (۳) ارزیابی ارتباط بین تولید آب با تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین صورت پذیرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز رودخانه تراز با مساحتی بالغ بر ۳۲۵۰۰ هکتار در شمال شرقی استان خوزستان در ایران قرار دارد (شکل ۱). این حوضه یکی از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه شور است که در نهایت به سد گنوند منتهی می‌شود. میانگین بارندگی و دمای سالیانه در حوضه به ترتیب ۷۷۴ میلی‌متر و ۲۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. حوضه آبخیز تراز از نظر توپوگرافی متنوع است به طوری که در قسمت‌های شمالی پستی و بلندی‌های شدید و در نواحی جنوبی و غربی مناطق نسبتاً هموار دیده می‌شود. جنگل‌ها بخش‌های شمالی و شرقی حوضه آبخیز را در بر گرفته‌اند، در حالی که کشاورزی و مرتع کاربری‌های عمده در بخش‌های جنوبی به شمار می‌روند. توپوگرافی و پوشش گیاهی متنوع باعث افزایش تنوع اکولوژیکی در منطقه شده است که در نتیجه آن فراهم‌سازی خدمات اکوسیستمی مختلفی را به دنبال دارد. باین حال، توسعه نامناسب، بهره‌برداری زیاد از منابع و مدیریت ضعیف آن‌ها، عمدتاً در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه، خدمات اکوسیستمی به‌ویژه خدمات مرتبط با آب را به شدت تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها

لیست داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. نقشه‌های کاربری اراضی بر مبنای داده‌های چند طیفی ماهواره لندست ۸ و ۵ و با استفاده از روش نظارت شده حداکثر احتمال^۱ تولید شدند. آمار ایستگاه‌های کلیماتولوژی منطقه ایجاد شده توسط سازمان هواشناسی ایران برای تهیه داده‌های اقلیمی مورد توجه قرار گرفت. زیرحوضه‌ها نیز بر اساس مدل رقومی ارتفاعی^۲ و با استفاده از ابزار ارک هیدرو^۳ در Arc GIS 10.5 نقشه‌سازی شدند.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این مطالعه و توضیحات آن‌ها

نحوه تهیه و آماده‌سازی	واحد	معیار
استخراج شده از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS ^۴)	m	مدل رقومی ارتفاع (DEM)
تولید شده بر مبنای تصاویر لندست ۸ و ۵ و با استفاده از روش حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3	....	کاربری اراضی
استخراج شده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی کشور)	mm	میانگین بارندگی سالیانه
استخراج شده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی کشور)	°C	میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه
روش هیدرومتری	%	درصد رس، سیلت و ماسه خاک
$OC \% = OM \% \times 1.72$ ، کربن آلی خاک است (درخشان بابایی و همکاران ^۵ ، ۲۰۲۰)	%	درصد ماده آلی خاک (OM)
محاسبه شده بر اساس معادله ۴ (هارگریوز ^۶ ، ۱۹۹۴)	mm	تبخیر و تعرق مرجع (ET ₀)
نقشه عمق خاک منطقه مطالعاتی	mm	عمق لایه محدودکننده
محاسبه شده بر اساس معادله ۷ (لانگ و همکاران ^۸ ، ۲۰۱۷)	mm	ضریب آب قابل دسترس گیاهی (PAWF ^۷)
استخراج از منابع علمی (شارپ و همکاران ^۹ ، ۲۰۲۰)	....	ضریب تبخیر و تعرق گیاهی (Kc)
استخراج از منابع علمی (شارپ و همکاران، ۲۰۲۰)	....	عمق ریشه‌یابی
محاسبه شده بر اساس وقایع بارندگی منطقه در طول یک سال	mm	فاکتور فصلی (Z)
استخراج شده بر اساس DEM در محیط Arc Hydro	....	نقشه زیرحوضه‌ها

1 Maximum Likelihood Classification

2 Digital Elevation Model (DEM)

3 Arc Hydro

4 United States Geological Survey

5 Derakhshan-Babaei et al.

6 Hargreaves

7 Plant Available Water Fraction

8 Lang et al.

9 Sharp et al.

۲-۳- ارزیابی خدمات اکوسیستمی تولید آب^۱

مدل تولید آب در اینوست سهم نسبی آب در قسمت‌های مختلف سیمای سرزمین را برآورد می‌کند و اطلاعاتی در مورد چگونگی تغییرات الگوهای کاربری اراضی بر تولید سالانه آب‌های سطحی ارائه می‌دهد. این مدل بر اساس منحنی بودیکو^۲ و میزان بارندگی سالانه، تولید سالانه آب (Y_x) را در هر پیکسل (x) مطابق با معادله زیر برآورد می‌کند. بعلاوه، میانگین و کل تولید آب را نیز در سطح زیر حوضه‌ها محاسبه می‌کند (شارپ و همکاران، ۲۰۲۰؛ احمدی میرقائد، ۱۳۹۷).

$$Y_x = \left(1 - \frac{AET_x}{P_x}\right) \times P_x \quad (1)$$

که در آن AET_x و P_x به ترتیب میزان تبخیر و تعرق واقعی و بارندگی سالانه را بر حسب میلی‌متر در پیکسل x نشان می‌دهند. برای هر نوع کاربری اراضی، نسبت تبخیر و تعرق در بیان آبی بر اساس منحنی بودیکو است که توسط فو و همکاران^۳ (۱۹۸۱) و ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۰۴) ارائه شده است:

$$\frac{AET_x}{P_x} = 1 + \frac{PET_x}{P_x} - \left[1 + \left(\frac{PET_x}{P_x}\right)^w\right]^{1/w} \quad (2)$$

$$PET_x = K_c(I_x) \times ET_0 \quad (3)$$

$$ET_0 = 0.0013 \times 0.408 \times RA \times (T_{avg} + 17) \times (TD - 0.0123p)^{0.76} \quad (4)$$

$$w_x = Z \frac{AWC_x}{P_x} + 1.25 \quad (5)$$

که PET_x بیانگر تبخیر و تعرق پتانسیل است و w_x یک پارامتر غیر فیزیکی را نشان می‌دهد که مشخص‌کننده خصوصیات اقلیمی و خاکی طبیعی است. ET_0 تبخیر و تعرق مرجع است که شرایط اقلیم محلی را بر تبخیر و تعرق پوشش گیاهی مرجع مثل علف و یونجه را که در آن محل رشد یافته بیان می‌کند. K_c ضریب تبخیر و تعرق گیاهی وابسته به یک نوع کاربری (I_x) است که تا حد زیادی توسط ویژگی‌های رویشی سرزمین و کاربری اراضی تعیین می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). RA میزان تابش فرازمینی بر حسب ($MJ m^{-2} d^{-1}$) است. T_{avg} میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه و TD اختلاف میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد هستند. P میزان بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر است. Z یک ثابت تجربی است که به‌عنوان "فاکتور فصلی"^۵ در نظر گرفته می‌شود و الگوی بارش محلی و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی را نشان می‌دهد. این ثابت با تعداد رویدادهای باران در سال (N) همبستگی مثبت دارد. حداقل مقدار Z زمانی است که عمق ریشه صفر (خاک لخت) باشد و برابر با $1/25$

1 Water yield

2 Budyko

3 Fu et al.

4 Zhang et al.

5 Allen et al.

6 Seasonal factor

خواهد بود و مقدار حداکثر آن به ۵ محدود می‌شود (دناهو و همکاران^۱، ۲۰۱۲؛ یانگ و همکاران^۲، ۲۰۰۸). AWC^3 محتوای حجمی آب قابل دسترس گیاهی است که بر اساس بافت خاک و عمق ریشه‌زایی مؤثر تعیین می‌شود. AWC مقدار آب مورد استفاده توسط گیاه موجود در خاک را تعیین می‌کند و بر مبنای ظرفیت آب قابل دسترس گیاهی ($PAWC^4$) و حداقل عمق لایه محدودکننده ریشه (Rld) و عمق ریشه‌زایی (Rd) پوشش گیاهی برآورد می‌شود.

$$AWC_x = \text{Min}(Rld, Rd) \times PAWC \quad (6)$$

عمق لایه محدودکننده ریشه، عمق خاکی است که در آن نفوذ ریشه به دلیل ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی مهار می‌شود. عمق ریشه‌زایی پوشش گیاهی اغلب به‌عنوان عمقی در نظر گرفته می‌شود که در آن ۹۵ درصد از زیست‌توده ریشه گیاهی وجود دارد. $PAWC$ ظرفیت آب قابل دسترس گیاهی است که تفاوت بین ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی را مشخص می‌کند و ضریب آن ($PAWF^5$) بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$PAWF = 54.509 - 0.132 \times SA\% - 0.003 \times (SA\%)^2 - 0.055 \times SI\% - 0.006 \times (SI\%)^2 - 0.738 \times CL\% + 0.007 \times (CL\%)^2 - 2.688 \times OM\% + 0.501 \times (OM\%)^2 \quad (7)$$

که در آن $CL\%$ ، $SI\%$ ، $SA\%$ و $OM\%$ به ترتیب درصد محتوای رس، سیلت، ماسه و مواد آلی را نشان می‌دهند (یانگ و همکاران^۶، ۲۰۲۱؛ لانگ و همکاران^۷، ۲۰۱۷).

۲-۴- اثرات تغییر کاربری اراضی بر تولید آب

در این مطالعه، پس از تهیه داده‌های مورد نیاز (جدول ۱)، با استفاده از مدل تولید آب در اینوست، اثرات تغییر کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی در دو بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) بر تولید آب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ بر اساس تصاویر چند طیفی لندست ۵ و ۸ و با استفاده از روش حداکثر احتمال در محیط ENVI 5.3 نقشه‌سازی شدند. همچنین، با استفاده از روش اتوماتای سلولی - زنجیره مارکف^۸ در محیط TerrSet نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۰ مدل‌سازی گردید. طی سه سناریو، تولید آب بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ محاسبه و میزان تغییرات تولید آب در دو بازه زمانی ۳۰ ساله برآورد گردید. لازم به ذکر است که در این باره سایر ورودی‌ها در اجرای مدل ثابت در نظر گرفته شدند.

1 Donohue et al.

2 Yang et al.

3 Available Water Content

4 Plant Available Water Content

5 Plant Available Water Fraction

6 Yang et al.

7 Lang et al.

8 Cellular Automate – Markov (CA-Markov)

۲-۵- اثرات خردشدگی سیمای سرزمین بر تولید آب

سنجه‌های سیمای سرزمین شاخص‌هایی هستند که جنبه‌های مختلف سیمای سرزمین را از نظر مساحت، شکل، ترکیب، توزیع و هندسه به صورت ارزش‌های کمی نشان می‌دهند که در نتیجه آن تحلیل، ارزیابی، پایش و طرح‌ریزی مکانی الگوی کاربری اراضی تسهیل می‌شود. بعلاوه، با کمک آن‌ها می‌توان میزان خردشدگی زیستگاه‌ها و سیمای سرزمین را ارزیابی کرد (احمدی میرقاند و همکاران^۱، ۲۰۱۸؛ پنگ و همکاران^۲، ۲۰۱۶؛ مک گاریگل و همکاران^۳، ۲۰۰۲). در این مطالعه، ارزیابی اثرات خردشدگی سیمای سرزمین بر تولید آب با استفاده از مهم‌ترین سنجه‌های سیمای سرزمین شامل تعداد لکه (NP^۴)، تراکم لکه (PD^۵)، بزرگ‌ترین لکه (LPI^۶) و شکل سیمای سرزمین (LSI^۷) مدنظر قرار گرفت که در جدول ۲ توصیف و تشریح شده‌اند. برای این منظور، سنجه‌های سیمای سرزمین بر مبنای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ منطقه مطالعاتی و در محیط Fragstats در سطح زیرحوضه‌ها محاسبه شدند و رابطه آن‌ها با میزان تولید آب بر اساس رگرسیون وزنی مکانی (GWR^۸) در محیط Arc GIS 10.5 موردبررسی قرار گرفت.

جدول ۲- سنجه‌های سیمای سرزمین و توصیفات آن‌ها (مک گاریگل و همکاران، ۲۰۰۲)

سنجه	واحد	توصیف
تعداد لکه	...	تعداد لکه‌های موجود در یک سیمای سرزمین مشخص را نشان می‌دهد. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی بیشتر سیمای سرزمین را بیان می‌کند.
تراکم لکه	تعداد به ازای ۱۰۰ هکتار	تعداد لکه‌های موجود در سیمای سرزمین به نسبت کل مساحت آن را نشان می‌دهد. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی بیشتر سیمای سرزمین را بیان می‌کند.
شاخص بزرگ‌ترین لکه	%	شاخصی است برای اندازه‌گیری کل سیمای سرزمین بر حسب بزرگ‌ترین لکه و بین ۱ تا ۱۰۰ متغیر است. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی کمتر سیمای سرزمین را نشان می‌دهد.
شاخص شکل سیمای سرزمین	....	شاخصی استاندارد برای اندازه‌گیری کل لبه یا تراکم لبه در یک سیمای سرزمین مشخص است و هر چه بزرگ‌تر از یک باشد نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر مرز سیمای سرزمین است.

1 Ahmadi Mirghaed et al.

2 Peng et al.

3 McGarigal et al.

4 Number of Patch

5 Patch Density

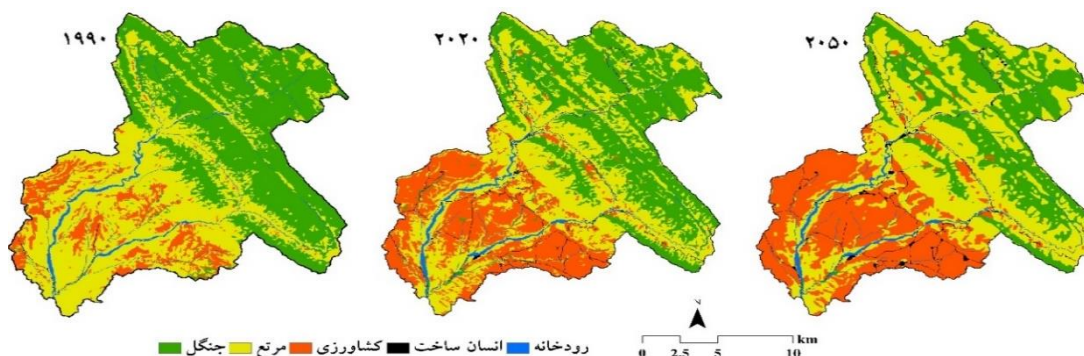
6 Largest Patch Index

7 Landscape Shape Index

8 Geographically Weighted Regression

۳- نتایج و بحث

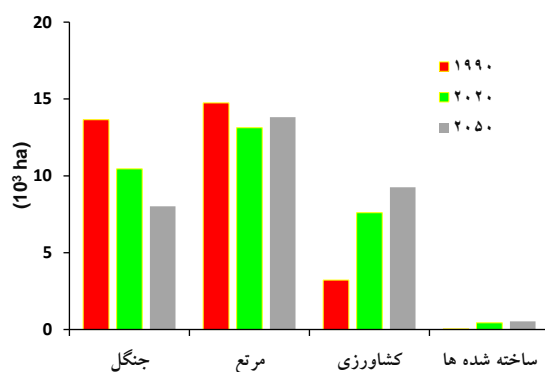
نقشه‌های کاربری اراضی منطقه برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در شکل ۲ مشخص شده‌اند. نتایج نشان داد که کاربری‌های جنگل و مرتع بیشترین مساحت نیمه شمالی حوضه را در بر گرفته‌اند؛ در حالی که در نیمه جنوبی حوضه کاربری‌های کشاورزی، مرتع و ساخته شده‌ها گسترش یافته‌اند. کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، ساخته شده‌ها و رودخانه‌ها به ترتیب ۱۰۴۵۵، ۱۳۱۳۳، ۷۴۰۴، ۴۳۲ و ۸۸۶ هکتار از مساحت منطقه را در سال ۲۰۲۰ در بر گرفته‌اند. در سال ۱۹۹۰، مساحت اختصاص یافته به کاربری‌های مذکور به ترتیب ۱۳۶۵۴، ۱۴۷۴۴، ۳۲۱۴، ۴۵ و ۸۵۱ هکتار بوده است و بر اساس ادامه شرایط کنونی حاکم بر منطقه در ۳۰ سال آینده پیش‌بینی می‌شود که مقادیر مساحت‌های مذکور در سال ۲۰۵۰ به ترتیب به ۸۰۱۳، ۱۳۸۲۰، ۹۲۵۵، ۵۳۴ و ۸۸۷ هکتار تغییر یابند. بدین ترتیب مشخص شد که در ۳۰ سال گذشته مساحت جنگل‌ها و مراتع در منطقه مطالعاتی به ترتیب حدود ۳۱۹۹ و ۱۶۱۱ هکتار کاهش و مساحت اراضی کشاورزی و ساخته شده‌ها به ترتیب ۴۳۸۸ و ۳۸۷ هکتار افزایش یافته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز ۲۴۴۲ هکتار از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود و مساحت کاربری‌های کشاورزی، مراتع و ساخته شده‌ها به ترتیب ۱۶۵۱، ۶۸۷ و ۱۰۲ هکتار افزایش یابد.



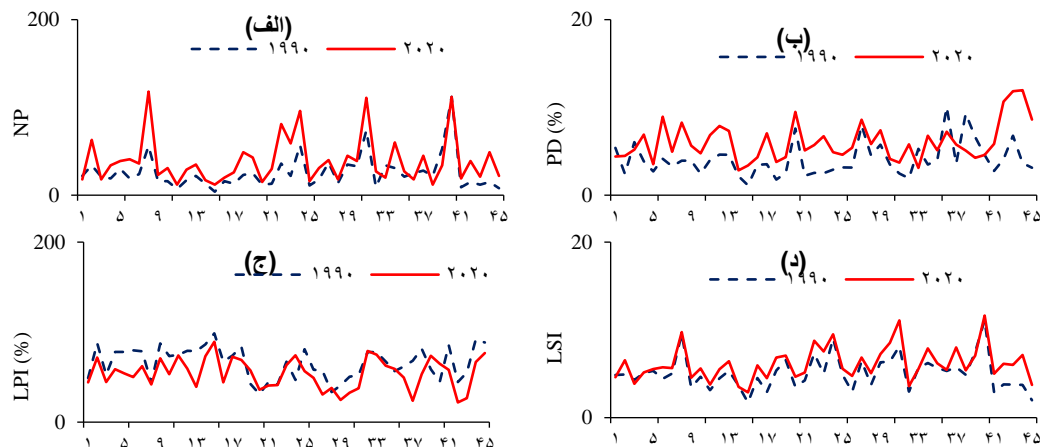
شکل ۲- نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

شکل ۳ روند تغییر مساحت اختصاص یافته به کاربری‌ها در منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که طی ۳۰ ساله گذشته توسعه و فعالیت‌های کشاورزی در منطقه با شدت زیاد و بدون توجه به ظرفیت اکولوژیک و شرایط محیط‌زیستی منطقه انجام شده است که در پی آن اراضی جنگلی و مراتع تخریب و به کشاورزی و ساخته شده‌ها تبدیل شده‌اند. این عوامل باعث افزایش خردشدگی زیستگاه‌ها و از هم‌گسیختگی سیماهای سرزمین حوضه شده است. در صورتی که همین روند و شرایط در توسعه کاربری‌ها در منطقه ادامه داشته باشد پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز بیش از ۲۵ درصد مساحت اراضی جنگلی تخریب و به کاربری‌های دیگر تبدیل شود. شکل ۴ نیز روند تغییرات کاربری اراضی بر مبنای سنج‌های سیمای سرزمین شامل

تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و شاخص بزرگ‌ترین لکه را در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) در مقیاس زیرحوضه‌ها مشخص کرده است. نتایج حاکی از آن است که در ۳۰ سال اخیر تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین در زیرحوضه‌ها روند افزایشی داشته درحالی‌که شاخص بزرگ‌ترین لکه کاهش یافته است. این موارد نشان می‌دهد که خردشدگی و گسستگی لکه‌های کاربری در منطقه طی ۳۰ سال اخیر افزایش یافته است که ناشی از توسعه فعالیت‌های کشاورزی و افزایش ساخته‌سازها بخصوص توسعه جاده و راه است.



شکل ۳- مساحت اختصاص یافته به هر کاربری در منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰



شکل ۴- روند تغییرات کاربری اراضی بر اساس سنجه‌های سیمای سرزمین (NP¹: تعداد لکه، PD²: تراکم لکه‌ها،

LPI³: شاخص بزرگ‌ترین لکه و LSI⁴: شاخص شکل سیمای سرزمین) در مقیاس زیرحوضه‌ها در بازه زمانی

۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

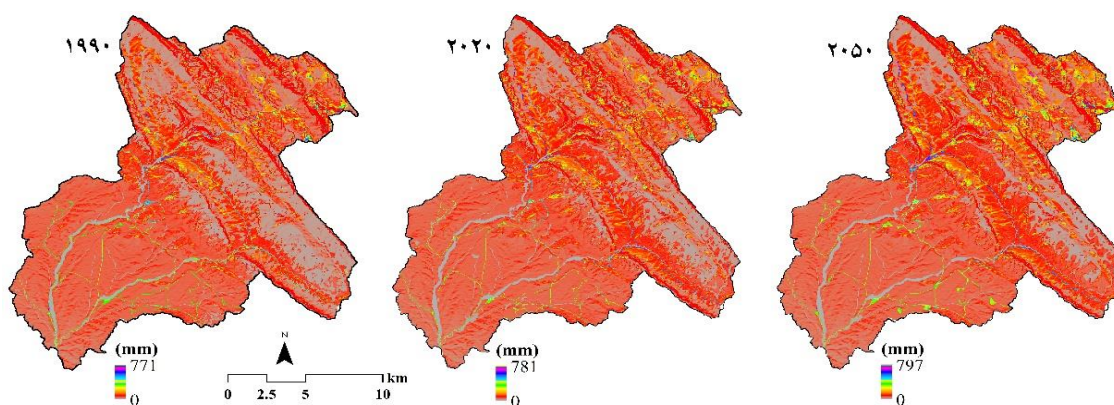
1 Number of Patch

2 Patch Density

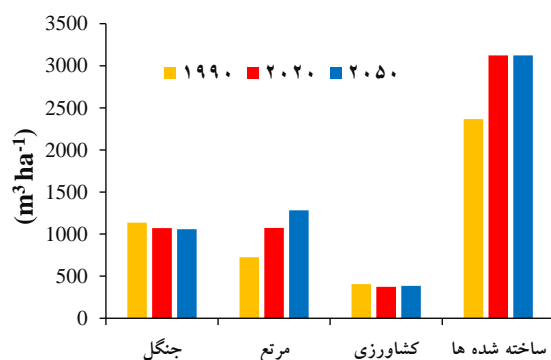
3 Largest Patch Index

4 Landscape Shape Index

نتایج ارزیابی تولید آب در حوضه آبخیز تراز با استفاده از اینوست در سطح پیکسل برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در شکل ۵ نشان داده شده است. اسداللهی و همکاران^۱ (۲۰۲۰) نیز میزان تولید آب در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان را بین ۶۴ تا ۵۳۳ میلی‌متر در هکتار برآورد کردند. مشخص گردید که میانگین تولید آب در حوضه در یک پیکسل ۳۰×۳۰ متر برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ به ترتیب ۷۷، ۸۲ و ۸۷ میلی‌متر (به ترتیب معادل ۸۵۰، ۹۰۹ و ۹۶۹ میلی‌متر در هکتار) است. کل حجم آب تولیدی قابل دسترس در منطقه در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۶۵ میلیون مترمکعب است که به‌طور متوسط ۸۵۷ مترمکعب در هکتار را شامل می‌شود. همچنین میزان آب تولیدی قابل دسترس در منطقه برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۲۴/۸ و ۲۸/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است که به‌طور میانگین برابر با ۸۱۲ و ۹۱۱ مترمکعب در هکتار است. بدین ترتیب تولید آب در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به میزان ۱/۷ مترمکعب در سال (به‌طور میانگین ۴۵ مترمکعب در هکتار) در کل حوضه تغییر یافته است و پیش‌بینی می‌شود در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به میزان ۱/۸ مترمکعب در سال (به‌طور میانگین ۵۴ مترمکعب در هکتار) تغییرات افزایشی داشته باشد.

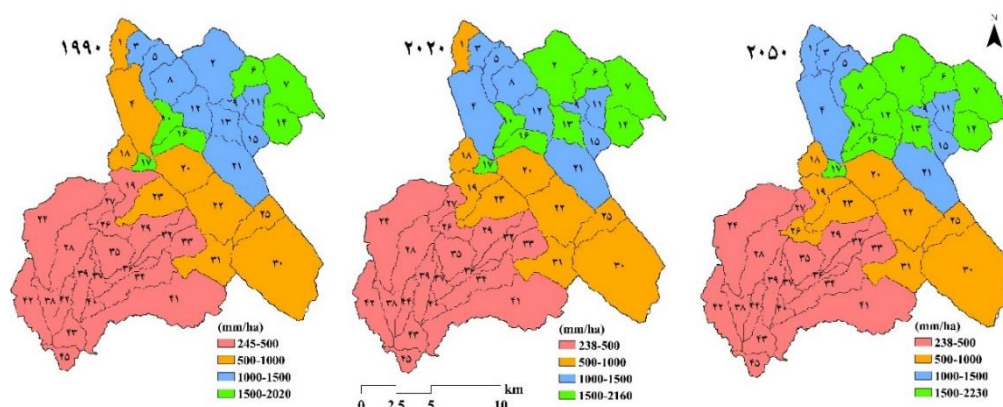


شکل ۵- نقشه‌های تولید آب (mm/pixel) منطقه مطالعاتی در ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰



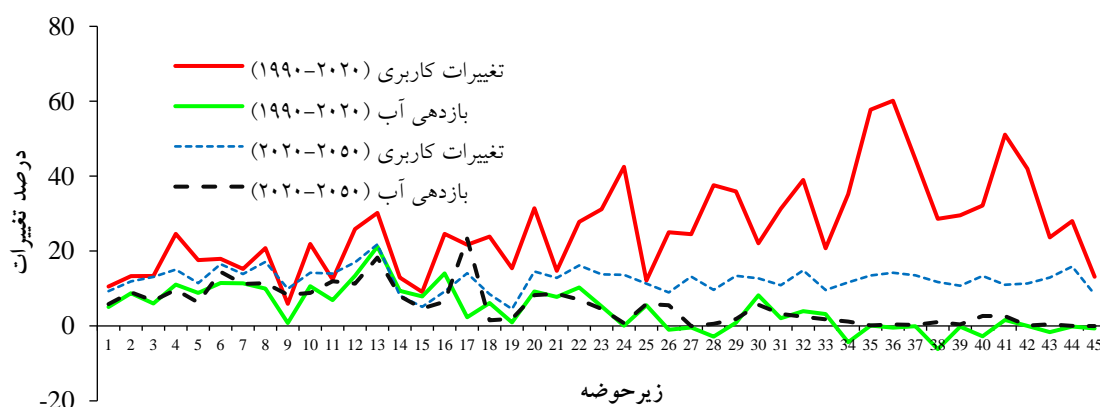
شکل ۶- میانگین تولید آب برای هر کاربری در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

میانگین تولید آب قابل دسترس در کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی و ساخته‌شده‌ها در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۰۷۱، ۱۰۷۴، ۳۷۴ و ۳۱۲۳ مترمکعب در هکتار و در سال ۱۹۹۰ به ترتیب ۱۱۳۵، ۷۲۴، ۴۰۵ و ۲۳۶۶ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. میانگین تولید آب برای کاربری‌های مذکور به ترتیب ۱۰۵۷، ۱۲۸۳، ۳۸۵ و ۳۱۲۴ مترمکعب در هکتار برای سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است (شکل ۶). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در حال حاضر بیشترین میزان تولید آب در منطقه در کاربری ساخته‌شده‌ها و در وهله بعد به ترتیب در مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی اتفاق می‌افتد. احمدی میرقلند و همکاران (۱۳۹۶) نیز میزان تولید آب در کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی و ساخته‌شده‌ها در حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان را به ترتیب ۸۴۰، ۵۵۶، ۹۵۳ و ۱۱۱۵ مترمکعب در هکتار برآورد کردند. تبخیر و تعرق زیاد و قدرت حفظ و نگهداری آب در جنگل‌ها از جمله دلایلی است که باعث کاهش آب تولیدی قابل دسترس در جنگل‌های منطقه نسبت به مراتع و ساخته‌شده‌ها شده است. همچنین، میزان نفوذپذیری خاک، توپوگرافی و مکان جغرافیایی کاربری‌ها نیز در این اختلاف اثرگذارند. لانگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأکید کردند که جنگل‌ها باعث کاهش تولید آب و ساخته‌شده‌ها باعث افزایش آن می‌شوند. مقایسه تولید آب قابل دسترس در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ حاکی از افزایش آن در کاربری‌های مختلف دارد که از جمله علل آن می‌توان به تغییر شرایط محیط‌زیستی اکوسیستم‌ها و تغییر نفوذپذیری خاک‌ها در اثر تبدیل کاربری‌ها اشاره کرد. افزایش رواناب‌های سطحی و کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی در منطقه در طولانی مدت از جمله پیامد این فرآیند خواهد بود. یلنگ و همکاران^۱ (۲۰۲۱) تأیید کردند که تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به ساخته‌شده‌ها باعث افزایش رواناب‌های سطحی می‌شود.



شکل ۷- طبقه‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی از نظر تولید آب (mm/ha) در ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

زیرحوضه‌های منطقه از نظر تولید آب در چهار طبقه خیلی کم (< 500 mm/ha)، کم ($500-1000$ mm/ha)، متوسط ($1000-1500$ mm/ha) و زیاد (> 1500 mm/ha) طبقه‌بندی شدند (شکل ۷). نتایج نشان داد که در سال ۲۰۲۰ از کل مساحت منطقه ۱۲۳۶۶، ۹۱۳۳، ۵۸۹۰ و ۵۱۶۶ هکتار به ترتیب به طبقات با تولید آب خیلی کم، کم، متوسط و زیاد اختصاص می‌یابد. این مقادیر در سال ۱۹۹۰ به ترتیب ۱۲۹۵۶، ۹۹۷۸، ۶۳۵۳ و ۳۱۶۷ هکتار است و در سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۲۰۵۷، ۹۰۱۸، ۴۹۳۵ و ۶۴۴۵ هکتار خواهد بود. شکل ۸ نیز روند تغییرات کاربری اراضی و عملکرد آب در دو بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) را نشان می‌دهد.



شکل ۸- درصد تغییرات کاربری اراضی و تولید آب در منطقه مطالعاتی در مقیاس زیرحوضه‌ها در بازه زمانی

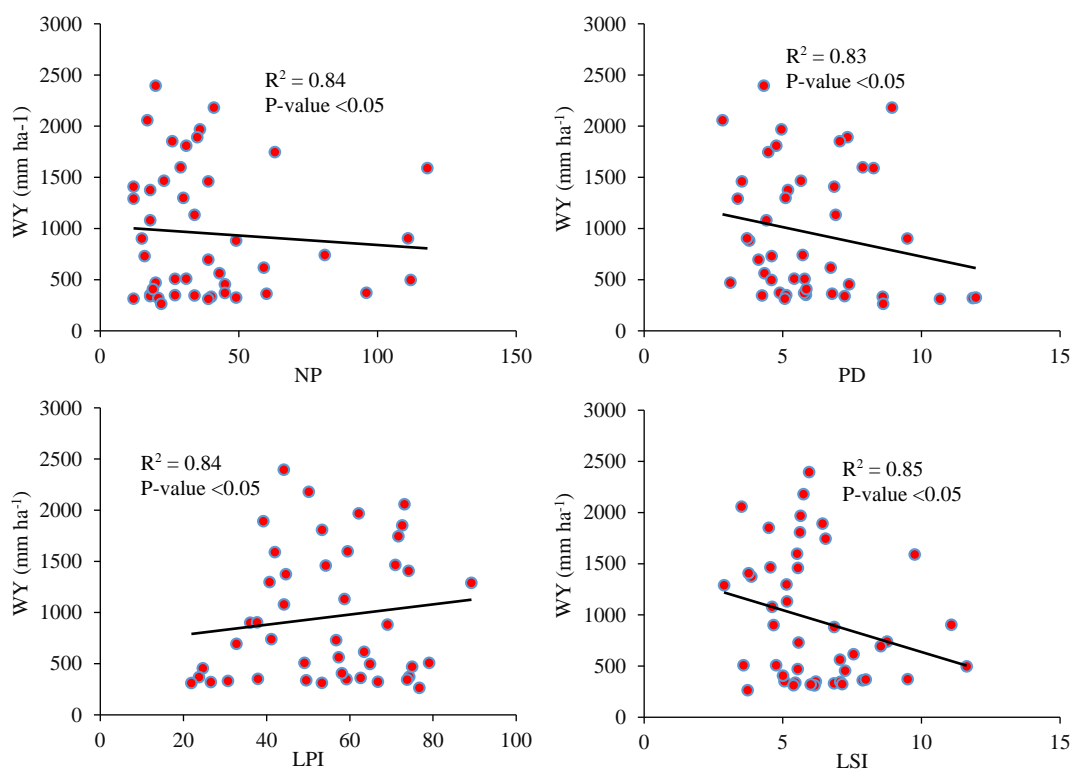
۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰

این نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های شمال شرقی حوضه نسبت به دیگر مناطق از نظر تولید آب دارای بازدهی بهتری هستند و کمترین بازدهی نیز در قسمت‌های جنوبی منطقه مشاهده شده است. بارندگی زیاد، وجود دره‌های و گودال‌های عمیق، نفوذپذیری خاک و تراکم پوشش گیاهی مناسب در نیمه شمالی حوضه از جمله عواملی هستند که در حفظ و ذخیره آب در این پهنه‌ها اثرگذارند و باعث افزایش تولید آب در این بخش‌ها نسبت به دیگر مناطق حوضه شده است. در سطح زیرحوضه‌ها نیز زیرحوضه‌های واقع در شمال حوضه از نظر تولید آب دارای بازدهی بهتری هستند درحالی‌که زیرحوضه‌های واقع در جنوب و جنوب غرب منطقه کمترین بازدهی به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج GWR نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تولید آب با سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین رابطه مکانی معنادار و معکوس دارد درحالی‌که رابطه آن با شاخص بزرگ‌ترین لکه یک رابطه معنادار و مستقیم است. در این رابطه ضریب تبیین (R^2) بین تولید آب با سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و شاخص بزرگ‌ترین لکه به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۸۳، ۰/۸۵ و ۰/۸۴ تعیین شد. بر این اساس می‌توان گفت که ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین و الگوی کاربری حاکم بر منطقه می‌تواند تعیین‌کننده تولید آب باشد. ولدگبریل و یشیتلا^۱ (۲۰۲۱) تغییرات خدمات اکوسیستمی بر اثر تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی را مورد تأیید قرار دادند. فام و همکاران^۲ (۲۰۱۸) نیز تأیید کردند که تغییرات کاربری اراضی و ویژگی‌های آن باعث تغییر خدمات اکوسیستمی می‌شود. در واقع با افزایش تعداد، تراکم و شکل لکه‌ها در یک قطعه از سرزمین خردشدگی و از هم‌گسستگی کاربری‌ها افزایش پیدا می‌کند که در نتیجه آن شرایط اکولوژیک اکوسیستم‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه این فرآیند تغییر و کاهش خدمات اکوسیستمی از جمله تولید آب اتفاق می‌افتد درحالی‌که با افزایش مساحت لکه‌ها (شاخص بزرگ‌ترین لکه) یک روند معکوس ایجاد می‌شود.

1 Weldegebriel and Yeshitela

2 Pham et al.



شکل ۹- رابطه بین تولید آب (WY) با سنججه‌های سیمای سرزمین (NP: تعداد لکه، PD: تراکم لکه‌ها، LPI: شاخص بزرگ‌ترین لکه و LSI: شاخص شکل سیمای سرزمین) بر اساس GWR

۴- جمع‌بندی

این مطالعه نشان داد که تغییرات کاربری اراضی طی ۳۰ سال گذشته در حوضه آبخیز تراز در استان خوزستان شدید بوده است؛ به طوری که بیش از ۴۵۰۰ هکتار از اراضی جنگلی و مراتع منطقه تخریب و به اراضی کشاورزی و ساخته‌شده‌ها تبدیل شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز حدود ۲۴۴۲ هکتار از اراضی جنگلی در صورت ادامه شرایط محیط‌زیستی کنونی حاکم بر حوضه کاسته شود. نتایج مطالعه تأیید کرد که میزان تولید آب در منطقه در کاربری‌های مختلف متفاوت است؛ به طوری که بیشترین و کمترین میزان تولید آب به ترتیب در کاربری‌های ساخته‌شده‌ها و کشاورزی برآورد شده است. همچنین ثابت شد که ویژگی‌های سیمای سرزمین در تغییر تولید آب اثرگذار است. در این رابطه تولید آب با افزایش سنججه‌های تعداد، تراکم و شکل لکه‌های کاهش و با افزایش مساحت کاربری‌ها (شاخص بزرگ‌ترین لکه) افزایش می‌یابد. بر این اساس می‌توان گفت که با افزایش توسعه کاربری‌ها ویژگی‌های سیمای سرزمین تغییر و باعث افزایش گسستگی و خردشدگی زیستگاه‌ها می‌شود که در پی آن تغییر

خدمات اکوسیستمی از جمله تولید آب اتفاق می‌افتد. از این رو، برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در راستای توسعه کاربری‌ها و ارزیابی اثرات آن‌ها در منطقه مطالعاتی بسیار حائز اهمیت است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی پسادکتری به شماره ۹۸۰۲۲۰۲۵ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور است. نویسندگان از حمایت مسئولین و دست‌اندرکاران صندوق و همچنین ویراستاران و داوران محترم به خاطر ارائه نظرات و دیدگاه‌های ارزشمند در راستای افزایش کیفیت این مقاله قدردانی شایسته به عمل می‌آورند.

کتابنامه

احمدی میرقاند، فضل‌الله؛ ۱۳۹۷. به‌کارگیری خدمات اکوسیستم و ارزش‌های زیباشناختی سیمای سرزمین در فرآیند بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی. رساله دکتری ارزیابی و آمایش محیط‌زیست. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

احمدی میرقاند، فضل‌الله؛ محمدزاده، مرجان؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ میرکریمی، سیدحامد؛ ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد آب در اکوسیستم‌های حوضه آبخیز قره‌سو بر مبنای الگوی کاربری اراضی و پوشش سرزمین. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. https://jest.srbiau.ac.ir/article_11145.html

- Aghsaei, H., Dinan, N.M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., Wagner, P.D., 2020. Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712: 136449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449>
- Ahmadi Mirghaed, F., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S.H., 2020. Decision scenarios using ecosystem services for land allocation optimization across Gharehsoo watershed in northern Iran. *Ecological Indicators*, 117: 106645. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106645>
- Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., 2021. Relationships between habitat quality and ecological properties across Ziarat Basin in northern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01343-x>
- Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S.H., 2018. Evaluation of the relationship between soil erosion and landscape metrics across Gorgan Watershed in northern Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190(11): 643. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7040-5>
- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., Sakieh, Y., 2017. Hyrcanian forests conservation based on ecosystem services approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(10): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6702-x>
- Derakhshan-Babaei, F., Nosrati, K., Mirghaed, F. A., Egli, M., 2021. The interrelation between landform, land-use, erosion and soil quality in the Kan catchment of the Tehran province, central Iran. *Catena*, 204, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105412>

- Donohue, R.J., Roderick, M.L., McVicar, T.R., 2012. Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydrological processes into Budyko's hydrological model. *Journal of Hydrology*, 436: 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.033>
- Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and drainage systems*, 16(1): 33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>
- Fu, B., Li, Y., Wang, Y., Zhang, B., Yin, S., Zhu, H., Xing, Z., 2016. Evaluation of ecosystem service value of riparian zone using land use data from 1986 to 2012. *Ecological Indicators*, 69: 873-881. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.048>
- He, J., Huang, J., Li, C., 2017. The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: A joint contribution of cellular automata scenario simulation and habitat quality assessment model. *Ecological Modelling*, 366: 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.10.001>
- Lang, Y., Song, W., 2019. Quantifying and mapping the responses of selected ecosystem services to projected land use changes. *Ecological Indicators*, 102: 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.019>
- Lang, Y., Song, W., Zhang, Y., 2017. Responses of the water-yield ecosystem service to climate and land use change in Sancha River Basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 101: 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.06.003>
- Li, J., Zhang, C., Zhu, S., 2021. Relative contributions of climate and land-use change to ecosystem services in arid inland basins. *Journal of Cleaner Production*, 298: 126844. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126844>
- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M.C., Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst, MA, USA. www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Monrapussorn, S., 2018. Impact of climate and land use change on ecosystem services: A case study of Samutsakorn province, Thailand. *Ecological informatics*, 47: 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.08.007>
- Peng, Y., Mi, K., Qing, F., Xue, D., 2016. Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. *Journal of Arid Environments* 124: 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.009>
- Pham, T. G., Nguyen, H. T., Kappas, M., 2018. Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4): 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.08.001>
- Schirpke, U., Kohler, M., Leitinger, G., Fontana, V., Tasser, E., Tappeiner, U., 2017. Future impacts of changing land-use and climate on ecosystem services of mountain grassland and their resilience. *Ecosystem services*, 26: 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.008>
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chapin-Kramer, B., 2020. InVEST 3.8.0.post52 + ug.g8cfdc4a User's Guide. Stanford: The Natural Capital Project.
- Weldegebriel, S. K., Yeshitela, K., 2021. Measuring the Semi-Century Ecosystem-Service Value Variation in Mekelle City Region, Northern Ethiopia. *Sustainability*, 13(18): 10015. <https://doi.org/10.3390/su131810015>
- Wu, Y., Zhang, X., Li, C., Xu, Y., Hao, F., Yin, G., 2021. Ecosystem service trade-offs and synergies under influence of climate and land cover change in an afforested semiarid basin, China. *Ecological Engineering*, 159: 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106083>
- Yang, J., Xie, B., Zhang, D., Tao, W., 2021. Climate and land use change impacts on water yield ecosystem service in the Yellow River Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 80(3): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09277-9>

Zhang, M., Wang, K., Liu, H., Zhang, C., Yue, Y., Qi, X., 2018. Effect of ecological engineering projects on ecosystem services in a karst region: A case study of northwest Guangxi, China. *Journal of Cleaner Production* 183: 831-842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.102>



Investigating the Accuracy and Efficiency of Hydrological Re-Analyzed Models in Estimating the Evaporation Rate from Dam Reservoirs (Case Study: Yamchi Dam, Ardabil)

Zahra Vahabzadeh^a, Atabak Feizi^{b*}, Leila Malekani^b

^a M.Sc. Student in Civil Engineering-Water Resource Management and Engineering, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^b Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

Received: 12 June 2022

Revised: 25 November 2022

Accepted: 1 December 2022

Abstract

In this study, the efficiency of hydrological re-analyzed models SWBM, HTESEL, HBV-SIMREG, Ensemble, and LISFLOOD in estimating the rate of evaporation from the reservoir of Yamchi dam in Ardabil was investigated. The evaporation values obtained from the re-analyzed models were validated using the findings of Penman's analytical equation and the values of eight experimental models. In addition to the methods, the accuracy of re-analyzed models was evaluated using the feed forward neural network. The resulting feed forward neural network was designed in two stages with two and three hidden layers and each was evaluated in three different combinations of network inputs. According to the findings, the values generated from the Penman analytical model had a correlation coefficient of 0.9 with the data received from studied area's evaporation pan. Among the hydrological re-analyzed models, the highest correlation with received data from study area's evaporation pan was related to LISFLOOD model with a value of 0.87 and RMSE equal to 1.37 mm per day. The obtained results showed that the mean absolute error for the LISFLOOD model with the data provided from the study area's evaporation pan was 1.14 mm per day, on a daily time scale. The results showed that in the absence of area data, re-analyzed hydrological model can readily offer the best estimate of evaporation from the reservoirs' free surface on a monthly scale.

Keywords: Evaporation, Dam Reservoir, Hydrological Re-analyzed Model, Analytical And Experimental Model, Neural Network

* . Corresponding author: Atabak Feizi E-mail: a_feizi@uma.ac.ir Tel: + 989126972187

How to cite this Article: Vahabzadeh, Z., Feizi, A., & Malekani, L. (2023). Investigating the accuracy and efficiency of hydrological re-analyzed models in estimating the evaporation rate from dam reservoirs (Case study: Yamchi Dam, Ardabil). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 47-62.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.77129.1242



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



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77129.1242>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهارم و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۶۲-۴۷
مقاله پژوهشی

بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها (مطالعه موردی: سد یامچی اردبیل)

زهرا وهابزاده - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
 اتابک فیضی^۱ - دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
لیلا ملکانی - استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی مرنند، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۱۰

چکیده

امروزه با در دست داشتن مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی به راحتی می‌توان به مقادیر مورد نیاز تبخیر در زمان و مکان دلخواه دست پیدا کرد. در مقاله حاضر ر به بررسی کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی LISFLOOD، Ensemble، HBV-SIMREG، HTESSEL، SWBM و برای تخمین مقدار تبخیر از مخزن سد یامچی اردبیل پرداخته شد. جهت ارزیابی کارایی مقادیر تبخیر به دست آمده از مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی، از نتایج معادله تحلیلی پنمن و مقادیر هشت رابطه تجربی جهت تخمین تبخیر از سطح آزاد آب استفاده گردید. همچنین در کنار این دو روش، دقت مدل‌های بازتحلیل شده با روش عصبی پیش‌خور نیز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر تبخیر حاصل از مدل تحلیلی پنمن دارای ضریب همبستگی ۰/۹۰ با داده‌های به دست آمده از تشت تبخیر منطقه مورد مطالعه است. از میان مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی بالاترین همبستگی با مقادیر تشت تبخیر توسط مدل LISFLOOD با مقدار ۰/۸۷ و RMSE برابر ۱/۳۷ میلی‌متر در روز به دست

Email: a_feizi@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۹۷۲۱۸۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

وهاب زاده آراسته، زهرا؛ فیضی، اتابک؛ ملکانی، لیلا؛ ۱۴۰۲. بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در برآورد میزان تبخیر از مخازن سدها (مطالعه موردی: سد یامچی اردبیل). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۶۲-۴۷
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77129.1242>

آمد. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که مقدار MAE مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده توسط تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی در حدود ۱/۱۴ میلی‌متر در روز بوده است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که برای تخمین تبخیر از مخازن سد در صورت عدم دسترسی به داده‌های منطقه، مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی می‌تواند تخمین مناسبی در مقیاس تبخیر روزانه در اختیار کاربر قرار دهد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر، مخزن سد، مدل باز تحلیل شده هیدرولوژیکی، مدل تحلیلی و تجربی، شبکه عصبی مصنوعی.

۱- مقدمه

تبخیر یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی است و برآورد دقیق آن از اهمیت بالایی برخوردار است. متداول‌ترین روش اندازه‌گیری تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک، استفاده از تشت تبخیر کلاس A است ولی این داده‌ها ممکن است دارای پوشش مکانی و زمانی مناسب نبوده و همچنین دارای خطای اندازه‌گیری باشند. امروزه وجود امنیت آبی برای اقتصاد تمام دنیا بسیار مهم و اساسی است. در بیشتر مناطق جهان دسترسی مستقیم به تمامی داده‌های آبی امکان‌پذیر نیست. تغییرات اقلیمی باعث تحت تأثیر قرار گرفتن بخش بزرگی از کشاورزی، صنعت و تولید نیروی برق آبی می‌شود به همین دلیل مدل‌های باز تحلیل شده هیدرولوژیکی یکی از ارزان‌ترین و قابل‌اعتمادترین روش‌ها برای به دست آوردن اطلاعات آبی موردنیاز است. محققان زیادی برای تخمین میزان تبخیر از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. **یزدانی و همکاران (۱۳۹۰)** با استفاده از روش‌های تجربی تبخیر و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری در تخمین تبخیر در اراضی شالیزار آمل را دارد. همچنین روش تجربی ایوانف بالاترین همبستگی را با تشت تبخیر دارا بود. **آبکار و همکاران (۱۳۹۳)** با استفاده از مدل بازتحلیل شده CGCM و استفاده از روش ریز مقیاس نمایی SDSM به پیش‌بینی متغیرهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل تغییر اقلیم به نوع و دوره پایه داده‌های بازتحلیل شده حساس است. **خوشحال جهرمی (۱۳۹۴)** به وسیله روش‌های تجربی، میزان تبخیر از دو اقلیم متفاوت استان فارس را مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که روش مایر و ایوانف دارای دقت بالاتری هستند. **نجفوند دریکوندی و اسلامی (۱۳۹۶)** به مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب برای سد تنظیمی دز پرداختند. نتایج نشان داد رابطه مایر نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. **عزیزیان و همکاران (۱۳۹۹)** در مطالعه خود عملکرد داده‌های به دست آمده از تبخیر-تعرق مدل‌های بازتحلیل شده W3RA، HBV، PCR-GLOBW، SIMREG، WATER-GAP و Ensemble و داده‌های لایسیمتری را در بخش‌های مختلف ایران (قزوین، ارومیه، اهواز، بوشهر، رشت، گرگان، کردستان، مرکزی، یزد، رفسنجان، خراسان و کرمان) مورد بررسی قرار

دادند. نتایج حاصله نشان داد مدل HBV-SIMREG دارای خطای کمتری نسبت به مدل‌های دیگر است. کوهی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود به ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق در مدل‌های بازتجزیه شده GLEAM، W3RA و HBV در واسنجی مدل هیدرولوژیکی VIC-3L در حوضه سفیدرود پرداختند. مقادیر این واسنجی با استفاده از شاخص کلینگ گوپتا^۱ صحت‌سنجی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق مدل HBV با داشتن مقادیر بهتری از شاخص KGE در مقادیر ماهانه نسبت به سناریوی پایه از عملکرد بهتری برخوردار است. بیسلینک^۲ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تفاوت پارامتر بارش بین داده‌های مدل بازتجزیه شده LISFLOOD و داده‌های میدانی در منطقه جنوبی آفریقا پرداختند. بدین منظور از هفت مدل مبتنی بر ماهواره استفاده شد. نتایج نشانگر اختلاف قابل توجهی از نظر همبستگی خطی در داده‌های مدل LISFLOOD و داده‌های مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه بود. یانگ^۳ (۲۰۱۷) در تحقیق خود به بررسی تبخیر تعرق واقعی و داده‌های مدل بازتجزیه شده GLEAM در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در کشور چین پرداخت. نتایج این ارزیابی نشان داد که مدل GLEAM در کل کشور چین به غیر از منطقه زیشوانگ بانا از همبستگی بالایی برخوردار است. کوکولا^۴ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی ۱۸ مدل بازتجزیه شده هیدرولوژیکی در زمینه بارش، رولناب، تبخیر تعرق و میزان ذخیره آب زیرزمینی در سه مقیاس مختلف در حوضه بالای نیل آبی در اتیوپی پرداختند. بدین منظور تحلیل روی چرخه هیدرولوژیکی و چرخه دینامیکی منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد مدل‌های مربوط به تخمین جریان دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های تبخیر و تعرق می‌باشند. دمبله^۵ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی توانایی دوازده مجموعه داده تبخیر در مدل‌های هیدرولوژیکی برای رودخانه ولتا در غرب آفریقا پرداختند. این دوازده مجموعه شامل مدل‌های تشخیصی مبتنی بر ماهواره (MOD16A2, SSEBop, ALEXI, CMRSET, SEBS)، مدل‌های پیش‌بینی کننده مبتنی بر ماهواره (ERA5, MERRA-2, JRA-55) بودند. با استفاده از چهار استراتژی کالیبراسیون چند متغیره، میزان تبخیر و مقدار رواناب، چهل و هشت سناریو تولید شد که از نتایج آن برای مقایسه داده‌های تبخیر با مدل معیار استفاده شد. نتایج نشان داد که سه مدل MERRA-2، GLEAM v3.3a و SSEBop بهترین پایگاه‌های محاسبه تبخیر برای این منطقه محسوب می‌شوند. لو^۶ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به بررسی تبخیر از سطح روزانه بلندمدت با استفاده از داده‌های بازتجزیه شده هیدرولوژیکی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ در مقیاس جهانی پرداختند. در این مطالعه از ضریب تغییرات

1 Kling-Gupta (KGE)

2 Besselinck

3 Yang

4 Koukoulou

5 Dembélé

6 Lu

(CA¹) و روش میانگین ضریب اطمینان (REA²) برای ادغام سه مدل بازتحلیل شده ERA5، GLDAS2 و MERRA2 به منظور تولید داده‌های تبخیر از سطح روزانه استفاده شد. نتایج نشان داد میزان تبخیر روند کاهشی در دشت آمازون، آمریکای جنوبی و حوضه کنگو در آفریقای مرکزی و روند افزایشی در شرق آمریکای شمالی، غرب اروپا، جنوب آسیا و شمال اقیانوسیه دارد.

با توجه به مطالب ارائه شده، در زمینه بررسی کارایی و دقت مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی برای تخمین تبخیر از مخازن سد مطالعات کمتری صورت گرفته و تمرکز بیشتر مطالعات بر روی تخمین مقدار تبخیر-تعرق بوده است. از آنجایی که تخمین مناسب تبخیر از مخازن سد می‌تواند کمک شایانی در مدیریت منابع آب داشته باشد، در مقاله حاضر به بررسی کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی برای تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی اردبیل در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ پرداخته شد. جهت بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از این مدل‌ها در تخمین میزان تبخیر، مقادیر به دست آمده با مقادیر روش‌های متداول مانند مدل تحلیلی پنمن، هشت مدل تجربی و درنهایت مقادیر حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

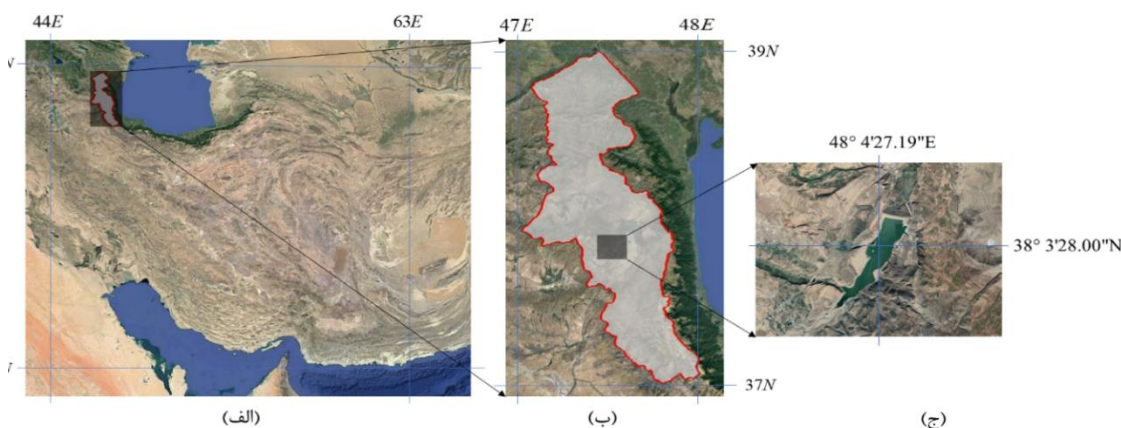
سد یامچی بر روی رودخانه بالیخلی چای اردبیل که از شرق رشته کوه سبلان جاری می‌شود قرار دارد. این سد در فاصله ۵ کیلومتری از شهرستان نیر از توابع استان اردبیل واقع شده است (شکل شماره ۱). سد یامچی به دلیل تأمین آب شرب و آبیاری اراضی پایین دست در شهر اردبیل، از لحاظ استراتژیکی جایگاه بسیار مهمی دارد. این سد در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ دقیقه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مجموع تبخیر در استان اردبیل بین ۶۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. در ارتفاعات و نواحی کوهستانی استان که به طبع دارای آب‌وهوای معتدل و یخبندان زیاد هستند میزان تبخیر کم‌تر است. این رقم در مرکز استان از ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. برای منطقه مورد مطالعه از اطلاعات موجود تبخیر سه ایستگاه سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل استفاده شد. مختصات این سه ایستگاه هواشناسی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

داده‌های روزانه و ماهانه تبخیر ارائه شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ موجود می‌باشند. داده‌های روزانه تبخیر در ایستگاه سینوپتیک نیر که نزدیک‌ترین و مهم‌ترین ایستگاه به مخزن سد یامچی است، از سال ۲۰۰۹ برداشت شده است. ایستگاه سینوپتیک سرعین نیز تازه تأسیس است و دارای آمار طولانی مدت نیست. بدین منظور در این مطالعه به دو صورت عمل شده است. در قسمت اول از داده‌های تبخیر

1 Coefficient of Variation

2 Reliability Ensemble Average

روزانه و ماهانه سال‌های مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ جهت بررسی تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی استفاده شد. در قسمت دوم به‌تنهایی از تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر مستقر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل که دارای آمار بلندمدت از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ است استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) ایران ب) استان اردبیل ج) سد یامچی

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

بازه زمانی مورد مطالعه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه سینوپتیک
۲۰۰۹ الی ۲۰۱۲	38° 20'	48° 37'	نیر
	38° 08'	48° 05'	سرعین
۱۹۸۰ الی ۲۰۱۲	38° 12'	48° 20'	اردبیل

۲-۲- مدل‌های بازتحلیل شده

در این تحقیق از مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی موجود در سایت Earth2observe استفاده شده است. Earth2observe یک رصد جهانی برای ارزیابی یکپارچه منابع آب است و تحت برنامه FP7 پایه‌گذاری شده است. این پروژه از ژانویه ۲۰۱۴ آغاز شد و به مدت چهار سال تا پایان سال ۲۰۱۷ ادامه داشت. هدف کلی سایت کمک به ارزیابی منابع آب جهانی از طریق استفاده از مجموعه داده‌ها و تکنیک‌های جدید رصد زمین است. برای این منظور، مشاهدات و مدل‌های هیدرولوژیکی موجود را برای ایجاد منابع آبی منسجم در جهان، یکپارچه می‌نماید. در بیشتر مناطق مورد مطالعه ممکن است داده‌های هواشناسی به‌درستی ثبت نشده باشند و یا دارای مقادیر زیادی خطا باشند. همچنین این داده‌ها ممکن است دارای پوشش مکانی و زمانی مناسبی نباشند و روند بسیاری از مطالعات را با اختلال

همراه سازند. در نتیجه استفاده از مدل بازتحلیل شده مناسب می‌تواند کمک شایانی به پیشرفت بسیاری از پروژه‌های هیدرولوژیکی و مطالعات محیط زیستی بنماید. در این تحقیق از مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه ارائه شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی HBV-SIMREG, HTESSEL, SWBM, Ensemble و LISFLOOD استفاده شده است.

۳-۲- مدل تحلیلی پنمن

در این تحقیق، کارایی مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در تخمین میزان تبخیر روزانه و ماهانه با مقادیر ارائه شده توسط مدل تحلیلی پنمن مورد مقایسه قرار گرفت. معادله پنمن ترکیبی از معادلات بقای جرم و بقای انرژی است. رابطه این روش به صورت معادله شماره ۱ است.

$$E = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right)Q_n + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}\right)E_a \quad (1)$$

که در آن، E تبخیر از سطح آزاد آب (mm/day)، Qn انرژی خالص موجود برای تبخیر آب (mm/day)، E_a قسمت آئرودینامیک معادله (mm/day)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع (mbar/°C)، γ ضریب سایکرومتریک (mbar/°C)² می‌باشند.

۴-۲- مدل های تجربی

در این تحقیق از هشت معادله تجربی دالتون (Dalton)، هایر (Mayer)، شاهتین (Shahtin)، هنفر (Henfer)، مارسیانو (Marciano)، ایوانف (Ivanov)، تیچومیروف (Tikhomorov) و روهر (Rohwer) برای تخمین تبخیر روزانه و ماهانه از مخزن سد یامچی استفاده شد که فرمول مربوط به هر رابطه در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادلات تجربی جهت تخمین تبخیر از سطح مخزن سطح

فرمول معادله	نام معادله
$E = 0.35(e_s - e_d)(0.5 + \frac{U_2}{100})$	دالتون
$E = (1 + \frac{U}{16})C(e_s - e_d)$	مایر
$E = (0.116 + 0.017U)(e_s - e_d)$	شاهتین
$E = 0.028U(e_s - e_d)$	هنفر
$E = 0.03U(e_s - e_d)$	مارسیانو
$E = 0.0018(T + 25)^2(100 - RH)$	ایوانف
$E = (e_s - e_d)(15 + 3U_{10})$	تیچومیروف
$E = 0.771(1.456 - 0.000732P_a)(0.44 + 0.0733U_{0.6})(e_s - e_d)$	روهر

که در آن؛ E تبخیر از سطح آزاد آب بر حسب (mm/day) ، e_s و e_d به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب (mbar) ، P_a میانگین فشار (mbar) ، U_2 سرعت متوسط باد در ارتفاع ۲ متری (km/day) ، C ضریبی است که برای دریاچه‌های عمیق $0/36$ و برای دریاچه‌های کم عمق $0/5$ در نظر گرفته می‌شود. همچنین U سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین (km/day) ، T میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، RH میانگین رطوبت نسبی (درصد) است.

۲-۵- مدل هوش مصنوعی پیش‌خور Fitnet

شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks – ANN) سیستم و روش یادگیری نوین برای نمایش داده‌ها و یادگیری ماشینی در جهت تولید خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. شبکه‌های عصبی پیش‌خور (Feedforward Neural Network) یکی از انواع شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند و نحوه کارکرد آن‌ها به صورت حرکت مستقیم داده‌ها روبه‌جلو است و با شبکه‌های بازگشتی متفاوت است. شبکه عصبی پیش‌خور دارای دو تابع Fitnet و Patternnet است. شبکه Patternnet برای کلاسه‌بندی و طبقه‌بندی داده‌ها و تابع Fitnet برای مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌ها استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر برای شبیه‌سازی مقادیر تبخیر روزانه از مخزن سد یامچی از شبکه Fitnet استفاده شد. طراحی شبکه به صورت Fitnet دو و سه لایه مخفی انجام گردید. همچنین با در دست داشتن نه پارامتر مؤثر در تبخیر شامل دمای مینیمم، دمای ماکزیمم، دمای میانگین، بارش، ساعات آفتابی، سرعت باد ماکزیمم، سرعت باد میانگین، میانگین رطوبت و میانگین فشار از سطح دریا، سه ترکیب از ورودی‌ها برای هر شبکه بررسی شد و بیشترین همبستگی به‌عنوان بهترین جواب مشخص گردید.

۲-۶- شاخص‌های ارزیابی

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از شاخص‌های R (همبستگی)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و MAE (میانگین مطلق خطا)، MSE (میانگین مربعات خطا) استفاده شد. این شاخص‌های آماری طبق روابط (۲) تا (۵) محاسبه می‌شوند:

$$R = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2)}} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum(|X_i - Y_i|)}{N} \quad (۴)$$

$$MSE = \frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{N} \quad (5)$$

که در آن: X_i تبخیر مدل مرجع و Y_i تبخیر محاسبه شده با مدل‌های دیگر، \bar{X} میانگین تبخیر مدل مرجع و \bar{Y} میانگین تبخیر در هر مدل دیگر و N تعداد داده‌های موجود است.

۳- نتایج و بحث

به دلیل جدیدالاحداث بودن ایستگاه‌های سینوپتیک نیر و سرعین، جهت بررسی عمیق‌تر نتایج از داده‌های تبخیر روزانه و ماهانه اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر مستقر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل که دارای طول آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ بود به صورت مجزا نیز استفاده شد. بدین منظور در این مطالعه به دو صورت عمل شده است. در قسمت اول از مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه تشت تبخیر در سال‌های آماری مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) استفاده گردید. در بخش دوم فقط از تبخیر روزانه و ماهانه ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک اردبیل استفاده شد که دارای طول آماری بلندمدت از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ است.

۳-۱- مقایسه نتایج مدل‌های باز تحلیل شده با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن سد

یامچی

به دلیل موقعیت جغرافیایی مخزن سد یامچی، یکبار مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) به طور مجزا و بار دیگر به صورت تیسنبندی شده برای سال‌های آماری مشترک (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) بین ایستگاه‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول شماره ۳ میزان همبستگی مقادیر تبخیر روزانه حاصل از مدل تحلیلی پنمن با داده‌های تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) ارائه شده است. همبستگی مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر با معادله تحلیلی پنمن در ایستگاه سینوپتیک نیر ۰/۹۱ به دست آمد. میزان این همبستگی در ایستگاه سینوپتیک سرعین کمتر از نیر و مقدار ۰/۸۶ و در اردبیل ۰/۸۸ را نشان می‌داد. وقتی این محاسبات بار دیگر به صورت تیسنبندی شده بین ایستگاه‌های فوق انجام شد مقدار همبستگی ۰/۹۰ به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار شاخص $RMSE$ و MAE اعداد کوچکتری نسبت به حالت‌های غیر تیسنبندی نشان می‌دهند. به همین علت برای ادامه محاسبات در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ از داده‌های به دست آمده از تیسنبندی استفاده شد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین مربعات خطای (MSE) معادله تحلیلی پنمن با مقادیر تشت تبخیر در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ در حدود ۰/۵۱ است.

در صورتی که فقط از داده‌های تبخیر روزانه تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شود، طبق جدول شماره ۳، همبستگی مقادیر تشت تبخیر این ایستگاه با مقادیر تبخیر حاصل از معادله

تحلیلی پنمن ۰/۷۹ حاصل می‌شود. نتایج حاصل شده همچنین نشان می‌دهد که میانگین مربعات خطای (MSE) روزانه تبخیر به دست آمده از معادله تحلیلی پنمن با داده‌های حاصل از تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در حدود ۳/۲۲ می‌باشد. در **جدول شماره ۴** میزان همبستگی تبخیر به دست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی با مقادیر تبخیر حاصل از تشت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲) ارائه شده است. بدین منظور میزان تبخیر از مخزن سد یامچی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه توسط مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی HBV، HTESSEL، SWBM، Ensemble، LISFLOOD از سایت earth2observe دانلود گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره ۴، بهترین همبستگی مقادیر تبخیر حاصل از مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی با در نظر گرفتن سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)، مدل LISFLOOD با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۸۸ به ترتیب برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه حاصل شد. بعد از مدل LISFLOOD بیشترین شباهت به مقادیر تبخیر از تشت تبخیر را مدل SWBM با همبستگی ۰/۷۲ برای مقادیر تبخیر روزانه و مقدار ۰/۷۳ برای تبخیر ماهانه دارا می‌باشد. بقیه مدل‌های بازتحلیل شده برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه همبستگی مناسبی را نشان ندادند. نتایج به دست آمده همچنین نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در سال‌های مشترک ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ به ترتیب در حدود ۱/۳۷ و ۳۴/۷۱ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۱۴ و ۳۱/۴۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. مقادیر همبستگی به دست آمده با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲) که در **جدول شماره ۴** ارائه شده است نشان می‌دهد که مدل LISFLOOD با مقدار ۰/۵۶ برای مقادیر تبخیر روزانه و مقدار ۰/۴۲ برای تبخیر ماهانه همچنان مقادیر مناسبی را ارائه می‌دهد. بعد از مدل LISFLOOD مشابه با نتایج استفاده از سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک، بیشترین نزدیکی به داده‌های تشت تبخیر را مدل SWBM با همبستگی ۰/۴۴ برای مقادیر تبخیر روزانه و مقدار ۰/۴۸ برای تبخیر ماهانه دارا می‌باشد. بقیه مدل‌های بازتحلیل شده برای مقادیر تبخیر روزانه و ماهانه همبستگی مناسبی را نشان ندادند. همچنین مقادیر به دست آمده بیانگر آن است که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه مدل LISFLOOD با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل به ترتیب در حدود ۲/۲۴ و ۳۲/۶۹ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۹۱ و ۱۸/۵۴ میلی‌متر در روز می‌باشد.

جدول ۳- میزان همبستگی مقادیر مدل تحلیلی پنمن با داده‌های تشت تبخیر ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

طول دوره آماری	ایستگاه سینوپتیک	R	RMSE	MAE
۲۰۱۲ تا ۲۰۰۹	نیر	۰/۹۱	۱/۶۶	۱/۳۵
	سرعین	۰/۸۶	۱/۹۲	۱/۴۶

MAE	RMSE	R	ایستگاه سینوپتیک	طول دوره آماری
۰/۹۹	۱/۲۵	۰/۸۸	اردبیل	
۰/۹۱	۱/۲۱	۰/۹۰	استفاده از داده‌های ایستگاه‌ها به صورت تیسین‌بندی	
۱/۸۳	۲/۵۳	۰/۷۹	اردبیل	۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲

جدول ۴- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی با مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

MAE (mm/day)		RMSE (mm/day)		R		مدل بازتحلیل شده	
ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه		
۳۴/۶۵	۱/۲۶	۳۷/۰۲	۱/۵۷	۰/۷۳	۰/۷۲	SWBM	بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)
۳۷/۲۰	۱/۳۸	۴۳/۴۸	۱/۸۲	۰/۲۶	۰/۳۶	HTESSSEL	
۳۷/۲۵	۱/۴۹	۴۳/۱۰	۱/۸۸	۰/۲۸	۰/۲۶	HBV_SIMREG	
۴۵/۸۹	۱/۵۵	۵۰/۹۹	۲/۰۰	۰/۳۹	۰/۴۰	Ensemble	
۳۱/۴۵	۱/۱۴	۳۴/۷۱	۱/۳۷	۰/۸۸	۰/۸۷	LISFLOOD	
۵۳/۷۴	۲/۴۴	۵۸/۸۲	۳/۱۰	۰/۴۸	۰/۴۴	SWBM	بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)
۵۵/۳۲	۲/۵۷	۶۰/۸۰	۳/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۵	HTESSSEL	
۵۴/۷۸	۲/۷۷	۶۰/۳۶	۳/۴۸	۰/۱۴	-۰/۰۷	HBV_SIMERG	
۶۱/۲۴	۲/۷۱	۶۶/۹۶	۳/۵۱	۰/۲	۰/۰۵	Ensemble	
۱۸/۵۴	۱/۹۱	۳۲/۶۹	۲/۲۴	۰/۴۲	۰/۵۶	LISFLOOD	

۳-۲- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از روابط تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از مخزن

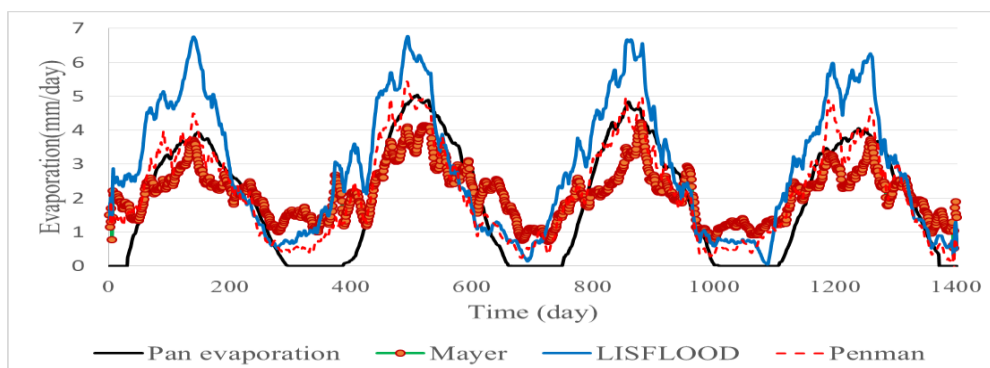
سد یامچی

در این تحقیق، نتایج به دست آمده از معادله‌های تجربی برای تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی هم با استفاده از سال‌های مشترک بین ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و هم با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل در جدول شماره ۵ ارائه شده است. نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که بالاترین همبستگی تبخیر روزانه و ماهانه با داده‌های تشت تبخیر در سال‌های مشترک مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (نیر، سرعین و اردبیل) مربوط به روابط تجربی مایر و ایوانف به ترتیب با مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۹۱ می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن سه فاکتور میزان همبستگی، RMSE و MAE فرمول تجربی مایر مناسب‌ترین رابطه برای تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی بوده است. همچنین با مقایسه مقادیر RMSE و MAE و روند تبخیر بین داده‌های روزانه و ماهانه می‌توان به

این نتیجه رسید که مدل‌های تجربی مذکور برای داده‌های روزانه کارآمدتر از ماهانه عمل کرده‌اند. در صورتی که به تنهایی از داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شود، طبق **جدول شماره ۵**، همچنان رابطه تجربی مایر مقادیر مناسبی از تبخیر مخزن سد یامچی ارائه داده است. در این حالت جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه و ماهانه رابطه مایر با داده‌های ثبت شده تحت تبخیر در ایستگاه سینوپتیک اردبیل به ترتیب در حدود ۲/۲۲ و ۳۶/۲۵ و میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب در حدود ۱/۸۳ و ۲۲/۷۴ میلی‌متر در روز می‌باشد. نتیجه مشابه این تحقیق، در کار تحقیقی نجفوند **دریکوندی و اسلامی (۱۳۹۶)** نیز ارائه شده است. **شکل شماره ۲** روند تبخیر روزانه تحت تبخیر، نتایج مدل تحلیلی پنمن، بهترین مدل تجربی و مناسب‌ترین مدل بازتحلیل شده هیدرولوژیکی را با در نظر گرفتن سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) را نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، مقادیر ارائه شده توسط مدل باز تحلیل شده تمایل به بیش برآوردی دارد.

جدول ۵- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از روابط تجربی با مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تحت تبخیر بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

MAE (mm/day)		RMSE (mm/day)		R		روابط تجربی	
ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه	روزانه		
۳۷/۳۶	۰/۸۴	۴۴/۰۳	۱/۵۷	۰/۹۲	۰/۸۴	دالتون	بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)
۱۲/۷۳	۰/۹۲	۱۷/۸۶	۱/۰۶	۰/۹۱	۰/۸۷	مایر	
۴۰/۹۷	۱/۴۶	۴۵/۶۹	۱/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۴	شاهتین	
۵۴/۲۴	۱/۷۴	۵۹/۱۸	۲/۲۲	۰/۶۶	۰/۶۰	هنفر	
۵۳/۵۱	۱/۷۲	۵۷/۴۱	۲/۲۰	۰/۶۶	۰/۶۰	مارسیانو	
۲۹/۹۴	۱/۲۵	۳۷/۶۴	۱/۴۹	۰/۹۱	۰/۸۸	ایوانف	
۳۲/۵۰	۱/۳۱	۳۷/۱۵	۱/۵۷	۰/۸۸	۰/۸۳	تیچومیروف	
۱۵/۲۲	۰/۹۱	۱۹/۲۶	۱/۰۹	۰/۹۰	۰/۸۵	روهور	
۶۳/۵۷	۲/۶۰	۶۹/۲۵	۳/۳۵	۰/۳۱	۰/۶۲	دالتون		بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)
۲۲/۷۴	۱/۸۳	۳۶/۲۵	۲/۲۲	۰/۲۸	۰/۵۸	مایر	
۶۳/۲۵	۲/۶۳	۶۹/۰۰	۳/۳۷	۰/۲۳	۰/۵۳	شاهتین	
۶۹/۸۵	۲/۸۳	۷۷/۰۳	۳/۶۵	۰/۰۶	۰/۳۱	هنفر	
۶۹/۰۰	۲/۸۱	۷۵/۱۲	۳/۶۲	۰/۰۶	۰/۳۱	مارسیانو	
۶۵/۵۲	۲/۶۶	۷۱/۳۱	۳/۴۴	۰/۲۹	۰/۶۰	ایوانف	
۵۴/۴۳	۲/۴۷	۶۰/۰۰	۳/۰۹	۰/۲۱	۰/۵۱	تیچومیروف	
۴۲/۰۴	۲/۲۱	۴۸/۶۵	۲/۶۹	۰/۲۵	۰/۵۵	روهور	



شکل ۲- مقایسه روند تبخیر روزانه مقادیر تشت تبخیر با نتایج مدل تحلیلی پنمن، رابطه تجربی مایر و مدل بازتحلیلی LISFLOOD بین سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)

۳-۳- مقایسه نتایج تبخیر حاصل از شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر اندازه‌گیری شده تشت تبخیر در تخمین تبخیر از

مخزن سد یامچی

در این تحقیق، با استفاده از قابلیت نرم‌افزار Matlab، شبکه هوش مصنوعی Fitnet جهت تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی کدنویسی شد. بدین منظور از داده‌های تشت تبخیر روزانه استفاده شده است. با توجه به دسترس بودن اطلاعات نه پارامتر مربوط جهت تخمین مقدار تبخیر، از سه ترکیب متفاوت برای ورودی‌های شبکه استفاده شد که در جدول شماره ۶ ارائه شده است. برای لایه خروجی نیز از داده‌های تبخیر محاسبه شده به روش تحلیلی پنمن استفاده شد. طراحی شبکه به صورت دو و سه لایه مخفی صورت گرفت و با استفاده از بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها، حد بالای آن‌ها در هر لایه تعداد ده عدد در نظر گرفته شد. برای داشتن تعداد نرون بهینه در هر لایه از حلقه‌های For تودرتو استفاده شد. شرط توقف مدل، میزان خطای کمتر MSE انتخاب گردید و در آخر بر اساس شبکه طراحی شده و ورودی‌های آن، داده‌های پیش‌بینی شده محاسبه گردیدند. همچنین از تابع لونیگ-مارکو برای آموزش شبکه استفاده گردید. چون شبکه Fitnet از توابع آماده برای شبکه پیش‌خور است به صورت پیش‌فرض داده‌های آموزش و اعتبارسنجی را جدا می‌کند و نیازی به دستور مستقیم از سمت کاربر وجود ندارد. مقدار همبستگی با مقادیر تشت تبخیر و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه با توجه به ترکیب‌های ورودی ارائه شده در جدول شماره ۶، تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهان شبکه به دست آمد.

جدول ۶- ترکیب‌های داده‌های ورودی شبکه Fitnet

داده خروجی شبکه Fitnet	داده‌های ورودی شبکه Fitnet	ترکیب داده‌های ورودی
داده‌های تشت تبخیر ایستگاه‌های منطقه	دمای مینیمم-دمای ماکزیمم- میانگین دما-ساعات آفتابی-بارش-حداکثر سرعت باد-میانگین فشار-میانگین رطوبت هوا-میانگین سرعت باد	ترکیب ۱
	میانگین فشار-میانگین رطوبت هوا- میانگین دما- میانگین سرعت باد- بارش	ترکیب ۲

ترکیب داده‌های ورودی	داده‌های ورودی شبکه Fitnet	داده خروجی شبکه Fitnet
ترکیب ۳	دمای مینیمم-دمای ماکزیمم- میانگین دما- میانگین فشار- ساعات آفتابی	

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره ۷ می‌توان نتیجه گرفت که سه لایه مخفی بهتر از دو لایه مخفی جواب داده است. تعداد بهینه نرون‌ها برای شبکه با دو لایه مخفی در هر سه ترکیب، یک نرون برای لایه اول و سه نرون در لایه دوم را نشان می‌دهد. بهترین نتیجه مربوط به شبکه سه لایه‌ای هم در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه و هم در ایستگاه سینوپتیک اردبیل با ترکیب ورودی شماره دو و تعداد نرون‌های ۱۰ حاصل شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تبخیر روزانه بهترین شبکه عصبی با داده‌های ثبت شده تشت تبخیر در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه ۰/۹۲ و در ایستگاه سینوپتیک اردبیل ۲/۴۵ میلی‌متر در روز می‌باشد. در نهایت همبستگی داده‌های آموزش، تست و اعتبارسنجی بهترین شبکه در سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۷- اطلاعات مربوط به خطای شبکه و میزان همبستگی برای شبکه‌های موجود بین سال‌های مشترک

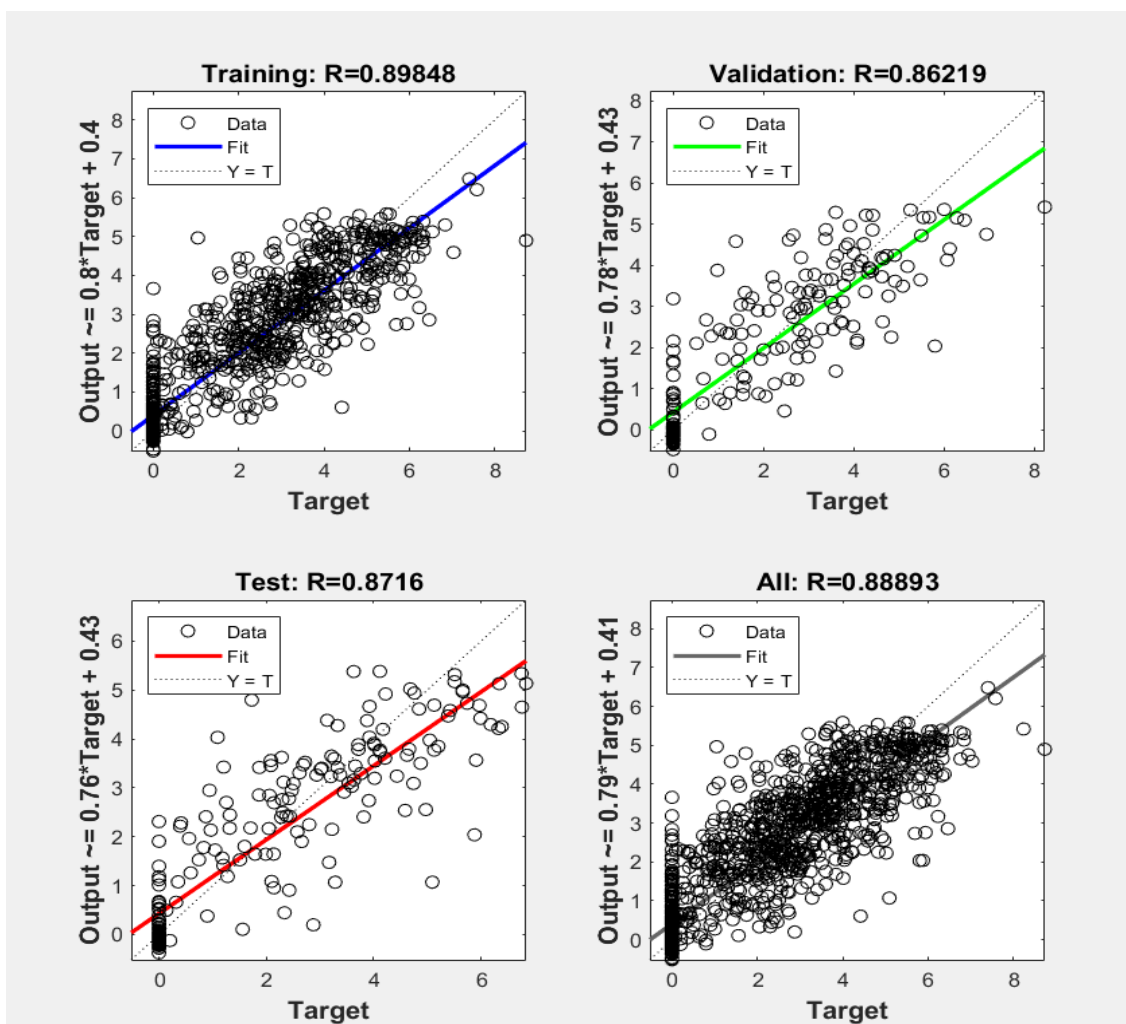
ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲) و ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)

RMSE	ضریب همبستگی			تعداد نرون بهینه**	ساختار شبکه پیش‌خور*	
	MSE	Test	Train			
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۸	۳-۱	۱-۲	بر اساس سال‌های مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک نیر، سرعین و اردبیل (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)
۱/۰۴	۱/۰۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۳-۱	۲-۲	
۱/۰۳	۱/۰۷	۰/۸۵	۰/۸۶	۳-۱	۳-۲	
۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۰	۱۰-۱۰-۱۰	۱-۳	
۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۰	۱۰-۱۰-۱۰	۲-۳	
۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۸۹	۱۰-۱۰-۱۰	۳-۳	
۲/۵۴	۶/۴۵	۰/۶۷	۰/۶۹	۳-۱	۱-۲	بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اردبیل (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲)
۲/۴۸	۶/۱۴	۰/۷۰	۰/۷۰	۳-۱	۲-۲	
۲/۵۹	۶/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۷	۳-۱	۳-۲	
۲/۵۰	۶/۲۴	۰/۶۶	۰/۷۱	۱۰-۱۰-۱۰	۱-۳	
۲/۴۵	۵/۹۸	۰/۷۱	۰/۷۱	۱۰-۱۰-۱۰	۲-۳	
۲/۵۳	۶/۴۰	۰/۷۱	۰/۷۰	۱۰-۱۰-۱۰	۳-۳	

** عدد اول از سمت چپ نشان‌دهنده تعداد لایه و عدد دوم ترکیب ورودی است.

** عدد اول از سمت چپ نشان‌دهنده تعداد بهینه نرون در لایه اول، عدد دوم تعداد بهینه نرون در لایه دوم و عدد سوم تعداد

بهینه نرون در لایه سوم



شکل ۳- بهترین میزان همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه Fitnet با داده‌های تشت تبخیر مربوط به سال‌های آماری مشترک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲)

۴- جمع‌بندی

تبخیر به دلیل گستره تغییرات مکانی و زمانی برای مطالعات آب و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و محاسبات تبخیر یکی از لزومات جدی به شمار می‌آید ولی عدم پوشش مکانی مناسب ایستگاه‌های هواشناسی موجب ایجاد کمبود اطلاعات در این باب شده است. نتایج مهمی که از این تحقیق به دست آمده است به صورت زیر هستند:

۱- از بین مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی، مدل‌های LISFLOOD و SWBM به ترتیب با بالاترین همبستگی و کمترین RMSE و MAE توانسته‌اند که میزان تبخیر از مخزن سد یامچی را با تخمین مناسبی شبیه‌سازی برآورد کنند.

۲- با توجه به مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی در تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی در مقیاس زمانی روزانه بهتر از ماهانه بوده و توصیه به استفاده از داده‌های روزانه تبخیر این مدل‌ها در بررسی تبخیر از مخازن سد می‌شود.

۳- از میان روابط تجربی استفاده شده در این تحقیق جهت تخمین میزان تبخیر از مخزن سد یامچی، رابطه تجربی مایر با بالاترین همبستگی و کمترین RMSE و MAE بهترین عملکرد را دارا است. همچنین روابط تجربی نیز در مقیاس تبخیر روزانه نتایج بهتری را ارائه داده است.

۴- بهترین نتیجه شبکه عصبی پیش‌خور (Fitnet) جهت تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی در حالت سه لایه و با پنج ورودی با تعداد نرون ۱۰ در هر لایه به دست آمد. به دلیل نیاز به داده‌های کافی جهت استفاده در شبکه عصبی، توصیه به استفاده از داده‌های روزانه تبخیر می‌شود. از بین روش‌های موردبررسی، به ترتیب معادله تحلیلی پنمن، شبکه عصبی بهترین تخمین تبخیر از مخزن سد یامچی داشته‌اند. مدل‌های بازتحلیل شده هیدرولوژیکی و رابطه تجربی مایر نیز همزمان در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

۵- در مناطقی با کمبود داده و اطلاعات، استفاده از مدل‌های بازتحلیل شده به دلیل عدم نیاز به مجموعه داده‌های زیاد، با در نظر گرفتن مقدار خطای قابل قبول می‌تواند روش جایگزین خوبی برای تخمین میزان تبخیر از مخازن سد باشد.

کتابنامه

- آبکار، علی جان؛ حبیب نژاد، محمود؛ سلیمانی، کریم؛ نقوی، هرمزد؛ ۱۳۹۳. حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به داده‌های بازتحلیل شده در مناطق خشک. خشک‌بوم، ۲۷-۱۱. (۲) ۴.
- http://aridbiom.yazd.ac.ir/article_616.html
- خوشحال جهرمی، فاطمه؛ ۱۳۹۴. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در دو اقلیم متفاوت از استان فارس (مطالعه موردی شهرستان آباد و لار). سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران. <https://civilica.com/doc/416558>
- عزیزیان، اصغر؛ بهمن آبادی، بهاره؛ جناب، مهنوش؛ ۱۳۹۹. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی در اقلیم‌های مختلف ایران. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی). ۱-۱۸، (۱) ۱۰. https://wsrj.srbiau.ac.ir/article_17322.html

کوهی، سکینه؛ عزیزیان، اصغر؛ بروکا، لوکا؛ ۱۳۹۹. بررسی کارایی منابع تبخیر و تعرق بازتحلیل شده برای واسنجی مدل هیدرولوژیکی توزیعی با رویکرد کاربرد در حوضه‌های فاقد آمار. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*. ۵۱ (۵). ۱۱۹۵-۱۲۱۰. https://ijswr.ut.ac.ir/article_74834.html

نجفوند دریکوندی، مهدی؛ اسلامی، حسین؛ ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب (مطالعه موردی: سد تنظیمی دز). *فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب*. ۶۵-۷۳، (۲). ۴.

https://jwe.shoushtar.iau.ir/article_531785.html

یزدانی، وحید؛ قهرمان، بیژن؛ داوری، کامران؛ ۱۳۹۰. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد در اراضی شالیزاری آمل بر پایه آنالیز حساسیت و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی، *مجله پژوهش آب ایران*. (۷).

https://iwrj.sku.ac.ir/article_11124.html. ۴۷، ۴

- Bisselink, B., Zambrano-Bigiarini, M., Burek, P., & de Roo, A., 2016. Assessing the role of uncertain precipitation estimates on the robustness of hydrological model parameters under highly variable climate conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 112–129 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.003>
- Dembélé, M., Ceperley, N., Zwart, S. J., Salvatore, E., Mariethoz, G., & Schaefli, B., 2020. Potential of satellite and reanalysis evaporation datasets for hydrological modelling under various model calibration strategies. *Advances in Water Resources*, 143, 103667. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103667>
- Koukoulou, M., Nikolopoulos, E. I., Dokou, Z., & Anagnostou, E. N., 2020. Evaluation of Global Water Resources Reanalysis Products in the Upper Blue Nile River Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 21(5), 935–952. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0233.1>
- Lu, J., Wang, G., Chen, T., Li, S., Hagan, D. F. T., Kattel, G., Su, B., 2021. A harmonized global land evaporation dataset from model-based products covering 1980–2017. *Earth System Science Data*, 13(12), 5879–5898. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5879-2021>
- Yang, X., Yong, B., Ren, L., Zhang, Y., & Long, D., 2017. Multi-scale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 38(20), 5688–5709. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1346400>



Spatial Analysis of Flood Risk with the Approach of Landuse Planning and Management in Urmia City



Hassan Ahmadzadeh^{a*}, Mostafa Davar panah^b

^a Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

^b MA Student, Department of Geography and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received: 7 July 2022

Revised: 29 August 2022

Accepted: 5 September 2022

Abstract

Floods are one of the most important natural hazards on earth. The purpose of this study was to prepare a flood hazard map in Urmia city and identify vulnerable areas. In order to prepare the flood hazard map of quantitative-explanatory study, 9 factors affecting the occurrence of this phenomenon were used, including elevation, slope, aspect, distance from the river, watercourse density, lithology, land use, precipitation and Topographic Wetness Index (TWI). To prepare information layers from ArcGIS and ENVI software and to weight the factors and determine the most important factor, analytic network process (ANP) was used. The weighting results of the factors showed that the two factors of slope and distance from the river have the highest weighting coefficients of 0.219 and 0.177, respectively, in the occurrence of floods in the region. Finally, by applying the weights of each of the factors, a flood hazard map was prepared. The final map showed that about 43.7% of the total area of the studied area is in high and very high classes in terms of flood hazard. These parts mostly include the vicinity of the secondary and main waterways that flow in the city. Failure to pay attention to hydrogeomorphological considerations such as encroaching on the legal boundaries of rivers and illegal constructions in their vicinity has increased the hazard of flooding in these parts. Behdari town and Beit al-Moghadad, Saadi and Roudaki, Shahed and Shahryar town, Sad Metri Street, and Golshahr are among these areas.

Keywords: Flood, Land Use, Network Analysis Process, GIS, Urmia

*. Corresponding author: Hassan Ahmadzadeh E-mail: h_ahmadzadeh@iaut.ac.ir Tel: + 989141052104

How to cite this Article: Ahmadzadeh, H., Davar Panah, M. (2023). Spatial analysis of flood risk with the approach of landuse planning and management in Urmia city. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 63-80.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.77571.1255





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



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)


Geography and Environmental Hazards Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77571.1255> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۸۰-۶۳
مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه

 حسن احمدزاده^۱ - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
مصطفی داورپناه - دانش آموخته ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۷۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۴

چکیده

سیلاب‌ها یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در سطح زمین هستند. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر است. روش تحقیق در این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و ازلحاظ ماهیت، کمی - تبیینی و توصیفی است. جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل از ۹ پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش و شاخص رطوبت توپوگرافیک استفاده شد. به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزار ArcGIS و ENVI و جهت وزن دهی معیارها و تعیین مهم‌ترین معیار از روش وزن دهی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید. نتایج وزن دهی معیارها نشان داد که دو پارامتر شیب و فاصله از رودخانه به ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۲۱۹ و ۰/۱۷۷ بالاترین وزن را در وقوع سیل در سطح منطقه دارند. درنهایت با اعمال وزن‌های هر یک از معیارها نقشه خطر تهیه شد. نقشه نهایی نشان داد حدود ۴۳/۷ درصد از کل مساحت محدوده مورد مطالعه در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. این

Email: h_ahmadzadeh@iaut.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۰۵۲۱۰۴

نحوه ارجاع به این مقاله:

احمدزاده، حسن؛ داورپناه، مصطفی؛ ۱۴۰۲. تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۸۰-۶۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77571.1255>

بخش‌ها بیشتر مجاورت آبراهه‌های فرعی و اصلی را که در سطح شهر جریان دارند، شامل می‌شوند. عدم توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی نظیر تجاوز به حریم قانونی رودخانه‌ها و ساخت‌وسازهای غیراصولی در مجاورت آن‌ها خطر سیل گرفتگی در این بخش‌ها را افزایش داده است. شهرک بهداری و بیت‌المقدس و محله‌های سعدی و رودکی، شهرک شاهد و شهریار و خیابان صد متری و گلشهر از جمله این مناطق هستند.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، کاربری اراضی، فرایند تحلیل شبکه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهر ارومیه.

۱- مقدمه

افزایش وقوع و خسارات ناشی از سیل در حوضه‌های آبریز ایران در سال‌های اخیر، تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی از نظر پتانسیل سیل‌خیزی می‌تواند در مدیریت بهتر حوضه‌ها مؤثر باشد (شعبانی و همکاران: ۱۳۹۵). کنترل و جمع‌آوری سیلاب‌ها از مهم‌ترین و اسلوسی‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبریز است که در شهرها به دلیل توسعه شهری و تغییرات قابل توجه در الگوی طبیعی حوضه آبریز، اهمیت بیشتری می‌یابد. امروزه رویکرد مدرن در مدیریت سیلاب شهری با تکیه بر روش‌هایی که بیشترین تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی که اصطلاحاً روش‌های توسعه کم اثر نامیده می‌شود، پیشنهاد می‌شود. در کشور ما نیز به دلیل رشد شهرنشینی و شکل‌گیری کلان‌شهرها، مسئله مدیریت سیلاب شهری هر روزه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (پناهی و اسماعیلی، ۱۳۹۷). طی دو دهه گذشته تشدید سیر صعودی خسارت‌های ناشی از سیل، سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل و رواناب‌ها، جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی‌توان در مهار سیلاب‌ها موفق بود، بلکه باید تلاش کرد تا پیامدهای زیانبار و مخرب آن را تا حد امکان کاهش داد (نصری، ۱۳۸۸). سیلاب‌ها نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته نیز باعث ایجاد خسارات مالی و جانی می‌شوند و آمارها نیز گویای روند رو به رشد چنین حوادثی می‌باشند (قنواتی، ۱۳۹۲). عوامل متعددی در وقوع سیلاب نقش دارند. علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش فراوانی و حجم و همچنین خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب می‌شود (قنواتی، ۱۳۹۲). بنابراین لازم است قبل از گسترش بی‌رویه شهرها و تغییر کاربری اراضی، تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش خسارات ناشی از سیلاب اندیشیده شود (طاهری بهبهانی و بزرگ زاده، ۱۳۷۵). رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع، تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز مربوطه می‌گذارد و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵). سطوح روکش شده شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمل می‌کند و سبب می‌شود که بخش بیشتری از بارندگی

به رواناب‌های سطحی تبدیل شود (اصغری مقدم، ۱۳۸۴). عمده‌ترین پیامد توسعه شهری از منظر مدیریت رواناب، کاهش سطوح نفوذپذیر حوضه و در نتیجه کاهش زمان حرکت آب بر روی این سطوح و افزایش حجم رواناب و اوج آبدهی است (پناهی و اسماعیلی، ۱۳۹۷). آسیب‌های ناشی از سیل در شهرها عمدتاً به دلیل قرارگیری بخش‌هایی از مناطق قدیمی شهر در حاشیه رودخانه‌ها، تغییر الگوی زهکشی طبیعی حوضه‌ها به دلیل گسترش فیزیکی شهر و تخریب پوشش گیاهی و منابع طبیعی در حوضه‌های بالادست شهری است (کرم و درخشان، ۱۳۹۱). بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های ناشی از وقوع سیل در ایران و جهان، نشان‌دهنده گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است (وهایی، ۱۳۸۵). روند افزایش سیل در ۵ دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریباً ۱۰ برابر شده است و به عبارت دیگر ۹۰۰ درصد افزایش یافته است (محمودزاده و باکوئی، ۱۳۹۷). مهار طغیان و سیلاب مستلزم آشنایی مطلوب به نحوه عملکرد سیستم هیدرولوژیک منطقه است (رامشت، ۱۳۸۵). اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به دست آمده، درباره چگونگی استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، خدماتی و مکان‌یابی سکونتگاه‌های شهری و روستایی تصمیم‌گیری اصولی و بهینه کرده و آثار زیان‌بار ناشی از سیل را تا حد ممکن به حداقل رسانید (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴)؛ بنابراین مدل‌سازی رفتار سیل و تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل خیزی یکی از مهم‌ترین اهداف محققان در زمینه بلایای طبیعی است (فنیسیا و همکاران: ۲۰۱۳)^۱. تهیه نقشه خطر سیل در واقع ابزاری اساسی برای مدیریت کاهش خطرهای سیل است و ابزاری قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه هم‌زمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط‌زیست است (احمدزاده و همکاران ۱۳۹۴). نقشه خطر سیلاب می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر و همچنین شناخت نواحی که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب مورد نیاز است استفاده شود (بوچل و همکاران: ۲۰۰۶)^۲.

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با خطر وقوع سیلاب در ایران و جهان انجام گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۱)، احمدزاده و همکاران (۱۳۹۴)، مختاری هشی و رحیمی (۱۳۹۵)، رستمی و کاظمی (۱۳۹۸)، آزادطلب و همکاران (۱۳۹۹) حسن‌زاده و همکاران (۱۴۰۰)، ماتوسامی و همکاران (۲۰۲۱)، اشکرافت و همکاران ۳ (۲۰۱۹) اشاره نمود.

گسترش سریع و بی‌رویه شهر ارومیه در سال‌های اخیر و به دنبال آن افزایش سطوح بتنی و آسفالت در سطح شهر، خطر سیل گرفتگی را به دلیل افزایش سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی به‌مراتب افزایش داده است.

1 Fenicia, et al

2 Büchele, et al

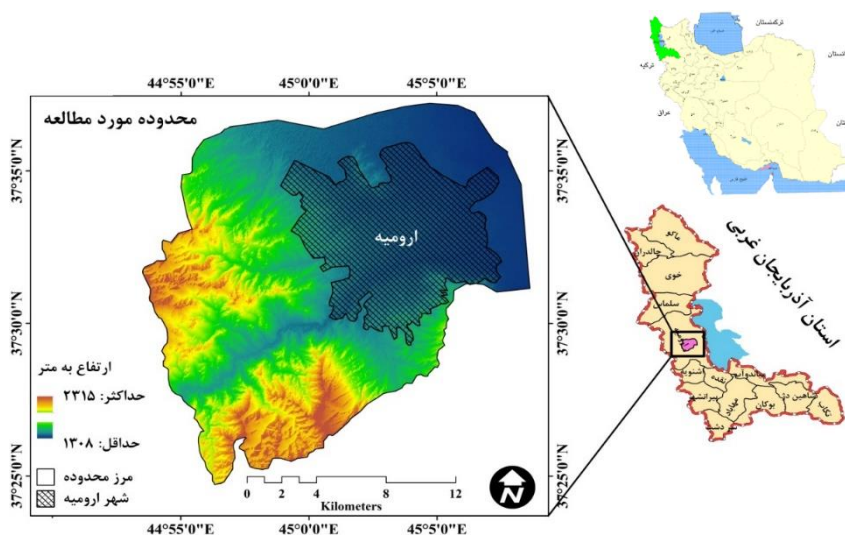
3 Ashcroft, et al

همه‌ساله وقوع سیل و آب‌گرفتگی در سطح شهر ارومیه مشکلات فراوانی را برای شهروندان ایجاد می‌کند. یکی از دلایل اصلی وقوع سیلاب در شهر ارومیه گسترش انواع کاربری‌های اراضی شهری بر روی سطوح شیب‌دار بدون توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب است؛ بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شده است تا با استفاده از پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب و مدل تحلیل فرایند شبکه‌ای و همچنین قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه جهت مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه فضایی کاربری‌های اراضی شهری در آینده تهیه گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران، مرکز شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۰۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی در دشتی به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر جای گرفته است (شکل ۱). جمعیت این شهر طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ با ۷۳۶۲۲۴ نفر است. متوسط بارندگی سالانه منطقه به‌صورت تقریبی بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال است. منطقه‌ای که شهر ارومیه در داخل آن قرار دارد، پهنه‌ای کوهستانی با ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریاست که تقریباً از مرز ترکیه شروع شده و به‌موازات حرکت از غرب به شرق از ارتفاع آن کاسته می‌شود تا به اراضی پست دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. شهر ارومیه در حدفاصل بخش کوهستانی و هموار این پهنه و در داخل دشت ارومیه شکل گرفته است که ارتفاعاتی چون کوه سیر، کوه قیزقلعه، کوه جهودها، کوه چهل مر شهیدان، کوه ماه، کوه علی پنجه سی و کوه علی ایمان آن را احاطه کرده‌اند. درعین حال اطراف ارومیه پر از کشتزارها و باغ‌های انگور و سیب است که تا اراضی پست و شور حاشیه دریاچه ارومیه ادامه می‌یابد (طرح تفصیلی ارومیه ۱۳۹۸).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و ازلحاظ ماهیت، کمی - تبیینی و توصیفی است. در تحقیق حاضر از ۹ پارامتر مؤثر جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. این پارامترها عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافیک، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارش.

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه تهیه شده و مناطقی که در معرض خطر سیل گرفتگی قرار دارند، شناسایی گردد. لذا پس از تعیین وزن نهایی هر یک از پارامترها، نقشه نهایی خطر وقوع سیلاب از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی هر یک از پارامترها با وزن‌های نهایی حاصل از مدل ANP تهیه شد (شکل ۴). نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب از طریق رابطه زیر در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد:

رابطه (۱)

$$\text{همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی} = (\text{شیب} \times 0/219) + (\text{فاصله از رودخانه} \times 0/177) + (\text{بارش} \times 0/175) + (\text{تراکم آبراهه} \times 0/148) + (\text{کاربری اراضی} \times 0/103) + (\text{ارتفاع} \times 0/068) + (\text{لیتولوژی} \times 0/044) + (\text{جهت شیب} \times 0/031) + (\text{شاخص رطوبت توپوگرافیک} \times 0/029)$$

۳- یافته‌ها و نتایج

۳-۱- لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی

۳-۱-۱- ارتفاع

با کاهش ارتفاع احتمال خطر سیل گیری افزایش می‌یابد؛ یعنی ارتفاع با سیل گیری رابطه معکوس دارد (قنواتی، ۱۳۹۲)؛ بنابراین مناطقی که در پایین دست ارتفاعات قرار دارند از پتانسیل سیل گیری بالایی برخوردار هستند. نقشه طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه گردید (شکل ۲). با توجه به نقشه تهیه شده، محدوده مورد مطالعه به لحاظ ارتفاعی دارای حداکثر ارتفاع ۲۳۱۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۳۰۸ متر از سطح دریا می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد محدوده شهر ارومیه در طبقه ارتفاعی ۱۴۴۴ - ۱۳۰۸ متر قرار دارد که بیانگر سیل گیر بودن این مناطق به دلیل تمرکز رواناب‌های سطحی شکل گرفته در دامنه‌های اطراف می‌باشد؛ بنابراین ضرورت مدیریت رواناب‌های سطحی منطقه بیش از پیش احساس می‌شود.

۳-۱-۲- شیب

شیب منطقه اثری محسوس و قابل توجه در جریان آب‌های سطحی دارد. با افزایش شیب عمومی منطقه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب منطقه، زمان تمرکز کاهش پیدا می‌کند. جهت تهیه نقشه شیب محدوده مورد مطالعه از لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده و نقشه شیب در محیط نرم‌افزار ArcGIS و در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۲). نقشه شیب منطقه نشان می‌دهد که شهر ارومیه به لحاظ شیب توپوگرافی در منطقه نسبتاً هموار گسترش پیدا کرده است؛ به طوری که اکثر مناطق شهر دارای شیب صفر تا ۱۰ درجه می‌باشند. این امر نشان‌دهنده سیل گیر بودن محدوده شهری ارومیه می‌باشد.

۳-۱-۳- جهت شیب

نقش اصلی جهت شیب در مقدار دریافت نور خورشید و اثرات مرتبط با آن از قبیل شکل گیری اقلیم‌های محلی یا موضعی، سرعت ذوب برف، جریان‌های رواناب بهاری ناشی از بارش‌ها و ذوب هم‌زمان برف‌های متراکم زمستانه می‌باشد. نقشه جهت شیب محدوده مورد مطالعه در ۹ جهت (۴ جهت اصلی، ۴ جهت فرعی و مناطق مسطح) با استفاده از لایه DEM در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید.

۳-۱-۴- فاصله از رودخانه

فاصله از رودخانه به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر سیلاب به شمار می‌رود. سیلاب‌ها در فواصل کم از رودخانه‌ها از فراوانی و قدرت حمل بالاتری برخوردار می‌باشند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از بسترهای سیلابی کناره سواحل رودخانه‌ها که دارای خاک حاصلخیزی هستند، به‌منظور فعالیت‌های

کشاورزی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. باین وجود، احداث مسکن، تأسیسات، کارگاه‌ها و صنایع که با صرف سرمایه‌های بسیار به انجام می‌رسد و یا دارای اهمیت استراتژیک هستند امری است که چندان منطقی به نظر نمی‌آید. جاذبه‌های دشت‌های سیلابی برای فعالیت‌های مختلف از یک سو و عدم تعیین حریم رودخانه‌ها حداقل در کشورهای در حال توسعه و عدم برنامه‌ریزی‌های مناسب برای هدایت این گونه فعالیت‌ها از سوی دیگر باعث شده است که حریم رودخانه‌ها و حتی بستر مسیل‌ها توسط انسان اشغال گردد. غافل از این که روزی رخداد یک سیلاب ادواری همه چیز را تخریب خواهد نمود (غیور، ۱۳۷۵). نقشه فاصله از رودخانه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و اعمال توابع Distance در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. با توجه به نقشه تهیه شده مناطق پیرامون مسیل‌ها با فواصل ۲۵۰ متری در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد.

۳-۱-۵- تراکم آبراهه

تراکم آبراهه بیانگر توزیع آبراهه‌ها در واحد مساحت می‌باشد. تراکم زهکشی معیار مهمی در تعیین شدت سیلاب‌ها، مقادیر بار رسوبی، بیلان آب در کل سطح منطقه و به‌طور کلی در نحوه فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی محسوب می‌شود (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷). هر چه قدر میزان تراکم آبراهه افزایش پیدا می‌کند، به دنبال آن رواناب نیز زیادتر می‌گردد. به همین دلیل تراکم آبراهه مشخصه رواناب در سطح منطقه به شمار می‌آید. به بیان دیگر در مناطقی که از تراکم آبراهه بالاتری برخوردار هستند واکنش حوضه نسبت به بارش سریع‌تر رخ داده و جریانات سطحی با آهنگ بالاتری شکل می‌گیرند و بنابراین سیلاب بیشتری را در پی خواهد داشت (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۲). نقشه تراکم آبراهه منطقه نشان می‌دهد شهر در گذر زمان بر روی شعبات ریز و درشت آبراهه گسترش یافته است ولی به مسیر عبور رواناب توجهی نشده است.

۳-۱-۶- شاخص رطوبت توپوگرافیک

شاخص رطوبت توپوگرافیک یا رطوبت خاک که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود، از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TWI = \ln(AS/\tan\beta) \quad (۲)$$

که در آن AS مساحت حوضه و $\tan\beta$ درجه شیب می‌باشد. از شاخص رطوبت توپوگرافی می‌توان برای ارزیابی الگوی فضایی رطوبت خاک و تغییرات رخ داده در بافت خاک به دلیل فرسایش استفاده کرد (Schmidt and Persson, 2003: 185). این شاخص عموماً برای تعیین کنترل توپوگرافی روی فرایندهای هیدرولوژیکی استفاده

می‌شود (سورنسن و همکاران: ۲۰۰۶)^۱. با توجه به نقشه به دست آمده برای منطقه، رطوبت توپوگرافیکی در محدوده شهر به دلیل تجمع رطوبت اطراف بیشتر از نقاط پیرامونی آن می‌باشد.

۳-۱-۷- لیتولوژی

زمین‌شناسی منطقه نقش بسیار مهمی در تهیه نقشه‌ی حسلسمیت سیلاب بازی می‌کند زیرا بسیاری از واحدهای زمین‌شناسی نسبت به فرایندهای هیدرولوژیکی فعال هستند (میلر و همکاران: ۱۹۹۰)^۲. خاک یا سنگ قابل نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه‌ی آن را به داخل آبراهه اصلی به تأخیر می‌اندازد؛ از این رو رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیر قابل نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (گارد: ۲۰۰۶)^۳. به منظور تهیه لایه لیتولوژی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. نقشه تهیه شده نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد محدوده شهر ارومیه بر روی پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی جوان شکل گرفته است. این سازندها از ظرفیت نفوذپذیری بالایی برخوردار هستند، اما به دلیل تغییرات ایجاد شده توسط انسان و توسعه ساخت‌وساز بر روی این سازندها و افزایش سطوح نفوذناپذیر مثل پوشش بتنی و آسفالت، ظرفیت نفوذپذیری این مناطق کم شده و در مقابل سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و در نتیجه وقوع سیل افزایش پیدا کرده است.

۳-۱-۸- کاربری اراضی

یکی از معمول‌ترین و عمده‌ترین تغییراتی که به واسطه شهرسازی در سطح زمین‌ها صورت می‌گیرد، تبدیل زمین‌های نفوذپذیر همچون جنگل، باغات و فضای سبز به زمین‌های نفوذناپذیر همچون جاده، خیابان، سطوح سنگفرش، ساختمان‌ها و... می‌باشد (عباسی یوسف‌آباد، ۱۳۹۳). تبدیل کاربری اراضی به کاربری‌های نامناسب عمدتاً بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی تأثیر گذاشته و باعث افزایش رواناب در حوضه آبریز می‌شود. برخی سطوح از قبیل نواحی شهری و بایر نیز ظرفیت بالایی در ایجاد رواناب‌های سطحی دارند. زمین‌هایی با کاربری مسکونی به دلیل آن که بیشتر دارای سطوح سنگی و آسفالت هستند و نیز سطح صاف و سخت آن‌ها باعث می‌شود که رواناب در این مناطق از شدت جریان بالایی برخوردار باشند. در زمین‌های مرتعی وضعیت برعکس می‌گردد و پوشش گیاهی و لاشبرگ‌ها باعث تأخیر در تمرکز جریان و در نتیجه کاهش سیل‌خیزی می‌شوند. این لایه بیشتر در تولید رواناب تأثیر دارد به این صورت که با کاهش سرعت جریان باعث افزایش نفوذ می‌شود (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۳). در این تحقیق جهت تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه از تصویر لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به

1 Sorensen et al

2 Miller et al

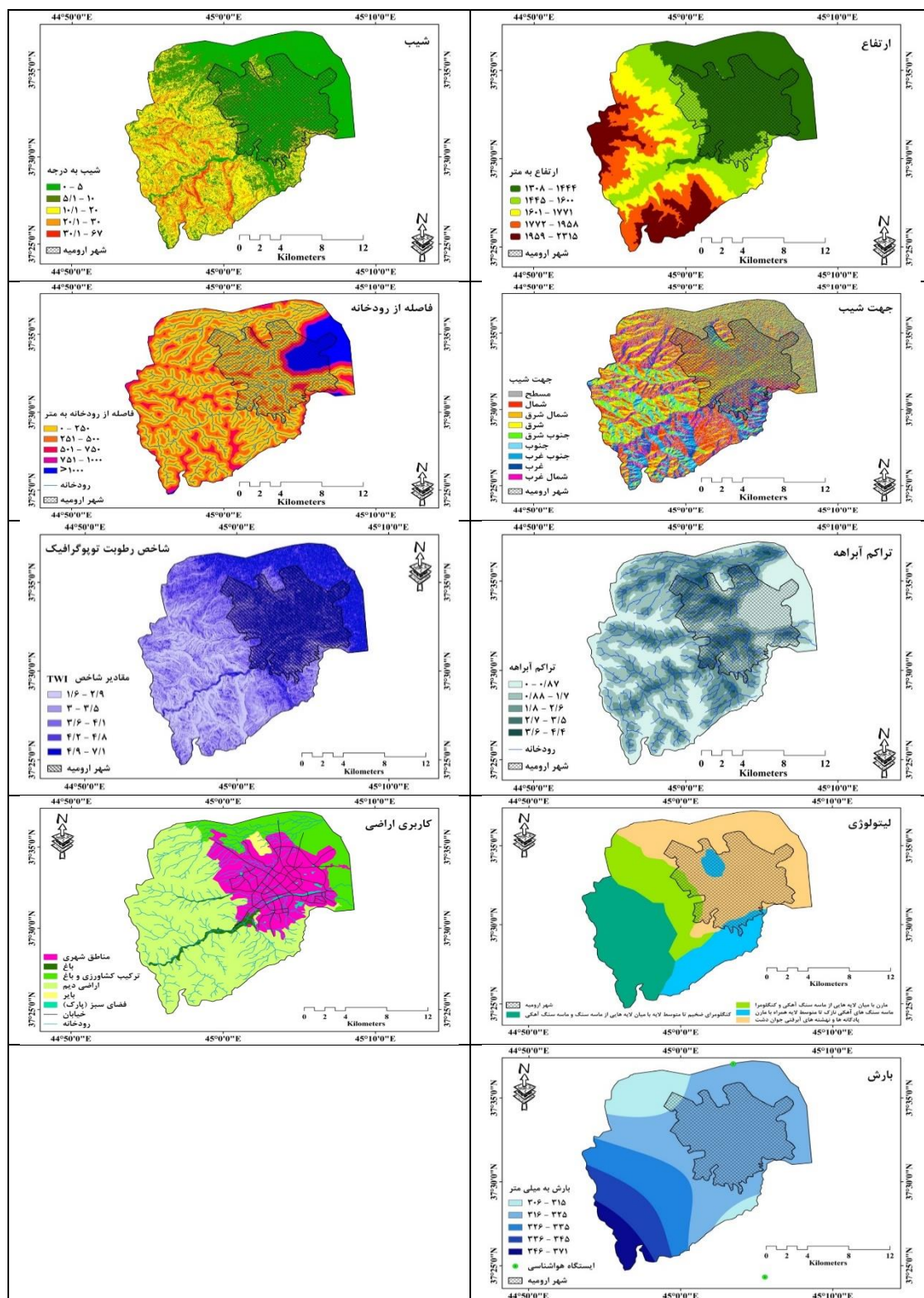
3 Garde

خرداد سال ۱۴۰۰ استفاده گردید. بدین صورت که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ۷ کلاس شامل کاربری‌های مناطق شهری، باغ، بایر، ترکیب کشاورزی و باغ، اراضی دیم، خیابان و رودخانه تهیه شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که افزایش ساخت‌وساز در اطراف مسیل‌ها و تجاوز به حریم آبراهه‌هایی که از شهر می‌گذرند، بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی منطقه تأثیر گذاشته و خطر سیل گرفتگی در این مناطق را افزایش می‌دهد.

۳-۱-۹- بارش

در بین تمامی عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل شدت و مدت بارندگی که دو عامل اقلیمی هستند، بیشترین تأثیر را در ایجاد این پدیده دارند (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۱). نقشه بارندگی منطقه بر اساس میانگین داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک (ارومیه) و باران‌سنجی موجود در داخل و خارج از محدوده مطالعاتی (نازلو، باراندوز و مرگور) با استفاده از روش درونیابی وزن‌دهی بر اساس فاصله معکوس (IDW)¹ تهیه و به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد. محدوده مورد مطالعه از بارندگی مناسبی در طول سال برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه رواناب‌های سطحی شکل گرفته در ارتفاعات و دامنه‌های اطراف شهر ارومیه از داخل شهر می‌گذرند، به دلیل عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و تجاوز به حریم مسیل‌ها احتمال خطر سیل گرفتگی بخش‌های مختلف شهر بعد از هر بارندگی افزایش می‌یابد.

1 Inverse distance weighting



شکل ۲- نقشه‌های پارامترهای ۹ گانه مؤثر در وقوع سیل که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند

۳-۲- محاسبه وزن پارامترها با استفاده از مدل ANP

در تحقیق حاضر ۹ پارامتر مؤثر در وقوع سیل به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب ابتدا تمامی این پارامترها به صورت لایه‌های رستری در قالب نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. هر کدام از این پارامترها از اثرگذاری مختلفی بر وقوع پدیده سیلاب برخوردار هستند و بنابراین ضرورت دارد که وزن آن‌ها محاسبه گردد. در تحقیق حاضر به منظور محاسبه وزن هر یک از پارامترها از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. جهت سهولت و بهبود عملکرد محاسبات نرم‌افزار Super Decisions برای اجرای مدل تحقیق به کار گرفته شد.

۳-۳- مقایسه زوجی پارامترها

در فرآیند تحلیل شبکه‌ای، لایه‌ای که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد بیشترین وزن را به خود می‌گیرد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به هدف این تحقیق که تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در سطح شهر ارومیه و ارتفاعات و دامنه‌های اطراف آن می‌باشد، لذا پارامترهای تأثیرگذار در وقوع این پدیده به عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین برای پارامترهای بارش، فاصله از رودخانه، شیب و کاربری اراضی با توجه به اهمیت آن‌ها در شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و وقوع سیل، بیشترین وزن در نظر گرفته شد. مقایسه زوجی پارامترها با تکمیل پرسشنامه طبق نظر کارشناسان انجام شده است.

۳-۴- تعیین وزن نهایی پارامترها

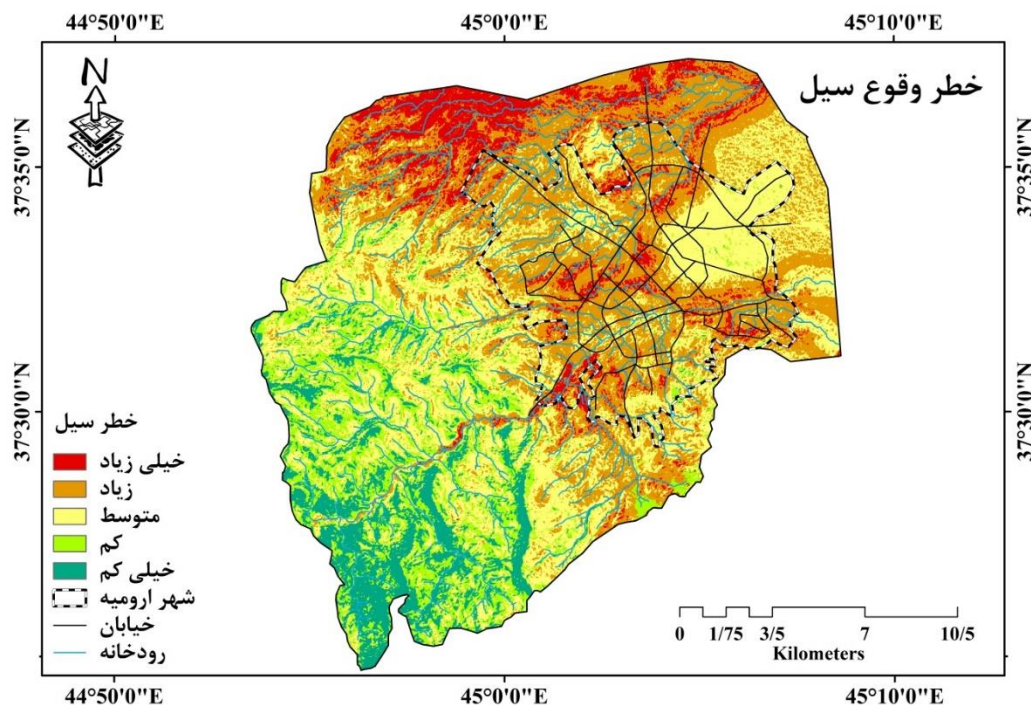
پس از انجام مقایسات زوجی در مرحله آخر ضریب تأثیر هر یک از پارامترها مشخص شد (شکل ۳). نتایج وزن دهی نشان می‌دهد که پارامتر شیب با ضریب ۰/۲۱۹ بالاترین وزن را در میان سایر پارامترها داشته که بیانگر اهمیت بالای این پارامتر در وقوع سیل در سطح منطقه می‌باشد. پارامترهای فاصله از رودخانه با ضریب ۰/۱۷۷ و بارش با ضریب ۰/۱۷۵ در رتبه‌های بعدی از نظر اثرگذاری بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه قرار دارند.

Normal		Hybrid	
Inconsistency: 0.08448			
ارتفاع			0.06841
بارش			0.17551
تراکم آبر			0.14887
جهت تیب			0.03130
تساخض رطوب			0.02977
تیب			0.21934
فاصله از			0.17783
لینولوزی			0.04499
کاربری ار			0.10397
<input type="checkbox"/> Completed Comparison			
Copy to clipboard			

شکل ۳- ضریب اهمیت پارامترها

۳-۵- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل

بر اساس پارامترهای مؤثر بر رخداد سیلاب، محدوده مورد مطالعه از نظر پتانسیل وقوع خطر سیل در پنج طبقه از خطر خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم گردید. نقشه نهایی نشان می‌دهد که مناطق با خطر بالا بیشتر بر سطوح هموار در پایین‌دست منطقه، پیرامون رودخانه اصلی منطقه (رودخانه شهرچای) و آبراهه‌های فرعی که از شهر ارومیه جریان پیدا می‌کنند، منطبق هستند. به‌طور کلی می‌توان گفت که مناطق پایین‌دست محدوده مورد مطالعه به جهت برخورداری از ارتفاع پایین، شیب خیلی کم و تمرکز آب‌های سطحی ارتفاعات منطقه در این بخش‌ها از آسیب‌پذیری بیشتری در هنگام وقوع سیل برخوردار هستند.



شکل ۴- نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل

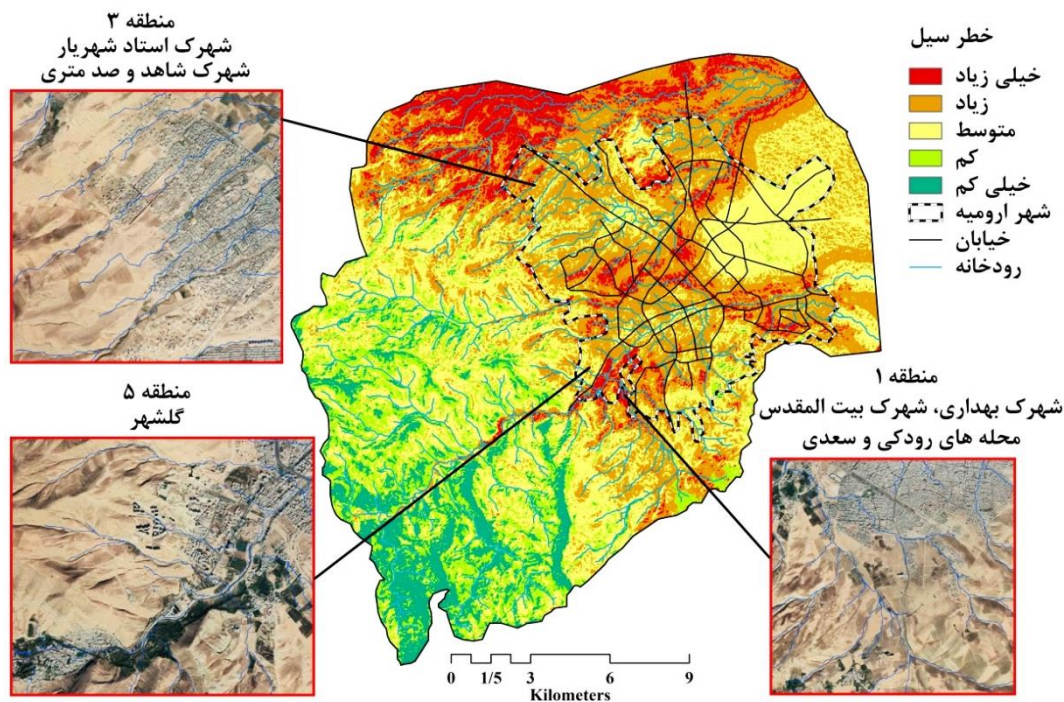
مساحت هر یک از طبقات پنج گانه در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج بررسی مساحت هر یک از طبقات خطر وقوع سیل نشان می‌دهد که ۱۴۷ کیلومترمربع از مساحت منطقه دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد، ۷۳ کیلومترمربع پتانسیل کم و خیلی کم و ۱۱۴ کیلومترمربع دارای پتانسیل متوسط می‌باشد.

جدول ۱- مساحت و درصد مساحت پهنه‌های خطر وقوع سیل

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	پهنه‌های خطر وقوع سیل
۹/۴	۳۱/۴	خیلی کم
۱۲/۷	۴۲/۵	کم
۳۴/۲	۱۱۴/۷	متوسط
۳۴/۲	۱۱۵	زیاد
۹/۵	۳۲	خیلی زیاد
۱۰۰	۳۳۵/۶	جمع

بررسی میزان رواناب‌های سطوح طبیعی به دلیل تأثیرات متقابل بین توپوگرافی، عمق آب زیرزمینی، شدت و تداوم بارش و خصوصیات نفوذپذیری که به وسیله خاک و پوشش گیاهی تعدیل می‌شوند، پیچیده‌تر است؛ زیرا تمام

سطح حوضه در تولید رواناب نقش یکسانی ندارند. به این ترتیب، نقش شرایط اولیه حوضه در پتانسیل تولید رواناب اهمیت پیدا می‌کند (Chow and et al; 1988). در محدوده مورد مطالعه وجود گستره وسیعی از سطوح نفوذناپذیر (از قبیل پوشش آسفالت خیابان‌ها) و شیب نسبتاً زیاد برخی بخش‌ها مثل شهرک استاد شهریار و شهرک اندیشه شرایط ایجاد رواناب‌های سطحی و ایجاد سیل‌های مخرب را هنگام رگبارهای تند و زودگذر فراهم می‌آورد. بررسی نقشه نهایی نشان می‌دهد که گسترش بخش‌هایی از شهر ارومیه به سمت شمال غرب منطقه و عدم توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی از قبیل توجه به شیب توپوگرافی منطقه، رعایت فاصله از حریم قانونی آبراهه‌ها و... پهنه‌های زیادی از مناطق ۴ و ۵ در طبقات خیلی زیاد از نظر پتانسیل وقوع سیل قرار گرفته‌اند (شکل ۵). توسعه فیزیکی شهر به این نواحی و افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حاشیه و کناره آبراهه‌ها، نه تنها حریم این آبراهه‌ها را بسیار آسیب‌پذیر کرده، هم‌چنین باعث تهدید شهر توسط رواناب‌ها و سیلاب‌های احتمالی در آینده شده است.



شکل ۵- مناطق در معرض خطر سیل گرفتگی در سطح شهر ارومیه

۴- جمع‌بندی

گسترش سریع و روزافزون شهر ارومیه و توسعه فضایی کاربرهای اراضی شهری به سمت مناطق کوهپایه‌ای، مجاورت آبراهه‌ها و اراضی شیب‌دار باعث شده است که ارومیه از نظر وقوع سیلاب بسیار آسیب‌پذیر باشد. زیر حوضه‌های کوچک و بزرگ متعددی در سه قسمت غربی، شمال غربی و جنوب شهر ارومیه قرار دارد که تمامی

رواناب‌های سطحی شکل گرفته در این زیر حوضه‌ها به تبعیت از شیب توپوگرافی منطقه به سمت شهر ارومیه جریان پیدا می‌کنند. گسترش روزافزون شهر ارومیه به سمت خروجی این زیر حوضه‌ها و توسعه ساخت‌وسازهای غیراصولی و تجاوز به حریم آبراهه‌های فرعی و اصلی منطقه، خطر سیل گرفتگی را بیش از هر زمان دیگری در این شهر افزایش داده است. به‌عنوان مثال خیابان صد متری در منطقه ۳ و ساخت‌وسازهای انجام شده در دو طرف این خیابان چنین وضعیتی دارد. توسعه فضایی کاربری‌های اراضی شهری در این قسمت از شهر به‌صورت کاملاً مشهود عدم وجود برنامه‌ریزی دقیق و مناسب جهت توسعه فیزیکی شهر و بی‌توجهی به مخاطرات ناشی از وقوع سیل را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در بخش‌هایی از مسیر آبراهه جاری در این قسمت از شهر، ساختمان‌ها فقط به فاصله چندین متر از کانال اصلی رودخانه قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد وضعیت این ساختمان‌ها به هنگام طغیان رودخانه از نظر میزان خسارات وارده بسیار بحرانی خواهد بود؛ بنابراین ضرورت دارد که بازنگری جدی در برنامه‌های توسعه شهری صورت گرفته انجام پذیرد و نسبت به ایمن‌سازی مسیر رودخانه اقدامات لازم صورت گیرد. از نمونه‌های دیگر که چنین وضعیتی دارند می‌توان به ساختمان‌های واقع در اطراف خیابان عطار، جاده میرا و دلپسند اشاره کرد که بدون توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی حوضه آبریز بالادست این منطقه و با تراکم بالا در مسیر رودخانه اصلی ساخته شده‌اند. به دلیل افزایش ساخت‌وساز و شهرسازی در این بخش‌ها که شیب نسبتاً بالایی نیز دارند، سطوح نفوذناپذیر افزایش پیدا کرده که این امر می‌تواند باعث افزایش تولید رواناب گردد. از طرف دیگر، رودخانه‌ای هم که در این قسمت از شهر ارومیه جریان پیدا می‌کند حوضه آبریز نسبتاً بزرگی را زهکشی می‌کند؛ بنابراین حجم آبی که از این رودخانه وارد شهر می‌شود بسیار زیاد بوده و در صورت عدم مدیریت مناسب جهت تخلیه آن به بیرون شهر، می‌تواند فاجعه‌بار باشد. از مناطق دیگری که خطرپذیری بالایی را از نظر وقوع سیل دارند می‌توان به شهرک بهداری و بیت‌المقدس و محله‌های سعدی و رودکی اشاره کرد. شیب توپوگرافی این مناطق نسبت به سایر بخش‌های شهر نسبتاً زیاد می‌باشد و در نتیجه پتانسیل تولید رواناب به‌طور طبیعی در این مناطق بالاست. گسترش فیزیکی شهر به این قسمت و افزایش ساخت‌وساز در این بخش‌ها و تبدیل زمین‌ها به سطوح غیرقابل نفوذ سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی را به‌مراتب بیشتر کرده و خطر سیل گرفتگی معابر و تأسیسات را بالا برده است. همه این موارد نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی به‌منظور توسعه شهر بدون توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی منطقه صورت گرفته است؛ چراکه این توسعه می‌توانست با توجه به شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی منطقه صورت گرفته و قبل از توسعه فیزیکی شهر، نقشه پهنه‌های سیل‌گیر منطقه شناسایی شود.

کتابنامه

- احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، رشید؛ نوری، الهه؛ ۱۳۹۴. بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو)، هیدروژئومورفولوژی. ۲. ۱-۲۳.
- https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3535.html
- اصغری مقدم، محمدرضا؛ ۱۳۸۴. آب و زیستگاه شهری. تهران: انتشارات سرا. ۱۶۵ صفحه.
- آزادطلب، مهناز؛ شهابی، هیمن؛ شیرزادی، عطااله؛ چپی، کامران؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی. *مطالعات شهری*. ۳۶. ۲۷-۴۰.
- <https://doi.org/10.34785/J011.2021.801>
- پناهی، قاسم؛ اسماعیلی، کاظم؛ ۱۳۹۷. توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری. *نشریه آب و توسعه پایدار*. ۵ (۱). ۱۰۰-۹۳.
- https://jwsd.um.ac.ir/article_30322.html
- حسن‌زاده، رضا؛ هنرمند، مهدی؛ حسینجانی زاده، مهدیه؛ محمدی، صدیقه؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی: سیل بردسیر، استان کرمان). *اکوهیدرولوژی*. ۸ (۲). ۳۴۴-۳۳۱.
- <https://doi.org/10.22059/ije.2021.314075.1423>
- رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۵. کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی - منطقه‌ای اقتصادی. انتشارات دانشگاه اصفهان. ۲۳۸ صفحه.
- رستمی، نورالدین؛ کاظمی، یونس؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۶ (۱). ۱۷۹-۱۹۳.
- <https://sid.ir/paper/375145/fa>
- زاهدی، مجید؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۸۷. *هیدرولوژی*. چاپ اول. انتشارات مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- زبردست، اسفندیار؛ ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *نشریه هنرهای زیبا*. شماره ۴۱. ۷۹-۹۰.
- https://jfaup.ut.ac.ir/article_22270.html
- طاهری بهبهانی، محمدطاهر؛ بزرگ‌زاده، مصطفی؛ ۱۳۷۵. *سیلاب‌های شهری*. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. ۳۳۰ صفحه.
- عباسی یوسف زاده، سحر؛ ۱۳۹۳. *ریز پهنه بندی خطر سیلاب (مطالعات موردی: مناطق منتخب تبریز)*. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی گروه ژئومورفولوژی. دانشگاه تبریز.
- فیروزی، فاطمه؛ نگارش، حسین؛ خسروی، محمود؛ ۱۳۹۱. مدل‌سازی، پیش‌بینی و بررسی روند بارش در ایستگاه‌های منتخب استان فارس. *فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. ۲ (۷). ۷۷-۹۱.
- <https://sid.ir/paper/472885/fa>
- قناتی، عزت‌اله؛ صفاری، امیر؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ منصوریان، اسماعیل؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS، مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو.
- فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*. ۷ (۲۵). ۶۷-۸۰. <https://sid.ir/paper/491884/fa> SID.

- قنواتی، عزت‌الله؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر کرج با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۸. ۱۱۳-۱۳۱. <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.27924>
- قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا؛ صرافی، مظفر؛ پورموسوی، سیدموسوی؛ درفشی، خه بات؛ ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران. *مجله امداد و نجات*. ۴ (۳). ۱۲۱-۱۳۸. <https://sid.ir/paper/190916/fa>
- کرم، امیر؛ درخشان، فرزانه؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: حوضه آبخیزان در کرمانشاه). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. ۵ (۱۶). ۳۷-۵۴. <https://sid.ir/paper/184928/fa>
- مختاری هشی، حسین؛ رحیمی، داریوش؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۷ (۱). ۱۹۹-۲۱۶. <https://doi.org/10.22108/gep.2016.21366>
- موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر؛ حسین زاده، سیدمحسن؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۵ (۱۰). ۷۹-۹۷. <http://ensani.ir/fa/article/368383>
- نصری، مسعود؛ ۱۳۸۸. بررسی سیلاب‌ها و شبکه مسیل‌های تأثیرگذار بر شهر زواره و توجه به آن در برنامه‌ریزی شهری. *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز*. ۱ (۲). ۶۵-۷۸. <https://sid.ir/paper/175712/fa>
- وهابی، جلیل؛ ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در منطقه طالقان رود. *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*. ۵ (۱۲). ۶۹-۸۷. <https://sid.ir/paper/20048/fa>
- شعبانی بازنشین آرمان، عمادی علیرضا، فضل اولی رامین. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. ۱۳۹۵؛ ۷ (۱۴): ۲۸-۲۰. URL: <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-۱-۷۵۴-fa>
- شرکت مهندسی مشاور طرح و آمایش؛ ۱۳۹۸. *گزارش طرح تفصیلی ارومیه*. سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان غربی جلد ۱-۲.
- آزادطلب، مهناز؛ شهابی، هیمین؛ شیرزادی، عطاله؛ چپی، کامران؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سنج در استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی. *فصلنامه مطالعات شهری*. شماره ۳۶. صص ۴۰-۲۷. <https://doi.org/10.34785/J011.2021.801>
- محمودزاده، حسن؛ باکویی، مانده؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۷ (۱۸). صص ۵۱-۶۸. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.19885.1238>
- غیور، حسنعلی؛ ۱۳۷۵. سیل و مناطق سیل‌خیز در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۴۰. صص ۱۲۰-۱۰۱. <https://ensani.ir/file/download/article/20120413142633-2166-240.pdf>

صلاحی، محمدباقر و سیروس پور، سمیه و پروین نیا، محمد؛ ۱۳۹۲. راهکارهای سازهای و غیرسازهای مقابله با سیلاب. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب. تهران. <https://civilica.com/doc/207335>

- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., and Nestmann, F.: Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 485–503, <https://doi.org/10.5194/nhess-6-485-2006>
- Manoranjan Muthusamy, Mónica Rivas Casado, David Butler, Paul Leinster, Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling, *Journal of Hydrology*, Volume 596, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088>.
- Ashcroft, L., Karoly, D.J. and Dowdy, A.J., 2019. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. *Weather and Climate Extremes*, 25, p.100210. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100210>
- Chow V.T., Maidment D.R. and Mays L.W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Dano U.L, Balogun A. L, Matori A.N, Wan Yusouf K, Abubakar I.R, Said Mohamed M.A, Aina, Y.A, Pradhan B. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia, *Water*. 2019; 11, 615. pp 1-28. <https://doi.org/10.3390/w11030615>
- Fenicija, F. Kavetski, D. Savenije, H.H. Clark, M.P. Schoups, G. Pfister, L. Freer, J., 2013. Catchment properties, function, and conceptual model representation: is there a correspondence *Hydrol. Process.* <https://doi.org/10.1002/hyp.9726>
- Fernández, D.S and M.A. Lutz., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology* No.111, PP: 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006>
- Garcia, M. M., Javier, F.O., Jeronimo, A. B., Pablo, A.B., Rocio, P.B., 2008. Farmland appraisal based on the analytic network Process. *Journal of Global Optimization*, 42, pp.143-155. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9235-0>
- Garde, R. J., 2006. *River Morphology*, Published by New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi.
- Lami, I. M., Abastante, F., 2014. Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: Can the Analytic Network Process help?. *Land Use Policy*, No. 41, pp 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.010>
- Miller, JR. Ritter, DF. Kochel, RC., 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. *American Journal Science*, 290, 569-599. <https://doi.org/10.2475/ajs.290.5.569>
- Neaupane, K. M., Piantanakulchai, M., 2006. Analytic Network Process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, No. 85, pp. 281–294. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.003>
- Saaty, T. L., 1980, *the Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill, pp. 287.
- Saaty, T. L., 1999, *Fundamentals of the Analytic Network Process*. Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process, August 12-14, Kobe, Japan.
- Schmidt, F., Persson, A., 2003. Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices. *Precision Agriculture*. 4: pp. 179–192. <https://doi.org/10.1023/A:1024509322709>
- Sorensen, R., Zinko, U., Seibert, J., 2006. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2: pp. 1807–1834. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>, 2006.



Spatial Analysis of Migration and Drought in Iran using Hot Spot Analysis and Standardized Precipitation Index

Ali Azizi^{a*}, Rasoul Sadeghi^b

^aAssistant Professor, National Institute for Population Research (NIPR), Tehran, Iran

^bAssociate Professor, Department of Demography, University of Tehran and Community Based Participatory Research Center, Tehran University of Medical Sciences Tehran, Iran

Received: 21 October 2022

Revised: 29 October 2022

Accepted: 4 December 2022

Abstract

Migration is affected by several factors, the effect of each factor is different in various parts of the world. One of these factors is drought, which can have a greater impact upon human migration in arid and semi-arid regions. Identifying the migration centers can also affect the adopted migration policies. Standardized Precipitation Index (SPI) was used to monitor the Iran's drought in the last three decades (1986-2016). First, using the frequency of dry months, the zoning map was obtained from the geographical information system (GIS). Then, the existence of spatial autocorrelation in the data was investigated using Global Moran's *I* statistics. In the next step, the Hot Spot analysis on the data of the net migration rate was done to identify the migration centers. The findings showed that the spatial pattern of occurrence of dry months during the last three decades increases from the south and southeast of Iran to the north and west. Moreover, the values of Moran's *I* for the net migration rate in the studied periods were between 0.17 and 0.45, which indicates clustering in the migration data. The hot spot analysis also showed that the centers of migration in the country are located in the center and west of the country. Comparing migration centers with the pattern of dry months of the year shows that migration centers, both in-migration and out-migration, are located in places with moderate to high zones of dry months, which can make complicated in identifying the relationship between drought and migration flows.

Keywords: Hot Spot Analysis, Migration Centers, Migration, Drought, Iran

*. Corresponding author: Ali Azizi

E-mail: Aliazizi89@nipr.ac.ir

Tel: + 989147507062

How to cite this Article: Azizi, A., & Sadeghi, R. (2023). Spatial analysis of migration and drought in Iran using hot spot analysis and standardized precipitation index. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 81-100.

DOI: 10.22067/geoh.2022.76710.1230



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



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76710.1230>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۸۱-۱۰۰

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی مهاجرت و خشک‌سالی در کشور با استفاده از تحلیل لکه داغ و شاخص استاندارد بارش

علی عزیزی^۱ - استادیار گروه جمعیت، اقلیم و محیط‌زیست، مؤسسه تحقیقات جمعیت کشور، تهران، ایران

رسول صادقی - دانشیار جمعیت‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران و پژوهشگر مرکز پژوهش‌های سلامت مبتنی بر مشارکت

جامعه، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۸/۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۱۳

چکیده

مهاجرت از عوامل متعددی ناشی می‌شود که نقش هر یک از این عوامل در نقاط مختلف جهان متفاوت می‌باشد. یکی از این عوامل خشک‌سالی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند تأثیر بیشتری داشته باشد. در کنار این واقعیت شناسایی نقاط کانونی مهاجرت نیز می‌تواند بر سیاست‌های اتخاذی مهاجرت مؤثر واقع شود. در مقاله پیش رو از شاخص استاندارد بارش برای پایش خشک‌سالی کشور در سه دهه اخیر (۹۵-۱۳۶۵) استفاده شد. ابتدا، با استفاده از فراوانی رخداد ماه‌های خشک سال، گستره کشور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی گردید. سپس وجود خودهمبستگی فضایی در داده‌ها با استفاده از شاخص جهانی موران مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه تحلیل لکه داغ با استفاده از داده‌های میزان خالص مهاجرت در کشور صورت گرفته و کانون‌های مهاجرتی شناسایی شد. یافته‌ها نشان داد که الگوی مکانی فراوانی رخداد ماه‌های خشک سال در طی سه دهه اخیر عموماً از جنوب و جنوب شرقی کشور به سمت شمال و غرب کشور افزایشی است. همچنین مقادیر شاخص موران برای میزان خالص مهاجرت در دوره‌های مورد بررسی بین ۰.۱۷ تا ۰.۴۵ قرار داشت که نشان از خوشه‌بندی در داده‌های مهاجرت است. تحلیل لکه داغ نیز نشان داد که کانون‌های مهاجرتی در کشور در مرکز و غرب کشور قرار

Email: Aliazizi89@nipr.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۷۵۰۷۰۶۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

عزیزی، علی، صادقی، رسول. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی مهاجرت و خشک‌سالی در کشور با استفاده از تحلیل لکه داغ و شاخص

استاندارد بارش. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲) صص ۸۱-۱۰۰

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76710.1230>

دارند. تطبیق کانون‌های مهاجرتی با الگوی رخداد ماه‌های خشک سال نشان می‌دهد که کانون‌های مهاجرتی اعم از مهاجرفرست و مهاجرپذیر در نقاطی با فراوانی رخداد ماه‌های خشک متوسط تا زیاد قرار دارند که این امر بر شناسایی رابطه این دو مؤثر بوده و آن را می‌تواند پیچیده سازد. کلیدواژه: تحلیل لکه داغ، کانون‌های مهاجرت، مهاجرت، خشک‌سالی، ایران.

۱- مقدمه

تغییرات محیطی از جمله نوسانات و تغییرات اقلیمی بر الگوهای مهاجرت انسانی تأثیر می‌گذارد (نیومان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ فورسلیت^۲، ۲۰۱۱؛ ادگر^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). در این رابطه محققان، مهاجرت را به‌عنوان یکی از ابزارهای بالقوه‌ای می‌بینند که از طریق آن جمعیت‌ها ممکن است با تأثیرات آتی تغییرات اقلیمی سازگار شوند (مک لمن^۴، ۲۰۱۳). شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد مهاجران اجباری ناشی از تغییرات محیط‌زیست یک گروه کاملاً رو به رشد هستند که عمدتاً از مناطق روستایی به شهرها مهاجرت می‌کنند (رچکمر^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). با این وجود امروزه مهاجرت جمعیت‌به‌واسطه تعدد در دلایل مهاجرت و نیز ارتباطات موجود از پیچیدگی خاصی برخوردار شده است. به‌طوری که شناسایی دلایل و میزان مهاجرت به واسطه یک عامل خاص را بسیار مشکل نموده است.

متغیرهای محیط‌زیستی بخصوص در فرآیندهای مهاجرت در مناطق خشک نقش مهمی ایفاء می‌کنند. در این مناطق تغییر محیط شامل تغییرات زمانی و مکانی بارش، افزایش دفعات خشک‌سالی، کمبود طولانی مدت آب و تخریب زمین می‌تواند مهاجرت را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (نیومان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). خشک‌سالی یکی از بلاهای طبیعی و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات آب‌وهوایی است که ویژگی‌های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی از محلی به محل دیگر تفاوت دارد. خشک‌سالی از خطرات زیانباری است که بیش از همه بر اقتصاد سکونتگاه‌های روستایی تأثیر گذاشته و ممکن است سبب تخلیه روستاها و مهاجرت دائمی گردد (کرمی نسب و شهبازی، ۱۳۹۸). در مناطق خشک، مهاجرت یک استراتژی معمول برای مقابله با تغییرات محیطی است، زیرا منابع طبیعی که بس‌پار حساس به آب و هوا است به‌طور گسترده معیشت جمعیت به‌ویژه جمعیت روستایی را تعیین می‌کند. برای کشاورزان و سایر خانوارهای وابسته به منابع طبیعی در کشورهای در حال توسعه، خشک‌سالی شوک منفی مهمی است که می‌تواند معیشت و رفاه خانوارها را با وجود استفاده از برنامه‌های مختلف مقابله‌ای، تضعیف کند (گری و میولر^۷،

1 Neumann et al

2 Foresight

3 Adger et al

4 McLeman

5 Rechkemmer et al

6 Neumann et al

7 Gray and Mueller

۲۰۱۲). باور بر این است که نسبت مهاجران محیط‌زیستی ممکن است در سال‌های آینده بیش از هر گروه دیگری از آوارگان و پناهندگان باشد (رچکمر^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). این واقعیت در مورد ایران نیز با توجه به اقلیم خشک و شکننده و نیز بحران‌های زیست‌محیطی بخصوص مسائل مربوط به آب، می‌تواند رخ دهد. فزونی ردپای اکولوژیک در ایران نسبت به ظرفیت زیستی آن می‌تواند از هم‌اکنون زنگ خطری بر این موضوع باشد.

هرچند در کشور ما نیز مسائل محیط‌زیستی فراوانی از جمله سیل، طوفان و زلزله، آلودگی آب و خاک و بیابان‌زایی می‌تواند منجر به جابه‌جایی جمعیت شود، اما مهم‌ترین مسئله با توجه به اقلیم کشور مسئله کمبود بارش یا همان خشک‌سالی است. کمبود بارش و خشک‌سالی منجر به کمبود منابع آب می‌شود که مهم‌ترین دلیل مهاجرت در مناطق خشک می‌باشد (نیومان^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر چون عمده جمعیت روستایی و همچنین جمعیت بیشتر شهرهای کشور در بخش کشاورزی مشغول بوده یا بدان وابستگی مستقیم دارند، بروز خشک‌سالی بخش عظیمی از جمعیت را نسبت به سایر مؤلفه‌های محیطی تحت تأثیر قرار می‌دهد. با کاهش فعالیت در بخش کشاورزی، گروه‌های زیادی از زارعین به سمت شهرها کوچ می‌کنند، روستاها از سکنه خالی شده و مرتباً در اطراف شهرها مناطق حلقه‌نشین ایجاد می‌شود که این خود مسائل و مشکلات عدیده‌ای را به وجود می‌آورد (رحمتی، ۱۳۹۰). از این‌رو، شناسایی و تحلیل عمیق، به موقع و جامع مسائل مربوط به علل و پیامدها می‌تواند به اتخاذ سیاست‌های تقلیلی و سازگارانه از جانب مسئولین امر یاری رساند. در این رابطه صادقی و شکریانی (۱۳۹۵) به تحلیل فضایی پویایی مهاجرت‌های بین شهرستانی در ایران و تبیین آن در چارچوب توسعه نابرابر و عدم تعادل‌های منطقه‌ای پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که شهرستان‌های ایران از سطوح متفاوت توسعه برخوردارند و سطح توسعه‌یافتگی آن‌ها ساختار فضایی داشته و به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند. نتایج آزمون موران محلی نیز نشان داد که رابطه مثبت و معناداری بین میزان توسعه‌یافتگی با شدت مهاجرپذیری و رابطه منفی و معناداری میزان توسعه‌یافتگی با شدت مهاجرفرستی وجود دارد. خواجه‌زاده (۱۳۹۶) با روش ترکیبی به بررسی ارتباط بین خشک‌سالی و مهاجرت در کشور پرداخت. بدین منظور در بخش کمی شاخص استاندارد بارش با داده‌های سالانه ۱۱۰ شهرستان کشور به مدت ۳۰ سال در کنار اقلیم مناطق محاسبه و ارتباط و همبستگی آن با مهاجرت داخلی جمعیت در دوره ۹۰-۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشک‌سالی در مناطق اقلیمی بسیار خشک با میزان مهاجرفرستی آن مناطق همبستگی بالایی دارد ولی در سایر مناطق اقلیمی کشور معناداری خود را از دست می‌دهد. همچنین مشفق و شکفته گوه‌ری (۱۳۹۹) به تحلیل عوامل مؤثر بر شاخص‌های مهاجرت ۱۱۸ شهرستان مرزن‌نشین در فاصله سال‌های ۹۵-۱۳۹۰ پرداختند. در این تحقیق برای آزمون فرضیات در کنار سایر آزمون‌ها از آزمون‌های موران عمومی و الگوی فضایی بر اساس نقاط داغ و تحلیل خوشه بهره‌برده شد. نتایج نشان داد که میزان خالص مهاجرت تمایل به متمرکز

1 Rechkemmer et al

2 Neumann et al

شدن در فضا دارد. به طوری که تجمع فضایی لکه‌های سرد (مهاجر فرستی بیشتر) متعلق به برخی شهرستان‌های مرزنشین استان‌های اردبیل، کرمانشاه، ایلام و خراسان جنوبی می‌باشد. همچنین سگلمان^۱ (۲۰۲۰) تحقیق خود را در راستای تحقق دو هدف تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری‌های اقلیمی با تأکید خاص بر در دسترس بودن آب و رابطه آن با مهاجرت در کشور کامبوج انجام داد. در این مطالعه ابتدا از ترکیبی از داده‌های کمی و کیفی برای تعیین شرایط سیل‌سی، اقتصادی و اجتماعی لازم برای تأثیر تغییر اقلیم بر مهاجرت استفاده شد. سپس از ابزار تحلیل لکه‌های داغ در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی روند بارش در سطح منطقه‌ای استفاده شده است. در نهایت، مقاله از داده‌های کمی و کیفی، از جمله مصاحبه‌های گروهی متمرکز، برای تجزیه و تحلیل الگوهای مهاجرت محلی در رابطه با الگوهای بارش محلی استفاده کرده و تصویری جامع از پیوند اقلیم- مهاجرت در کامبوج ارائه نمود.

بنابراین، شناسایی و تحلیل نیرو محرکه‌های اولیه مهاجرت می‌تواند در راستای جلوگیری از مهاجرت اجباری متأثر از تغییرات محیطی بسیار راهگشا باشد. یکی از این نیرو محرکه‌ها با توجه به وضعیت اقلیمی کشور، خشک‌سالی و کمبود بارش می‌باشد. در این راستا مقاله حاضر با استفاده از شاخص استاندارد بارش و تحلیل لکه‌های داغ به دنبال بررسی رخداد فراوانی خشکی ماهانه و انطباق آن با پدیده مهاجرت در سطح شهرستان‌های کشور در سه دهه اخیر است.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

ایران سرزمینی خشک و با نزولات جوی بسیار کم می‌باشد. اگر میانگین سالانه بارندگی در سطح خشکی‌های کره زمین (حدود ۸۶۰ میلی‌متر) با متوسط بارندگی سالیانه در ایران (تقریباً ۲۵۰ میلی‌متر) مقایسه شود، ملاحظه می‌شود که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی در جهان است. از این رو باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است (علیزاده، ۱۳۸۷؛ دوستان، ۱۳۹۸). ایران در سال ۱۳۹۵ در حدود ۷۹۹۲۶۲۷۰ جمعیت داشت و بر طبق تقسیمات سیاسی-اداری کشور در سال ۱۳۹۵ از ۳۱ استان و ۴۲۹ شهرستان تشکیل شده است (جدول ۱). طبق آماربرداری سراسری ۱۳۹۵ در حدود ۴۳۰۰۹۹۸ نفر در دوره پنج‌ساله ۹۵-۱۳۹۰ اقدام به جابجایی و مهاجرت داخلی در کشور نموده‌اند که بیش از ۵ درصد از کل جمعیت کشور را تشکیل می‌دهند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵؛ محمودیان و محمودیانی، ۱۳۹۷).

جدول. Error! No text of specified style in document. تقسیمات سیاسی-اداری کشور در سطح

استان و شهرستان

ردیف	دوره سرشماری	تعداد استان	تعداد شهرستان	فاصله سرشماری	جمعیت
۱	۱۳۶۵-۱۳۷۵	۲۶	۲۵۲	۱۰	۶۰۰۵۵۴۸۸
۲	۱۳۷۵-۱۳۸۵	۳۰	۳۳۶	۱۰	۷۰۴۹۵۷۸۲
۳	۱۳۸۵-۱۳۹۰	۳۱	۳۹۷	۵	۷۵۱۴۹۶۶۹
۴	۱۳۹۰-۱۳۹۵	۳۱	۴۲۹	۵	۷۹۹۲۶۲۷۰

منبع: صادقی و همکاران، ۲۰۲۰^۱

۲-۲- روش انجام پژوهش

در این تحقیق از میزان خالص مهاجرت^۲ برای سنجش مهاجرت در سطح شهرستان‌های کشور استفاده شد. بدین منظور داده‌های خام ماتریس مهاجرت در سطح شهرستان از سرشماری‌های نفوس و مسکن مرکز آمار ایران دریافت شد. با پردازش داده‌های مهاجرتی، میزان خالص مهاجرت در دوره‌های چهارگانه آماری در سه دهه اخیر از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ برای هر یک از شهرستان‌های کشور محاسبه گردید.

به منظور پایش ماه‌های خشک در سطح کشور از شاخص استاندارد بارش (SPI)^۳ استفاده شد. در این راستا ۶۱ ایستگاه سینوپتیک معرف با طول آماری پیوسته ۳۰ ساله و پراکنش فضایی مناسب در سطح کشور انتخاب شد. با دریافت داده‌های بارش این ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور پردازش‌های اولیه بر روی آن‌ها صورت گرفت. در ادامه داده‌های بارش وارد نرم‌افزار MDM^۴ (صالح‌نیا^۵ و همکاران، ۲۰۱۷) شد. از آنجایی که در این تحقیق تنها مقادیر خشک‌سالی شاخص SPI مورد نیاز بود، فراوانی رخداد ماه‌های خشک سال برای هر ایستگاه سینوپتیک محاسبه گردید. در ادامه مقادیر خشکی ماهانه به همراه مقادیر میزان خالص مهاجرت وارد محیط GIS شد. سپس با استفاده از موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه، کل کشور با استفاده از پلیگون‌های تیسن درونیابی گردید. بعد از این مرحله به منظور کنکاش رابطه خشک‌سالی با مهاجرت‌های در کشور از تکنیک‌های تحلیل فضایی استفاده شد. در این رابطه ابتدا وجود خودهمبستگی^۶ فضایی در داده‌های متغیر وابسته و مستقل با استفاده از شاخص جهانی موران^۷ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که وجود خودهمبستگی و الگوی خوشه‌ای در داده‌ها مشهود بود، برای کنکاش رابطه خشک‌سالی و مهاجرت از تحلیل لکه‌های داغ^۸ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. سپس انطباق

1 Sadeghi et al. 2020

2 Net Migration Rate

3 Standardized Precipitation Index (SPI)

4 Meteorological Drought Monitor

5 Salehnia et al

6 Autocorrelation

7 Moran's I

8 Hot Spot Analysis

لکه‌های داغ که در این مطالعه نشان از کانون‌های مهاجرپذیری و نقاط سرد که حاکی از کانون‌های مهاجرفرستی داشت، با الگوی فراوانی ماه‌های خشک سال در کشور برای چهار دوره متناظر با دوره‌های سرشماری مورد کنکاش قرار گرفت.

۲-۳- شاخص SPI

شاخص SPI از جمله معروف‌ترین و شاید پرکاربردترین شاخص برای تعیین وقوع خشک‌سالی در یک منطقه خاص می‌باشد. این شاخص اولین بار در سال ۱۹۹۳ از سوی مک کی و همکارانش ارائه گردید. شاخص استاندارد بارش برای محاسبه خشک‌سالی تنها به مقادیر بارش نیاز دارد که عمده‌ترین مزیت این شاخص محسوب می‌شود. به منظور محاسبه SPI، ابتدا یک رکورد بارش بلندمدت در ایستگاه موردنظر به توزیع احتمال (مثلاً توزیع گاما) برازش می‌گردد، سپس به یک توزیع طبیعی تبدیل می‌شود تا میانگین SPI صفر شود (مک کی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳: ادوارد و مک کی^۲، ۱۹۹۷). با توجه به صفر بودن میانگین در توزیع نرمال در این شاخص مقادیر مثبت SPI، میزان بارش بیش از میانگین و مقادیر منفی میزان کمتر از میانگین را نشان می‌دهند (جدول ۲). خشک‌سالی در این شاخص زمانی آغاز می‌شود که مقدار شاخص به ۱- رسیده و از آن عبور نماید و این خشک‌سالی زمانی خاتمه می‌یابد که مقدار شاخص مجدداً مثبت شود (برای مطالعه بیشتر به مک کی و همکاران^۳، ۱۹۹۳ مراجعه شود).

جدول ۲- طبقه‌بندی مقادیر شاخص SPI و کلاس‌های متناظر آن

وضعیت	درصد از نرمال	ردیف
ترسالی بسیار شدید	بزرگ‌تر یا مساوی ۲	۱
ترسالی شدید	۱.۵ تا ۱.۹۹	۲
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱.۴۹	۳
نزدیک نرمال	۰.۹۹- تا ۰.۹۹	۴
نسبتاً خشک	-۱ تا -۱.۴۹	۵
خشکی شدید	-۱.۵ تا -۱.۹۹	۶
خشکی بسیار شدید	کوچک‌تر یا مساوی -۲	۷

۲-۴- شاخص موران و تحلیل لکه‌های داغ

برای استفاده از ابزارهای تحلیل فضایی معمولاً آگاهی از وجود خودهمبستگی فضایی در بین داده‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. چراکه مبنای بهره‌گیری از برخی از تحلیل‌های فضایی همچون تحلیل لکه داغ وجود

1 McKee et al

2 Edwards and McKee

3 McKee et al

خودهمبستگی فضایی در بین مشاهدات و داده‌ها است. شاخص موران جهانی شاخصی متداول برای سنجش خودهمبستگی فضایی در رابطه با همسایگی عوارض است (ژیوا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). خودهمبستگی فضایی یعنی ارزش صفت‌های مطالعه شده خودهمبسته هستند و همبستگی آن‌ها قابل استناد به نظم جغرافیایی پدیده‌ها است (رفعیان و زاهد، ۱۳۹۷). مقادیر شاخص موران از ۱- تا ۱ را شامل می‌شود که مبین سه حالت است. حالت اول شامل مقدار نزدیک به صفر است که این امر به منزله الگوی تصادفی قرارگیری مقادیر در کنار هم است. حالت دوم مقادیر نزدیک به ۱ می‌باشد که حاکی از الگوی خوشه‌ای مقادیر مشابه و حالت سوم نیز مقادیر نزدیک به ۱- را در بر دارد که نشان از در کنار هم قرارگیری مقادیر غیرمشابه می‌باشد.

موران جهانی می‌تواند ارتباط و خودهمبستگی فضایی کلی را شناسایی نماید. با این وجود قادر به شناسایی الگوهای محلی خوشه‌بندی نیست. از این رو در مواردی که خودهمبستگی فضایی محلی برای شناسایی خوشه‌بندی فضایی محلی یا «نقاط داغ^۲» مدنظر باشد، تحلیل لکه‌های داغ مفید است (انسلین^۳، ۱۹۹۵: ژئو^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). تحلیل لکه داغ به هر عارضه در چهارچوب عوارضی که در همسایگی آن واقع شده‌اند نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا و کم داشته باشد جالب و مهم است، لیکن احتمال دارد به تنهایی لکه داغ معنادار از نظر آماری نباشد. به‌عنوان مثال، برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد بایستی هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی اش واقع شده‌اند دارای مقادیر بالا باشند. در ادامه جمع محلی^۵ یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود. زمانی که جمع محلی به‌طور زیاد و غیرمنتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیشتر باشد و اختلاف به اندازه‌ای باشد که نتوان آن را در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز Z به دست خواهد آمد. در این پژوهش از تحلیل لکه داغ (آماره گنیس-ارد جی^۶) برای شناسایی خوشه‌های فضایی میزان خالص مهاجرت بالا (نقطه داغ) و میزان خالص مهاجرت پایین (نقطه سرد) با توجه به اصل همسایگی عوارض استفاده شده است. طبق الگوریتم ابزار، آماره گنیس-ارد جی برای تمامی عارضه‌های موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود. امتیاز Z به دست آمده از این طریق به‌صورت نقشه نشان می‌دهد که خوشه‌بندی‌های سرد (مقادیر کم) و داغ (مقادیر زیاد) در کجا شکل گرفته‌اند.

آماره Gi که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z کوچک‌تر باشد به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین

1 Xu et al

2 Hotspot

3 Anselin

4 Xu et al

5 local sum

6 Getis-Orod Gi*

خواهد بود و این‌ها در حقیقت لکه‌های سرد را نشان می‌دهند (عسگری، ۱۳۹۰: ۷۵). همچنین هر یک از لکه‌های داغ و سرد سطوح مختلف با ضریب خطا و سطح اطمینان آن مشخص می‌گردد. از سوی دیگر مقادیر صفر برای آماره Z نشان می‌دهد که سطوح مربوطه از نظر آماری معنی‌دار نیست.

۳- نتایج و بحث

با توجه به روش تحقیق، خشک‌سالی برای کل کشور به مدت ۳۰ سال و با استفاده از ۶۱ ایستگاه سینوپتیک و با بهره‌گیری از شاخص SPI پایش گردید. در ادامه به منظور بررسی رابطه بین خشک‌سالی و مهاجرت جمعیت، بازه ۳۰ ساله به دو بازه ده‌ساله مطابق با دوره سرشماری ۱۳۶۵-۱۳۷۵ و ۱۳۷۵-۱۳۸۵ و نیز به دو دوره پنج‌ساله از ۱۳۸۵-۱۳۹۰ و ۱۳۹۰-۱۳۹۵ تقسیم گردید. در ادامه تعداد ماه‌هایی که در دوره‌های چهارگانه شاهد رخداد کمبودبارش (خشکی) بودند، محاسبه و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد. در این راه ابتدا نقشه‌های فراوانی خشکی ماهانه برای چهار دوره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم شد که در ادامه بدان اشاره شده است.

۳-۱- خشک‌سالی

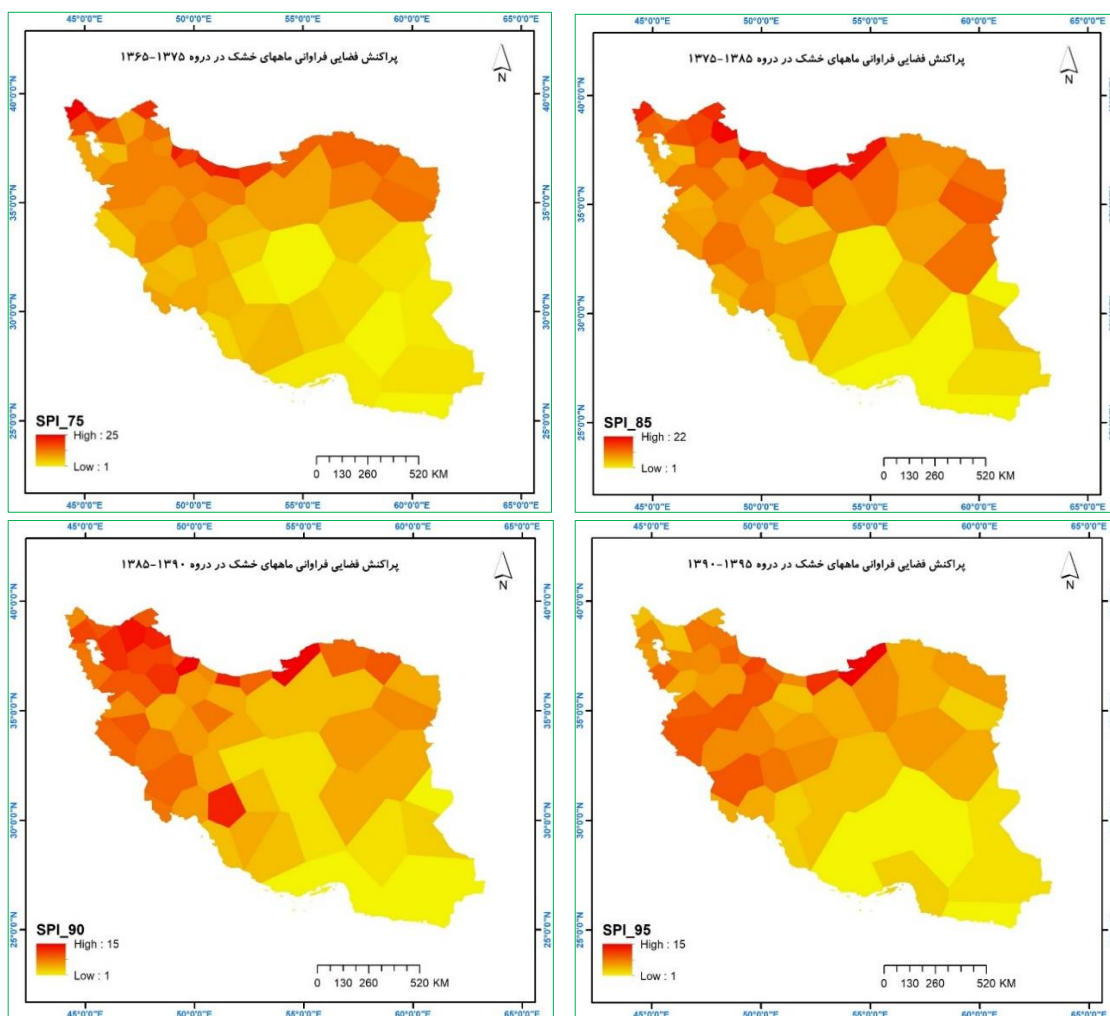
پایش رخداد فراوانی خشکی ماهانه در شکل ۱ نشان داده شده است. پراکنش رخداد خشک‌سالی در ۱۳۶۵-۱۳۷۵ نشان می‌دهد که فراوانی رخداد ماه‌های خشک سال در نیمه شمالی کشور نسبت به نیمه جنوبی آن بیشتر است. از سویی دیگر قسمت‌های غربی کشور نیز نسبت به قسمت‌های شرقی از روند مشابهی به غیر از نیمه شمال غربی برخوردار است. رخداد این امر حاکی از اقلیم خشک مناطق جنوبی نسبت به شمالی و مناطق شرقی نسبت به غربی می‌باشد. در این دوره استان‌های شمالی کشور از بیشترین رخداد فراوانی خشکی ماهانه بر طبق شاخص SPI برخوردار بودند و قسمت‌های کویری و جنوب شرقی کشور شامل استان سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، جنوب کرمان یزد، شرق اصفهان و هرمزگان از مناطقی هستند که کمترین فراوانی رخداد خشکی ماهانه در آن‌ها رخ داده است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد این امر به معنای وجود خشک‌سالی در آن مناطق نیست بلکه متأثر از اقلیم خشک و کویری است که در اکثر ماه‌های سال در آن‌ها بارش رخ نمی‌دهد از این رو طبق الگوریتم شاخص استاندارد بارش، وضعیت آن‌ها نرمال محاسبه می‌شود. دامنه رخداد ماه‌های با کمبود بارش در این دوره از ۱ تا ۲۵ ماه در پهنه اقلیمی کشور متغیر می‌باشد. در این دوره بیشترین رخداد ماهانه خشک‌سالی مربوط به ایستگاه سینوپتیک ماکو در آذربایجان غربی و کمترین آن مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک یزد، بم و چابهار می‌باشد. در کل در استان‌هایی که عمدتاً در مناطق شرق، جنوب شرق و مرکز کشور قرار دارند، فراوانی ماه‌های خشک سال کمتر بوده است.

پایش خشک‌سالی در دوره ۱۳۷۵-۱۳۸۵ تقریباً روند مشابهی را به مانند دوره ۱۳۶۵-۱۳۷۵ نشان می‌دهد. ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی بیشترین رخداد ماهانه خشکی را در این دوره به خود اختصاص می‌دهد. ایستگاه‌های سینوپتیک

بندرلنگه، بندرعباس، بم، چابهار و زابل دارای کمترین مقدار فراوانی ماه‌های خشک‌سال هستند. دامنه رخداد خشکی ماهانه از ۱ تا ۲۲ ماه در دوره مورد بررسی متغیر می‌باشد که نسبت به دوره قبل سه ماه کمتر را نشان می‌دهد. در این دوره نسبت به دوره قبل تعداد ماه‌های خشک در قسمت شمالی افزایش داشته است. مناطق کویری کشور در جنوب غرب و مرکز نیز همچنان از فراوانی کمتری برخوردار هستند که دلیل آن در دوره قبلی ذکر شد. در این دوره خراسان جنوبی برخلاف دوره قبل از جمع استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، یزد و اصفهان جدا شده و ماه‌های خشک بیشتر نسبت به این استان‌ها دارد. در عوض عمده استان فارس در این دوره در کنار استان‌های با فراوانی کم ماه‌های خشک سال قرار دارد. استان اصفهان نیز بر خلاف دوره قبل کمی متفاوت‌تر از استان‌های مذکور می‌باشد و از ماه‌های خشک بیشتری برخوردار است. در روند کلی، از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب کشور و جنوب به سمت شمال کشور فراوانی رخداد ماه‌های خشک سال افزایشی است.

پایش خشک‌سالی دوره پنج‌ساله از ۱۳۸۵ - ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که شمال غرب کشور در کنار نوار شمال دریای خزر و نیز نوار شمالی - جنوبی زاگرس از بیشترین رخداد خشکی ماهانه در این دوره برخوردار هستند. در این دوره تقریباً الگوی غربی - شرقی در کشور مشهود می‌باشد و عمده قسمت‌های شرقی کشور نسبت به قسمت غربی آن از خشک‌سالی ماهانه کمتری برخوردار هستند که این نمود در الگوی شمالی - جنوبی کمتر مشهود می‌باشد. دامنه کمبود بارش میانگین ماهانه و به تبع آن خشک‌سالی در این دوره بین ۱ تا ۱۵ ماه در نوسان است. در این دوره ایستگاه‌های سینوپتیک رشت و گرگان بیشترین رخداد ماهانه کمبود بارش میانگین را دارد. در مقابل ایستگاه‌های سینوپتیک بندرلنگه، ایرانشهر، بندرعباس، چابهار و زابل کمترین رخداد ماهانه کمبود بارش میانگین را دارد. استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، قسمت‌های از استان‌های کرمان و یزد به مانند دوره‌های قبل کمترین ماه‌های خشک سال را دارند. نکته دیگر در این خصوص وجود ماه‌های خشک زیاد در منطقه آذربایجان می‌باشد.

پایش خشک‌سالی دوره پنج‌ساله از ۱۳۹۰ - ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که در این دوره الگوی جنوبی - شمالی خشک‌سالی نمود بیشتری دارد و روند ماه‌های خشک سال از جنوب به شمال افزایشی است. هرچند که در این دوره به مانند دوره‌های قبل نقاط غیر یکنواختی احتمالاً متأثر از ارتفاع در الگوی مذکور مشاهده می‌گردد. دامنه نوسان خشک‌سالی ماهانه در این دوره نیز به مانند دوره قبل از ۱ تا ۱۵ ماه می‌باشد. در این دوره ایستگاه سینوپتیک گرگان از بیشترین خشکی ماهانه برخوردار بوده و در مقابل ایستگاه‌های بندرلنگه، فسا، سیرجان، بم، چابهار و کرمان کمترین میزان رخداد خشکی ماهانه را داشته‌اند. الگوی رخداد ماه‌های خشک سال در جنوب شرق کشور همچنان با سایر مناطق در کشور متفاوت است. استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان و قسمت‌هایی از استان فارس در این الگو واقع شده‌اند.



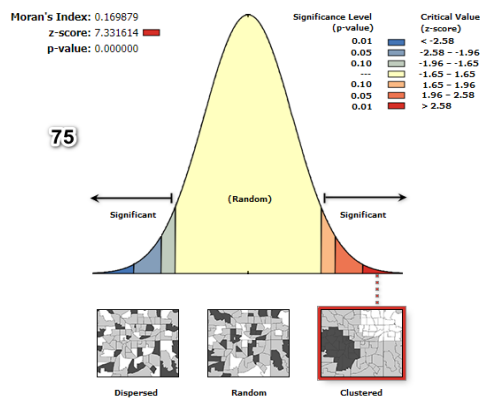
شکل ۱- پهنه‌بندی خشکی ماهانه در چهار دوره مورد مطالعه از ۶۵ تا ۹۵

۳-۱-۱- تحلیل خودهمبستگی فضایی مهاجرت

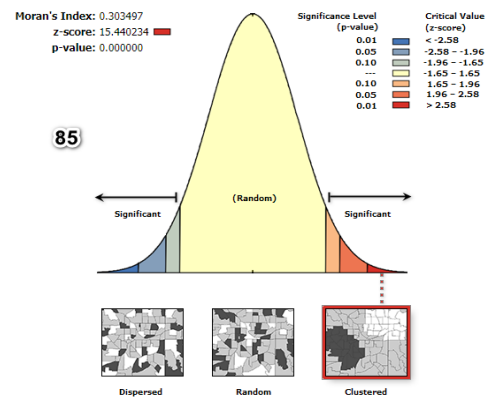
طبق جدول ۳ و شکل ۲ مقادیر شاخص موران برای میزان خالص مهاجرت در دوره‌های چهارگانه مورد مطالعه بین ۰.۱۷ تا ۰.۴۵ قرار دارد که نشان از خوشه‌بندی در داده‌های مهاجرت است. در شکل مذکور الگوی خوشه‌ای با سطح اطمینان ۹۹ درصد به خوبی مشخص است. این امر نشان می‌دهد که در داده‌های میزان خالص مهاجرت در سطح شهرستان‌ها، داده‌های مشابه در کنار هم قرار دارند.

جدول ۳- اطلاعات خودهمبستگی فضایی حاصل از شاخص موران جهانی

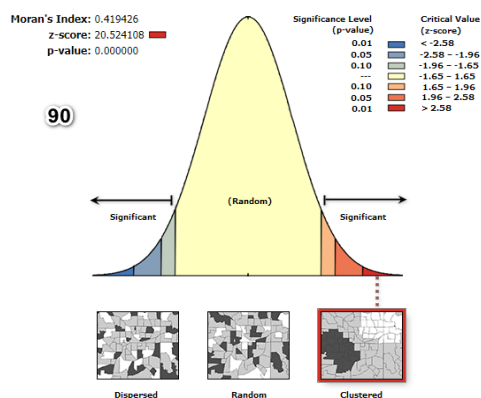
دوره زمانی	شاخص موران	z-score	p-value	سطح اطمینان	الگو
۱۳۶۵-۱۳۷۵	۰/۱۶۹۸۷۹	۷/۳۳۱۶۱۴	۰.۰۰۰۰	۹۹	خوشه‌ای
۱۳۷۵-۱۳۸۵	۰/۳۰۳۴۹۷	۱۵/۴۴۰۲۳۴	۰.۰۰۰۰	۹۹	خوشه‌ای
۱۳۸۵-۱۳۹۰	۰/۴۱۹۴۲۶	۲۰/۵۲۴۱۰۸	۰.۰۰۰۰	۹۹	خوشه‌ای
۱۳۹۰-۱۳۹۵	۰.۴۵۳۱۷۴	۲۴.۰۴۲۵۸۷	۰.۰۰۰۰	۹۹	خوشه‌ای



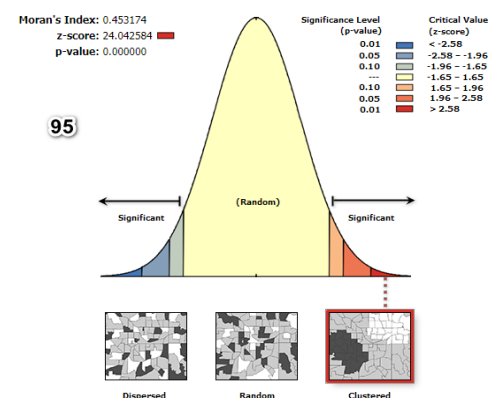
Given the z-score of 7.33161427334, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.



Given the z-score of 15.4402344365, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.



Given the z-score of 20.5241077083, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.



Given the z-score of 24.0425840674, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

شکل ۲- مقادیر شاخص موران برای شاخص میزان خالص مهاجرت

۳-۲- یافته‌های تحلیل لکه داغ مهاجرت

پس از بررسی خودهمبستگی فضایی و مشاهده نتایج آن، اقدام به اجرای ابزار فضایی لکه داغ و بررسی و تحلیل کانون‌های مهاجرپذیر و مهاجرفرست شد. در ادامه هر یک از دوره‌های چهارگانه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و نقشه‌ها و تحلیل‌های مربوطه ارائه شده است.

۳-۲-۱- دوره ۱۳۷۵-۱۳۶۵

تحلیل فضایی مراکز موازنه مهاجرتی با استفاده از ابزار تحلیل فضایی لکه داغ نشان می‌دهد که در این دوره تنها لکه داغ تهران و شهرستان‌های اطراف به‌عنوان مراکز جذب جمعیتی نقش ایفا می‌کنند (شکل ۳). در این قطب تمام شهرستان‌های استان تهران، شهرستان‌های ساوه، قم، کاشان، گرمسار و برخی از شهرستان‌های استان مازندران همچون آمل، بابل، نور، محمودآباد، نور، تنکابن، رامسر و نوشهر با سطح اطمینان ۹۹ درصد قرار دارند. لکه‌های سرد یا به عبارتی مراکز مهاجرفرستی را نیز می‌توان در نوار شمالی-جنوبی به موازات رشته‌کوه زاگرس و در شمال غرب کشور از استان کهگیلویه و بویراحمد تا استان اردبیل دید. در مراکز مهاجرفرستی در کل سه قطب عمده دیده می‌شود که قطب اول و بزرگ‌تر در آذربایجان قرار دارد که شامل شهرستان‌های مشگین شهر، اردبیل، خلخال، سراب، میانه، بستان‌آباد و هشترود می‌شود که با سطح ۹۹ درصد اطمینان در قلب لکه سرد واقع شده‌اند. قطب دوم شامل شهرستان‌های گچساران، بهبهان، باغملک، کهگیلویه، شوشتر، مسجدسلیمان و دزفول می‌شود که مرکزیت این قطب را دارند. در نهایت قطب سوم که کوچک‌ترین آن نیز هست تنها شهرستان دورود را به‌عنوان شهرستان اصلی با سطح اطمینان ۹۹ درصد در قلب قطب مهاجرفرست دارد.

نتایج تحلیل فضایی لکه داغ و تطابق کانون‌های مهاجرفرستی و مهاجرپذیری با نقشه فراوانی ماه‌های خشک در این دوره نشان می‌دهد که این کانون‌های مهاجرفرستی و مهاجرپذیری در قسمتی از کشور که دارای فراوانی شاخص بارش استاندارد (ماه خشک) متوسط تا زیاد هستند صورت گرفته است. شهرستان‌های استان مازندران که در قلب قطب جذب جمعیتی قرار دارند از شاخص فراوانی خشکی (SPI) زیاد برخوردار هستند. این شهرستان‌ها در اقلیم‌بندی کشور جز اقلیم پربارش تلقی می‌شوند. شهرستان‌های استان تهران نیز که مرکزیت اصلی قطب جذب جمعیتی را دارند، در مناطقی با فراوانی ماه‌های خشک متوسط واقع شده‌اند. در قطب مهاجرفرست نیز با کمی اغماض مشاهده می‌شود که سه قطب مهاجرفرست کشور در مناطقی قرار گرفته‌اند که عمدتاً فراوانی ماه‌های خشک متوسط دارند. با این اوصاف و با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در مناطق اقلیمی خشک کشور که به تبع از فراوانی ماه‌های خشک کمتری برخوردارند، کانونی اعم از مهاجرفرست و مهاجرپذیر مشاهده نمی‌شود.

۳-۲-۲- دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۵

در این دوره نیز شهرستان‌های استان تهران و به تبع آن برخی از شهرستان‌های استان مازندران به مانند دوره قبل همچنان قطب مهاجرپذیری اصلی کشور محسوب می‌شوند. در این دوره تعداد شهرستان‌ها و گستره قطب مهاجرپذیر تهران افزایش و به سمت شرق گسترش یافته است. قطب دوم مهاجرپذیر نیز در جنوب کشور و به مرکزیت شهرستان لامرد و بندرلنگه شکل گرفته است. وجود قطب مرکزی و سوم با مرکزیت اصفهان از نکات جالب در این دوره می‌باشد که شامل شهرستان‌های اصفهان، یزد و تفت است. در خصوص لکه‌های سرد یا همان کانون‌های مهاجرفرست در این دوره سه کانون عمده قابل مشاهده می‌باشد. وسعت و تعداد شهرستان‌های کانون‌های مهاجرفرست از شمال به جنوب کاهش یافته است. در این دوره قطب آذربایجان همچنان قطب اصلی مهاجرفرستی است که در این دوره نسبت به دوره قبل بر وسعت و تعداد شهرستان‌های آن افزوده شده است. در این دوره قطب دوم در شهرستان‌های عمدتاً کردنشین غرب کشور شکل گرفته است. قطب سوم در دوره ۶۵-۱۳۷۵ نیز قابل مشاهده بود که در این دوره نیز وجود دارد. قطب چهارم و کوچک شهرستان دورود نیز در این دوره همچنان دیده می‌شود که نشان دهنده این مطلب است که علاوه بر نقاط ترک‌نشین در شمال غرب کشور، شهرستان‌های کردنشین غرب کشور، شهرستان‌های لر‌نشین غرب و جنوب غرب کشور همچنان بزرگ‌ترین مراکز مهاجر فرستی در کشور هستند. نکته قابل توجه در این دوره و در خصوص قطب مهاجرفرستی وجود قطب نوظهور و ضعیف شمال شرق کشور به مرکزیت شهرستان مشهد می‌باشد. در این دوره دیده می‌شود که شهرستان‌های شرقی و جنوب شرقی کشور از کانون‌های مهاجرپذیری و مهاجرفرستی فاصله قابل توجهی دارند.

تطابق نقشه فراوانی ماه‌های خشک سال شاخص SPI در این دوره با تحلیل فضایی لکه داغ نشان می‌دهد که قطب تهران در مناطقی واقع شده است که عدد خشکی ماهانه آن زیاد می‌باشد. در این خصوص تنها دو قطب اصفهان و بندرلنگه در مناطق اقلیمی خشک و با فراوانی خشکی کم قرار گرفته‌اند. در قطب‌های مهاجرفرست نیز قطب آذربایجان در مناطقی با فراوانی خشکی ماهانه زیاد قرار گرفته است و به سمت جنوب این فراوانی ماه‌های خشک سال کمتر می‌شود. سایر قطب‌ها نیز با کمی اغماض در مناطقی از کشور که فراوانی خشکی ماهانه متوسط تا زیاد دارند، قرار گرفته‌اند. این قطب‌های مهاجرفرست عمدتاً در نقاط کوهستانی و معتدل کشور واقع شده‌اند. همانند دوره قبل شهرستان‌های شرقی و جنوب شرقی کشور از کانون‌های مهاجرپذیری و مهاجرفرستی به دور هستند.

۳-۲-۳- دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۵

الگوی کلی مهاجرتی دو دوره قبل در این دوره نیز قابل مشاهده می‌باشد. قطب مهاجرپذیری تهران همچنان نمود بارزی داشته و بر تعداد وسعت شهرستان‌های آن نیز افزوده شده است. قطب مرکزی اصفهان-یزد نسبت به دو دوره قبل در این دوره بارزتر قابل مشاهده است. در قطب اصفهان-یزد که در این دوره به وسعت و شهرستان‌های آن

افزوده شده، مرکزیت به سمت شهرستان‌های یزد کشیده شده است. شهرستان‌ها یزد، میبد، اشکذر و اردکان در قلب این کانون مهاجرپذیری قرار دارند. نکته قابل توجه دیگر در خصوص قطب‌های مهاجرپذیری نزدیکی و اتصال مکانی دو قطب تهران و اصفهان-یزد است. بندرلنگه در این دوره مثل دوره قبل جزء کانون‌های اصلی نیست ولی نشان می‌دهد که هنوز هم مهاجرپذیر است. کانون نوظهور و ضعیف بیرجند در شرق کشور نیز در این دوره قابل توجه است که نشان می‌دهد در این بخش از کشور کانون ضعیف مهاجرپذیری وجود دارد. در خصوص قطب‌های مهاجرپرست چهار قطب جداگانه قابل مشاهده است که بر خلاف دو دوره قبل بزرگ‌ترین آن در جنوب غرب کشور قرار دارد. این مرکز کانون مهاجرپرستی همان کانون شهرستان‌های لرنشین غرب و جنوب غرب کشور است که در این دوره بر وسعت و تعداد شهرستان‌های آن افزوده شده است. سایر مراکز کانونی به موازات رشته‌کوه زاگرس کشیده شده و در قسمت شمالی به سمت دریای خزر تمایل می‌یابند. در این کانون‌ها شهرستان‌هایی با سطح ۹۹ درصد اطمینان کمتر دیده می‌شود که عبارت‌اند از قطب کرمانشاه، تکاب و مشگین شهر. مهاجرپرستی با درصد اطمینان کمتری نیز در جنوب شرق کشور دیده می‌شود که شامل شهرستان‌های جیرفت، فاریاب و ارزوئیه است.

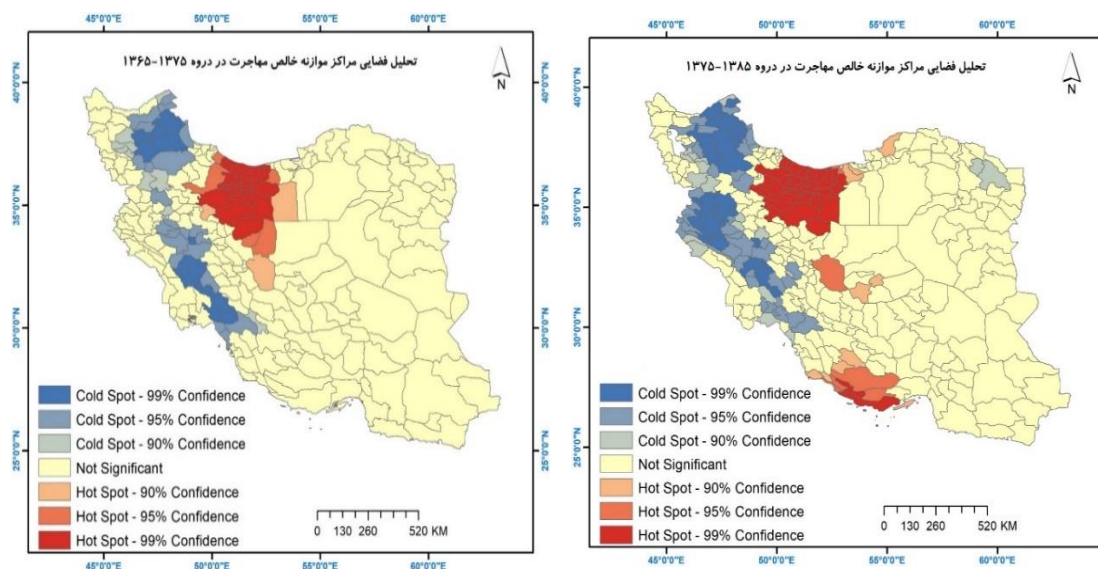
بر مبنای تحلیل فضایی لکه داغ در تطابق با نقشه فراوانی ماه‌های خشک سال حاصل از شاخص SPI، در این دوره مشاهده می‌شود که کانون اصفهان-یزد در مناطق با فراوانی کم خشکی ماهانه و در اقلیم خشک کشور واقع شده است. کانون تهران نیز در این دوره در مناطقی که عمدتاً دارای فراوانی متوسط خشکی ماهانه است، قرار دارد. در خصوص کانون‌های مهاجرپرستی اهلبا کمی اغماض می‌توان گفت که در این دوره عمده شهرستان‌های مهاجرپرست در این دوره در مناطق با فراوانی متوسط تا زیاد خشکی ماهانه قرار دارند که این مقدار از جنوب به سمت شمال افزایشی است و در کانون آذربایجان به اوج خود می‌رسد. به مانند دو دوره قبل شهرستان‌های شرق و جنوب شرقی کشور از کانون‌های مهاجرتی به دور هستند هرچند که کانون‌های ضعیف یا شبه کانون در این قسمت و در این دوره مشاهده می‌شود.

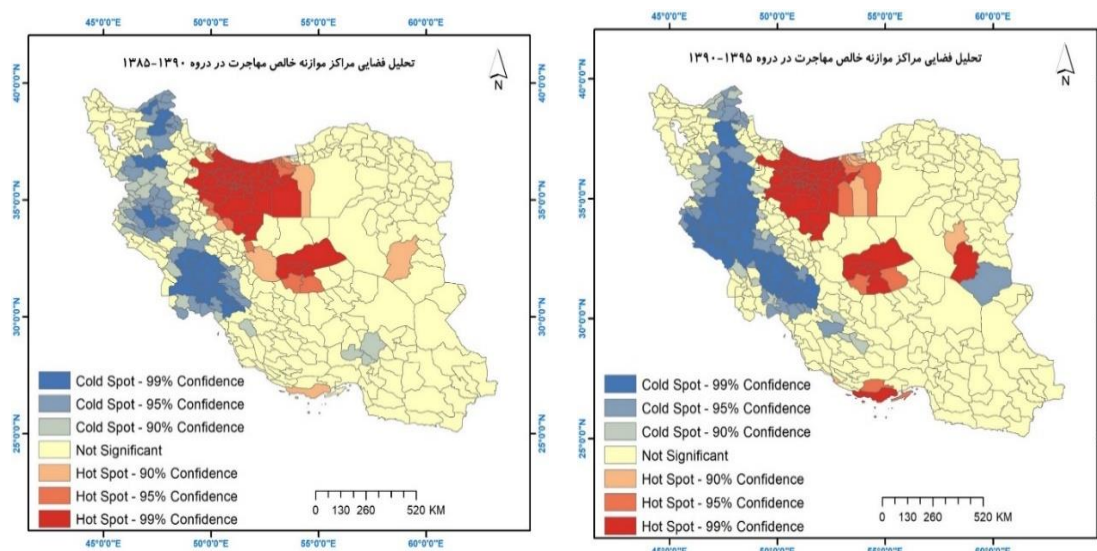
۳-۲-۴- دوره ۱۳۹۰-۱۳۹۵

آخرین دوره مهاجرتی نیز به مانند سه دوره قبلی از الگوی کانونی تقریباً مشابهی برخوردار می‌باشد. تهران همچنان کانون اصلی جذب مهاجرت در کشور بوده و کانون مهاجرپرست به موازات رشته‌کوه زاگرس تا شمال شرق کشور امتداد دارد. در این دوره کانون فلات مرکزی (کانون یزد) نمود بیشتر و جدیدی در این دوره داشته و نشان می‌دهد که در این نقطه از کشور کانون مهاجرپذیری جدیدی در حال شکل‌گیری است. این کانون از اصفهان در دوره‌های قبل به سمت شهرستان‌های یزد کشیده شده است و شامل شهرستان‌های یزد، اردکان، میبد، اشکذر و مهریز می‌شود. در جنوب کشور و در شهرستان بندرلنگه دوباره یک شبه کانون مهاجرت‌پذیری قابل مشاهده است. کلیت کانون‌های مهاجرپذیری حاکی از وجود آن در مرکز کشور و از شمال به جنوب می‌باشد. نکته استثنای در این

خصوصاً شبه‌کانون شرق کشور در شهرستان خوسف است که به همراه یک کانون جدید مهاجرفرستی (شهرستان نهبندان) مشاهده می‌شود. در رابطه با کانون‌های مهاجرفرستی می‌توان مشاهده کرد که این کانون‌ها در این دوره پیوستگی بیشتری داشته و نسبت به دوره‌های قبل به سمت غرب کشور و شهرستان‌های استان ایلام کشیده شده است و در شمال آن (شمال آذربایجان) تضعیف شده است. به‌طور کلی در این دوره نیز در شهرستان‌های نیمه شرقی کشور همچنان کانونی قابل توجهی اعم از مهاجرپذیری و مهاجر فرستی مشاهده نمی‌شود.

همچنان الگوی کلی مهاجرت با الگوی فراوانی ماه‌های خشک شاخص SPI به روال سه دوره قبل است. در این دوره اما سه کانون مهاجرپذیر یزد، خوسف و لامرد که به ترتیب در مرکز، شرق و جنوب کشور واقع شده‌اند، در مناطق اقلیمی خشک کشور و با فراوانی ماه‌های خشک کم واقع شده‌اند. کانون تهران به دلیل وسعت و شرایط توپوگرافیک آن در مناطق با فراوانی ماه‌های خشک سال کم تا زیاد گسترده شده است. در کانون اصلی مهاجرفرستی اما به دلیل وسعت و نیز شرایط توپوگرافیک منطقه، شهرستان‌های مهاجرفرست در منطقه‌ای با فراوانی ماه‌های خشک متوسط تا زیاد گسترش دارند و الگوی خاصی نمی‌توان مشاهده کرد. نکته قابل توجه دیگر در این الگو وجود شهرستان نهبندان به‌عنوان شهرستان مهاجرفرست در نواحی با فراوانی کم ماه‌های خشک سال است. در این دوره نیز در نیمه جنوب شرقی کشور که عمدتاً دارای فراوانی کم ماه‌های خشک است به مانند سایر دوره‌ها کانون مهاجرتی دیده نمی‌شود.





شکل ۳- کانون‌های فضایی مهاجرفرستی و مهاجرپذیری بر مبنای شاخص میزان خالص مهاجرت

۴- جمع‌بندی

یافته‌های منتج از به‌کارگیری الگوریتم SPI نشان می‌دهد که به‌صورت کلی فراوانی ماهانه کمبود بارش نرمال در نیمه شمالی و شمال غربی بیشتر نمود دارد و بر این اساس می‌توان ادعا نمود که نیمه شمالی و شمال غرب کشور بیشتر در معرض رخداد ماهانه خشک‌سالی هستند. لازم به یادآوری است که فراوانی ماهانه کمبود بارش نرمال قسمت‌های یاد شده بدان معنی نیست که در سایر نقاط کشور که عمدتاً شامل مناطق خشک و بسیار خشک اقلیمی کشور می‌باشند، خشک‌سالی کمتر است، لیکن به دلیل استفاده شاخص SPI تنها از متغیر بارش و نبود بارش در عمده ماه‌های سال در این مناطق، فراوانی ماهانه کمبود بارش نرمال در این مناطق کمتر گزارش می‌شود. نکته دیگر در این خصوص تطابق فراوانی کمبود بارش نرمال ماهانه متوسط تا زیاد با نواحی جمعیتی در کشور است؛ به‌طوری‌که عمده جمعیت کشور در این نواحی سکونت دارند. در نتیجه اگر در این مناطق خشک‌سالی رخ داده و روند آن افزایشی باشد می‌تواند بخش قابل توجهی از جمعیت کشور و به‌تبع آن اقتصاد کشور را متأثر سازد.

نتایج تحلیل لکه‌های داغ نشان داد که قسمت‌های شمال و شمال غرب کشور که عمدتاً در تطابق با فراوانی ماهانه کمبود بارش نرمال متوسط تا زیاد نیز است، از الگوی تحرک مهاجرتی بیشتری برخوردار هستند. در این خصوص کانون مهاجرپذیری تهران که در دوره‌های چهارگانه به‌عنوان کانون اصلی جذب جمعیت مهاجر داخلی در سطح شهرستان عمل نموده در کنار کانون مهاجرفرستی غرب و شمال غرب کشور هر دو در مناطق با فراوانی ماهانه کمبود بارش نرمال متوسط تا زیاد قرار دارند. با این اوصاف هرچند با توجه به سابقه موضوع انتظار می‌رود که مناطق شرقی و جنوب شرقی کشور با توجه به اقلیم خشک از کانون‌های اصلی مهاجرفرستی متأثر از خشک‌سالی باشند ولی نتایج

تحلیل لکه داغ که این مناطق را به‌عنوان کانون شناسایی نمی‌کند، نشان می‌دهد که کانون‌های مهاجرفرست در کنار کانون‌های مهاجرپذیر در قسمت‌های شمالی و شمال غربی کشور قرار دارند. از این رو وجود کانون‌های اصلی مهاجرتی اعم از مهاجر فرست و مهاجرپذیر در یک گستره مشابه خشک‌سالی، کشف ارتباط بین خشک‌سالی و مهاجرت را به‌شدت پیچیده و سخت می‌نماید. به‌عبارتی دیگر به‌طور صریح نمی‌توان گفت که کانون‌ها مهاجرفرست در مناطقی با شاخص SPI زیاد یا کم قرار دارند؛ چراکه کانون‌های مهاجرپذیر نیز در همین محدوده گسترش دارند. در پژوهش اصلی که مقاله حاضر از آن استخراج شده است، تلاش شد تا همبستگی خشک‌سالی و مهاجرت با روش‌های متعدد آماری سنجیده شود، اما نتایج ضعیف گزارش شد. وجود رابطه ضعیف در بین شاخص خالص مهاجرت و فراوانی خشک‌سالی ماهانه شاخص SPI از دلایل متعددی ناشی می‌شود. در این خصوص بایستی توجه کرد که هر دو متغیر به‌شدت چه از نظر زمانی و چه از نظر مکانی بسیار پویا هستند و یافتن یک روند ثابت در آن‌ها بسیار مشکل و پیچیده است. مسئله دیگر گستره اقلیمی و تنوع اقلیمی در ایران است. این امر موجب می‌شود تا مهاجرت در اقلیم‌های مختلف صورت گیرد و در کل اثر آن کمتر مشاهده شود. همچنین مهاجرت ناشی از مسائل قومیتی، فرهنگی و اقتصادی، سیاسی و اجتماعی نیز است که در کشور ایران تنوع این موارد هم تحلیل ارتباط مهاجرت با خشک‌سالی را مشکل و پیچیده می‌سازد. از نکات مؤثر دیگر در این رابطه وجود انواع خشک‌سالی است که در این تحقیق تنها خشک‌سالی هواشناسی در قالب فراوانی رخداد ماه‌های خشک مورد کنکاش قرار گرفته است. پراکنش ناهمگون شهرستان‌های مهاجرفرست و مهاجرپذیر در کشور نیز از علل عدم مشاهده رابطه قابل توجه در خصوص مهاجرت و خشک‌سالی است. در نهایت می‌توان عنوان نمود که در یک منطقه با خشک‌سالی یکسان شهرستان‌ها رفتارهای مختلفی از خود نشان می‌دهند. برای مثال جمعیت شهرهای کوچک یک منطقه جذب مرکز شهری همان منطقه می‌شوند. این واقعیت در تحقیقات کلان مشابه نیز عمده‌تاً مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که **اچبرگر^۱** (۲۰۲۰) در سطح قاره آفریقا و **خواجه‌زاده (۱۳۹۶)** در ایران نیز در شناسایی ارتباط دچار مشکل می‌شوند. در تحقیق حاضر نیز تنها بعد خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI به‌صورت ماهانه سنجیده شده است؛ بنابراین نتیجه‌گیری در خصوص اینکه آیا مهاجرت در کشور متأثر از خشک‌سالی است با روش و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دچار مشکل می‌شود. چراکه اگر سایر ابعاد خشک‌سالی در کنار ایستگاه‌های بیشتر لحاظ شود، احتمال دارد نتایج متفاوتی حاصل شود. همچنین مرور مبانی نظری در این تحقیق نیز نشان می‌دهد که محققین فعال در حیطه مهاجرت به پیچیدگی این امر به‌ویژه در رابطه با خشک‌سالی اذعان دارند. همچنین به نظر می‌رسد مشاهده تأثیر خشک‌سالی بر روی مهاجرت در سطح نقاط روستایی قابل درک‌تر باشد. از این رو پیشنهاد می‌شود که مطالعه بیشتر و جزئی‌تر در سطح کشور در خصوص ارتباط بین خشک‌سالی و مهاجرت، پیرو این تحقیق همچنان ادامه یابد.

یادداشت‌ها

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «بررسی رابطه پدیده خشکسالی با مهاجرت‌های داخلی در سه دهه اخیر در ایران» مصوب موسسه تحقیقات جمعیت کشور است.

کتابنامه

خواججه‌زاده، فائزه؛ ۱۳۹۶. بررسی مهاجرت‌های زیست‌محیطی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه جمعیت‌شناسی. دانشکده علوم اجتماعی. دانشگاه تهران. استاد راهنما: محمد جلال عباسی شوازی.

<http://utdlib.ut.ac.ir/Search/DocumentDetails/58070?HighlightWords=%D8%AE%D9%88%D8%A7%D8%AC%D9%87%20%D8%B2%D8%A7%D8%AF%D9%87%20%20>

دوستان، رضا؛ ۱۳۹۸. تحلیلی بر تحقیقات خشک‌سالی در ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۶.

صص ۵۳ - ۹۴. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2819-fa.html>

رحمتی، لیلا؛ ۱۳۹۰. بررسی استراتژی‌های مختلف مقابله با خشک‌سالی با تأکید بر مهاجرت از روستا به شهر در استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز - دانشکده کشاورزی. استاد راهنما منصور زیبایی و اسماعیلی

https://azarsa.shirazu.ac.ir/faces/search/bibliographic/biblioFullView.jspx?_afPfm=1ac8xaeu97

رفعیان، مجتبی؛ زاهد، نفیسه؛ ۱۳۹۷. تحلیل فضایی فرسودگی محله‌های شهر قم با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری. شماره ۶. صص ۳۶۱-۳۸۳.

https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_69176.html

صادقی، رسول. شکریانی، محسن؛ ۱۳۹۵. تحلیل نوسانات فضایی تأثیر توسعه بر مهاجرت داخلی بین شهرستانی در لیران. توسعه محلی روستایی - شهری (توسعه روستایی). شماره ۸. صص ۲۴۵-۲۷۰.

https://jrd.ut.ac.ir/article_63067.html

عسگری، علی؛ ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS. انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.

علیزاده، امین؛ آشگر طوسی، شادی؛ ۱۳۸۷. توسعه یک مدل برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). علوم و صنایع کشاورزی. شماره ۱. صص ۲۲۳-۲۳۴.

<https://www.sid.ir/paper/450376/fa>

کرمی نسب، صدیقه؛ شهبازی، حسین رضا؛ ۱۳۹۸. نقش مخاطرات طبیعی (خشک‌سالی) در مهاجرت روستایی (بخش کردیان - شهرستان جهرم). جغرافیا و روابط انسانی. شماره ۱. صص ۴۰۱-۴۱۱.

https://www.gahr.ir/article_87915.html

محمودیان، حسین؛ محمودیانی، سراج‌الدین؛ ۱۳۹۷. بررسی وضعیت مهاجرت و شهرنشینی در ایران با تأکید بر دوره

۹۵-۱۳۹۰. پروژه همکاری صندوق جمعیت سازمان ملل و دانشگاه تهران

https://iran.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/layout_-_report_on_internal_migration-v.10.pdf

مرکز آمار ایران؛ ۱۳۹۵. نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن. <https://www.amar.org.ir>
 مشفق، محمود؛ شکفته گوهری، محمد؛ ۱۳۹۹. مطالعه وضعیت مهاجرت در شهرستان‌های مرزنشین ایران و اثرات سطح توسعه‌یافتگی بر آن. فصلنامه علوم اجتماعی. شماره ۲۷. صص ۱۰۹-۱۴۴.
<https://doi.org/10.22054/qjss.2020.48172.2172>

- Achberger CA., 2020. *Climate Change and Droughts: Effects on Migration within Africa* (Doctoral dissertation, Karl-Franzens-Universität Graz).
<https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/5288187>
- Adger WN, Pulhin J M, Barnett J, Dabelko GD, Hovelsrud GK, Levy M, ... & Vogel CH., 2014. Human security. Cambridge University Press.
https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/20276/WGIIAR5-Chap12_HumanSecurity.pdf?sequence=1
- Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27: 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Edwards DC, McKee TB., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. <http://hdl.handle.net/10217/170176>
- Foresight., 2011. Migration and global environmental change: Future challenges and opportunities. Final Project Report, The Government Office for Science, London.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf
- Gray C, Mueller V., 2012. Drought and population mobility in rural Ethiopia. *World development*, 40: 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.05.023>
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17: 179-183.
<https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- McLeman R., 2013. Developments in modelling of climate change-related migration. *Climatic change*, 117: 599-611. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0578-2>
- Neumann K, Sietz D, Hilderink H, Janssen P, Kok M, van Dijk H., 2015. Environmental drivers of human migration in drylands—A spatial picture. *Applied Geography*, 56: 116-126.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.021>
- Rechkemmer A, O'Connor A, Rai A, Decker Sparks JL, Mudliar P, Shultz JM., 2016. A complex social-ecological disaster: Environmentally induced forced migration. *Disaster health*, 3: 112-120. <https://doi.org/10.1080/21665044.2016.1263519>
- Sadeghi R, Abbasi-Shavazi MJ, Shahbazin S., 2020. Internal Migration in Iran, Chapter 15, Pp.295-317. in M. Bell, A. Bernard, E. Charles-Edwards, and Y. Zhu (eds.), *Internal Migration in the Countries of Asia*, Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-44010-7_15
- Salehnia N, Alizadeh A, Sanaeinejad H, Bannayan M, Zarrin A, Hoogenboom G., 2017. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of arid land*, 9: 797-809.
<https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>

Sigelmann LE., 2020. Climate change and migration in Cambodia: an analysis of spatiotemporal trends in water availability and migration (Doctoral dissertation).

<http://dx.doi.org/10.26153/tsw/14401>

Xu X, Zhao Y, Zhang X, Xia S., 2018. Identifying the impacts of social, economic, and environmental factors on population aging in the Yangtze River Delta using the geographical detector technique. Sustainability, 10: 1528. <https://doi.org/10.3390/su10051528>



Estimation and Detection of Air Pollution in the Coastal Provinces of the Persian Gulf with a Regional Climate Approach

Ata Ghafari Gilandeh^{a*}, Vahid Safarian Zengir^b

^a Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

^b PhD, Department of Physical Geography, Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Received: 25 September 2022

Revised: 5 December 2022

Accepted: 18 December 2022

Abstract

One of the most important atmospheric challenges in recent decades in metropolitan areas is air pollution, which is caused by various natural and human factors and has harmful impacts on humans and the environment. Accordingly, investigating air pollution is important and necessary. For estimating the amount of carbon monoxide and nitrogen dioxide, as well as water vapor in the atmosphere in southern and southwestern provinces in 2018-2019, the data of Sentinel-5 satellite images was used. The findings showed the maximum concentration of CO with the value of 0.037 mol/m² in April 2019, the maximum concentration of H₂O with the value of 3703 mol/m² in August 2019 and the maximum concentration of NO₂ with the value of 0.000188 mol/m² in November 2018. The maximum daily LST value was 324.5 degrees Kelvin in June 2019 and the maximum nighttime LST value was 302.5 degrees Kelvin in June 2019. The maximum thickness of the optical depth of aerosols with a value of 13.79 μg/m³ at a wavelength (0.47 μm) was in July 2019 and its lowest value with a value of 1.57 μg/m³ in a wavelength of (55 /0 μm) was in November 2018. The results of temporal and spatial monitoring of CO, NO₂, H₂O, LST and AOD values give the possibility of a more concrete understanding of spatial and temporal changes of the examined components on a regional macro scale.

Keywords: Atmospheric Pollutants, Carbon Monoxide, Nitrogen Dioxide, Aerosols, Sentinel-5, MODIS

*. Corresponding author: Ata Ghafari Gilandeh E-mail: a_ghafarigilandeh@uma.ac.ir Tel: + 989141557001

How to cite this Article: Ghafari gilandeh, A., & safarian zengir, V. (2023). Estimation and detection of air pollution in the coastal provinces of the Persian Gulf with a regional climate approach. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 101-124.

DOI:10.22067/geoeh.2022.78950.1282



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023


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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78950.1282> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۰۱-۱۲۴

مقاله پژوهشی

تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای

 عطا غفاری گیلانده^۱ - استاد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
وحید صفریان زنگیر - دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۲۷

چکیده

یکی از چالش‌های و مسائل مهم جوی در دهه‌های اخیر در مناطق کلان‌شهرها، آلودگی هوا است که عوامل طبیعی و انسانی مختلفی در ایجاد آن نقش اساسی دارند و اثرات زیان‌باری را روی انسان‌ها و محیط‌زیست می‌گذارد. با توجه به این موضوع تحقیق و بررسی آلودگی هوا مهم و ضروری است. بر این اساس در پژوهش حاضر در برآورد میزان کربن منوکسید و دی‌اکسید نیتروژن و نیز مقدار بخار آب موجود در جو در مقیاس استان‌های جنوبی و جنوب غربی مشرف بر خلیج فارس در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۸، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و در برآورد میزان آئروسول‌ها و مقدار دمای سطح زمین (LST) در گستره مکانی و زمانی مذکور از داده‌های تصاویر سنجنده MODIS استفاده شد. طبق یافته‌های به‌دست آمده، بیشینه غلظت Co با مقدار 0.037 mol/m^2 در آوریل ۲۰۱۹، بیشینه غلظت H_2O با مقدار 37.03 ، 0.00188 mol/m^2 در نوامبر ۲۰۱۸ قرار دارد. بیشینه مقدار روزانه LST با مقدار $32.4/5$ درجه کلوین در ژوئن ۲۰۱۹ و بیش‌ترین مقدار شبانه LST با مقدار $30.2/5$ درجه کلوین در ژوئن ۲۰۱۹ به‌دست آمد. بیشینه مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با

Email: a_ghafarigilandeh@uma.ac.ir

۰۹۱۴۱۵۵۷۰۰۱ نویسنده مسئول:

نحوه ارجاع به این مقاله:

غفاری گیلانده، عطا؛ صفریان زنگیر، وحید؛ ۱۴۰۲. تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب و هوای منطقه‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۱۰۱-۱۲۴

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78950.1282>

مقدار $13/79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در طول موج $(0/47 \mu\text{m})$ در جولای ۲۰۱۹ و کمترین مقدار آن با مقدار $1/57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در نوامبر ۲۰۱۸ در طول موج $(0/55 \mu\text{m})$ قرار دارد. نتایج حاصل از پایش زمانی و مکانی مقادیر AOD ، LST ، H_2O ، NO_2 ، Co ، امکان درک ملموس تری از تغییرات مکانی و زمانی مؤلفه‌های مورد بررسی را در مقیاس کلان منطقه‌ای فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آلاینده‌های جوی، کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن، ائروسول‌ها، Sentinel-5، MODIS.

۱- مقدمه

آب‌وهوای پاک برای زندگی سالم هر موجود زنده‌ای، از غذا و آب ضروری‌تر است و جزء نیازهای مهم یک انسان برای ادامه حیات محسوب می‌شود، اضافه شدن هر عنصری که برای زندگی انسان، جانوران، گیاهان، مضر باشد، آلودگی هوا تلقی می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۹). آلودگی هوا از پیامدهای فعالیت بشر، به‌ویژه در قرن بیستم است که آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر انسان و محیط پیرامون آن دارد. با گسترش شهرها و افزایش جمعیت و فقدان اقدامات کافی در کنترل آلودگی هوا، به تدریج آثار زیان‌بار آن بر محیط‌زیست و انسان، هر چه بیش‌تر آشکار می‌شود (ملاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). آلودگی هوا، به‌ویژه در کلان‌شهرها، اهمیت قابل توجهی دارد. از عوامل تشدیدکننده این مشکل شهری، شرایط جوی و تیپ‌های هوایی حاکم بر شهرهاست (عساکره و احدی، ۱۳۹۹). پایداری هوا و وارونگی دمایی با مانع شدن تبادل هوا بین لایه‌های نزدیک به سطح زمین با لایه‌های بالای جو تأثیر زیادی در آلودگی‌های هوا دارند (هوا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). آلاینده‌های هوا متشکل از ذرات جوی (PM) تهدید عمده‌ای برای محیط‌زیست و سلامت انسان است هم‌چنین آلاینده‌های هوا بر وضعیت مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد و تأثیرات آن‌ها در بین گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت است. استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در ارزیابی و پایش کیفیت هوا در آلودگی آب‌وهوای برای تحقیق‌های مرتبط به محیط‌زیست دارای اهمیت زیادی است. شناخت مواد و ترکیبات آلاینده که در ترازهای مختلف از آلودگی می‌توانند مطرح شوند، پایش و برآورد میزان آلاینده‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی و فضایی، بررسی منشأ آلودگی و ساز و کار شکل‌گیری آن، ارائه راه‌حل‌های مقتضی در مواجهه با شرایط هوای ناسالم و طرح راهکارهای پیشگیرانه در این زمینه؛ از جمله موضوعات مورد اقبال در محافل علمی و مدیریتی هستند که می‌توانند سرفصل‌های مختلفی از پژوهش و تحقیق را در زمینه آمادگی هوا به‌دنبال داشته باشند (عزیزی و قنبری، ۱۳۸۹؛ سبجانی و همکاران ۱۳۹۹)؛ غریبی و شایسته، ۱۴۰۰؛ کرم‌پور و همکاران، ۱۴۰۰؛ سبجانی و صفریان‌زنگیر (۱۴۰۲)؛ راویندرا^۲ و همکاران (۲۰۲۰)؛ عمرانی^۳ و

1 Hu

2 Ravindra

3 Omrani

همکاران (۲۰۲۰)؛ کواچ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اسلام و سایکیا^۲، ۲۰۲۲؛ سونگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ لی^۴ و همکاران، ۲۰۲۲؛ آناند^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). ورود در ادبیات موضوع پژوهش و کنکاش در پیشینه تحقیق، کاشف از دامنه‌ای از تحقیقات متنوعی است که در زمینه تخمین و برآورد آلودگی هوا، به انجام رسیده است. تنوع این مباحث گویای اقبال قابل توجه به این موضوع در محافل آکادمیک و اجرایی است. تحقیقات متعددی در پیش‌زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: **قربانی و همکاران (۱۳۹۱)** در تحقیقی به روش سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس در تهران اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که وجود وابستگی میان محاسبات سنجش‌ازدوری و اندازه‌گیری‌های زمینی، حاکی از قابل‌استفاده بودن تصاویر ماهواره‌ای در نظارت بر وضعیت آلودگی‌هایی از نوع ذرات معلق در مناطق شهری است. **شمسی‌پور و امینی (۱۳۹۲)** به شبیه‌سازی الگوی پراکنش Co با مدل خرداقلمی Envi-met در مسیر آزادی-تهران پارس اقدام نمودند، طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، تمرکز بیشینه آلودگی به‌ویژه در ساعات‌های آغازین روز در بخش‌های با تراکم بافت شهری در موقعیت‌هایی چون چهارراه ولیعصر و ضلع شرقی میدان آزادی وجود دارد. **ثقفی و علی‌اکبری (۱۳۹۳)** در پژوهشی به بررسی تغییرات شبانه‌روزی و فصلی باد و دمای هوا و آلاینده‌های Co و PM10 در لایه سطحی جو شهر تهران اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که Co و PM10 تغییرات فصلی از خود نشان می‌دهند که به شرایط هواشناختی و منابع آلاینده‌ها وابسته است. **نورپور و فیض (۱۳۹۳)** ضمن استفاده از تکنیک‌های ArcGIS به تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های گوگرد دی‌اکسید و دی‌اکسید نیتروژن و انواع ذرات معلق در شهر تهران اقدام کردند طبق نتایج حاصله از مدل LUR، مهم‌ترین عامل موثر در آلاینده‌های NO₂, SO₂ و ذرات معلق PM_{2.5}؛ حجم ترلیفیک تشخیص داده شد، در حالی که مهم‌ترین عامل موثر در آلاینده ذرات معلق PM10 اماکن صنعتی می‌باشد. **سلطانی و همکاران (۱۳۹۴)** در مطالعه‌ای به بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد پرداختند. طبق نتایج تحلیل همدیدی در بررسی مذکور، روزهای بسیار آلوده ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ در شهر مشهد در قالب الگوی پرفشار مهاجر قابل طبقه‌بندی است، در این الگو، شکل‌گیری هم‌زمان چند لایه کم ضخامت وارونگی در زیر تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال مطرح هستند. **مظفری و همکاران (۱۳۹۴)** به تحلیل رابطه الگوهای همدید با میزان آلاینده ذرات معلق و منوکسید کربن در شهر شیراز پرداختند، مطابق با یافته‌های به‌دست آمده روند سالانه و ماهانه میزان آلاینده‌ها در طی دوره آماری نیز نشان‌دهنده روند کاهشی غلظت منوکسیدکربن در طی بازه زمانی مورد مطالعه بود. **جهانی‌چهره‌برق و آخوندزاده‌هنزائی (۱۳۹۶)** به تخمین ضخامت نوری هواویزها بر روی منطقه‌ای از ایران اقدام

1 Kovács

2 Islam and Saikia

3 Song

4 Li

5 Anand

کردند و به این نتیجه رسدند که مقدار RMSE حاصل از مقایسه داده‌های NASA و روش SYNTAM به کمک الگوریتم تکرار نیوتن برای طول موج $0.55 \mu\text{m}$ برابر 0.253 می‌باشد. **کابلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)** در مطالعه‌ای به کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی اقدام نمودند و به این یافته رسدند، بیش‌ترین انحراف مکانی در شاخص DWT با مقدار همبستگی 0.47 با تصویر مرجع مشاهده شد. **شمس‌الدینی و احمدی (۱۳۹۹)** به تخمین مکانی-زمانی آلاینده‌های منوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن در تهران با استفاده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های کمکی اقدام کردند، براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، منوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب با خطای ۱۳ درصد و ۱۱/۵ درصد به صورت زمانی پیش‌بینی شدند. **مرادی‌زاده (۱۳۹۹)** به ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو، به دست آمده از سنجنده AIRS اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که بخار آب ستونی ارتقاء یافته جو ممکن است دقت برآورد LST را افزایش چشم‌گیری دهد. **شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۹)** به بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی پرداختند و به این نتیجه رسدند که ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی برابر 0.15 - است که نشان می‌دهد با افزایش آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن، دید افقی کاهش می‌یابد. **عربی‌علی‌آباد و همکاران (۱۴۰۰)** به مقایسه دقت روش‌های مختلف تخمین بخار آب جو در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸ اقدام نموده و به این نتیجه رسیدند که در میان روش‌های برآورد بخار آب جو، روش Swcvt برای برآورد دمای سطح زمین مناسب‌تر می‌باشد. **باقرآبادی و معین‌الدینی (۱۴۰۰)** روند آزون تروپوسفری شهر کرمانشاه در بازه ۱۰ ساله را با استفاده از پارامترهای هواشناسی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین مقدار آزون تروپوسفری در کم‌ترین مقدار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن رخ می‌دهد و تغییرات غلظت آزون تروپوسفری در طول روز برعکس تغییرات اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن است. **سلیمانی و همکاران (۱۴۰۰)** در پژوهشی به پیش‌بینی عمق نوری آئروسول ماهواره‌ای با استفاده از داده کاوی پارامترهای اقلیمی پرداختند، نتایج این پژوهش نشان داد تکنیک داده کاوی در زمینه پیش‌بینی AOD کارآمد است. **شاه‌محمدی و همکاران (۱۴۰۱)** در تحقیقی به بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان براساس آلاینده دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده با سنجنده اُمی پرداختند. مطابق با بررسی مذکور روند دی‌اکسید نیتروژن برای اصفهان 1.62×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر در هر سال به‌دست آمد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. **والاس و کناروگلو^۱ (۲۰۰۹)** در تحقیقی با استفاده از سنجنده OMI، حساسیت دی‌اکسید نیتروژن در طی وارونگی دمایی را مورد ارزیابی قرار دادند و به این یافته رسدند که مقدار دی‌اکسید نیتروژن نشان داده شده توسط سنجنده OMI کم‌تر از دی‌اکسید نیتروژن مشاهده شده در سطح زمین است. **لامسال^۲ و همکاران (۲۰۱۵)** در پژوهشی ضمن بهره‌گیری از داده‌های جمع‌آوری

1 Wallace and Kanaroglou

2 Lamsal

شده دی‌اکسید نیتروژن توسط سازمان کیفیت هوا ایالات متحده و داده‌های حاصل از سنجنده OMI در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۳ - ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیده‌اند که میزان دی‌اکسید نیتروژن در سال‌های مورد مطالعه، روندی رو به کاهشی داشته است. **اشنایدر^۱ و همکاران (۲۰۱۵)** در تحقیقی، میزان دی‌اکسید نیتروژن در شهرهای بزرگ جهان را در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۲ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در آفریقا و امریکای جنوبی افزایش می‌یابد. **بارکلی^۲ و همکاران (۲۰۱۷)** در پژوهشی، کیفیت هوای خاورمیانه را با به کار گیری سنجنده OMI مورد بررسی قرار دادند و اشاراتی در رابطه با مقدار دی‌اکسید نیتروژن در مکان‌های شهری و وضعیت‌های مورد بررسی در شهرهای بحرین، کویت و امارات متحده عربی داشتند. **ایبتسون^۳ و همکاران (۲۰۲۰)** در پژوهشی به مدل‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامتی منطقه کوچکی در بریتانیا اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که آلودگی هوا و میزان بروز بیماری قلبی (IHD) و مرگ و میر مورد IHD باهم مرتبط می‌باشد. **روحی^۴ و همکاران (۲۰۲۰)** در تحقیقی به تجزیه و تحلیل و مقابله مستقل با آلودگی هوا با استفاده از پهپادهای زیست‌محیطی پرداختند و به این یافته رسیدند که تازگی این سیستم نه تنها آلودگی بیش از حد را تشخیص می‌دهد، بلکه به طور خودکار با آلودگی هوای شناسایی شده در بالای زمین مقابله کرده و آن را کاهش می‌دهد. **تائو^۵ و همکاران (۲۰۲۱)** در تحقیقی با رصدهای ماهواره‌ای و زمینی یکپارچه به ردیابی آئروسول، گرد و غبار غلب بر آلودگی هوا در مرکز چین اقدام کردند. طبق بررسی مذکور ذرات گرد و غبار رایج در طول پاییز در مرکز چین یافت می‌شوند که سهم عمده‌ای در آلودگی هوا دارند. **بودا^۶ و همکاران (۲۰۲۲)** در تحقیقی به کاربرد ماهواره Sentinel-5P TROPOMI برای مطالعات NO₂ و CO با هدف ارزیابی زیست‌محیطی اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که دی‌اکسید نیتروژن با مقدار ۷/Me+۱۵ مول بر سانتی متر مربع بیش‌ترین غلظت را دارا بود. نظریه اهمیت مقوله آلودگی هوا و ادبیات دامنه‌داری که در این حوزه از مسایل زیست‌محیطی وجود دارد، می‌توان گفت که زمینه‌های مختلفی از تحقیق و پژوهش در عرصه شناخت، پایش، برآورد و مواجهه با پدیده آلودگی هوا قابل طرح هستند. در پژوهش حاضر بلیک نگاه کلان منطقه‌ای و در برش فضایی از استان‌های جنوب و جنوب غربی مشرف بر خلیج فارس (شامل استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و با استفاده عملیاتی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و داده‌های سنجنده MODIS، سعی شده است به پایش و برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و بخار آب و نیز برآورد میزان آئروسول‌ها و دما در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹؛ پرداخته شود.

1 Schneider

2 Barkley

3 Ibbetson

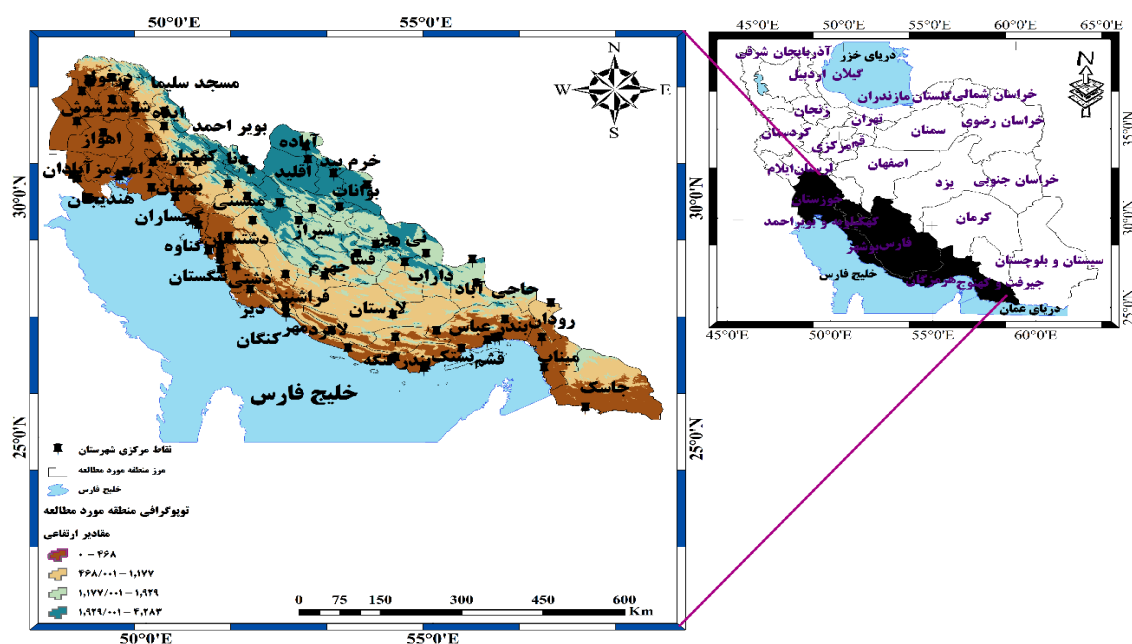
4 Rohi

5 Tao

6 Bodah

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در چهارچوب موضوعی تحقیق و مطالعه آلودگی هوا درمقیاس فضایی استان‌های جنوبی و جنوب‌غربی مشرف بر سواحل خلیج فارس (مشمول بر استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حداصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، صورت عملیاتی به خود گرفت (شکل ۱). در چهارچوب موضوعی، جغرافیایی و زمانی مذکور به بررسی میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن، آئروسول‌ها پرداخته شد. همچنین بررسی مقدار بخار آب موجود در جو و وضعیت دما در بازه زمانی انتخاب شده که می‌تواند به نوعی در ارتباط با شرایط آلودگی هوا قرار داشته باشند، بخش دیگری از فرایند تحقیق بود. در برآورد میزان کربن منوکسید و دی‌اکسید نیتروژن و نیز مقدار بخار آب موجود در جو از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و در برآورد میزان آئروسول‌ها و مقدار دما از داده‌های سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua قرار دارد، استفاده به عمل آمد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور

۲-۱- ماهواره Sentinel 5 Precursor (S5P)

در پژوهش حاضر برای برآورد آلاینده‌های جوی از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ و سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua استفاده شد. برآورد تراکم کربن منوکسید بر پایه داده‌های ماهواره سنتینل-۵ با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری مطرح هست و مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم ستون کربن منوکسید بین ۲۷۹- تا

۴/۶۴ (mol/m^2) مول بر مترمربع قرار دارد که بازه زمانی آن از اول نوامبر سال ۲۰۱۸ شروع می‌شود. مونوکسید کربن (Co) یک گاز مهم ردیابی جوی برای درک ما از شیمی تروپوسفر می‌باشد که در برخی از مناطق شهری، آلاینده اصلی جو است. منابع اصلی Co عبارتند از: احتراق سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زیست توده و سایر هیدروکربن‌ها می‌باشد این در حالی است که احتراق سوخت فسیلی منبع اصلی Co در عرض‌های جغرافیایی میانی شمالی و سوزاندن زیست توده نقش مهمی در مناطق استوایی ایفا می‌کند، ماهواره Sentinel 5 Precursor (S5P) فراوانی جهانی مونوکسید کربن را با بهره‌برداری از اندازه‌گیری‌های تشعشع زمین در آسمان صاف و ابری در محدوده طیفی ۲/۳ میکرومتر بخش مادون قرمز موج کوتاه (Swir) از طیف خورشیدی ثبت می‌کند (صفریان‌زنگیر^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). ماهواره Sentinel-5P TROPOMI، ثبت ستون‌های کل Co را با حساسیت بالا در لایه مرزی تروپوسفر در آسمان صاف فراهم می‌کند. برای جوهای ابری، حساسیت ستون‌ها، با توجه به مسیر نور تغییر می‌کند. برآورد تراکم دی‌اکسید نیتروژن نیز بر پایه داده‌های ماهواره سنتینل ۵- با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری مطرح است و مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم حجم دی‌اکسید نیتروژن بین $0/0006^*$ تا $0/0096^*$ (mol/m^2) مول بر متر مربع قرار دارد که بازه زمانی آن از اول ماه جولای سال ۲۰۱۸ شروع می‌شود. اکسیدهای نیتروژن؛ اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن (NO و NO_2) از گازهای کمیاب مهمی در جو زمین هستند که هم در تروپوسفر و هم در استراتوسفر وجود دارند. اکسیدهای نیتروژن مذکور در نتیجه فعالیت‌های انسانی (به‌ویژه احتراق سوخت‌های فسیلی و سوزاندن زیست توده) و فرآیندهای طبیعی (آتش‌سوزی، رعد و برق و فرآیندهای میکروبیولوژیکی در خاک) وارد جو می‌شوند. در این‌جا، NO_2 برای نشان دادن غلظت اکسیدهای نیتروژن جمع‌ی استفاده می‌شود، زیرا در طول روز، یعنی زمانی که نور خورشید وجود دارد، یک چرخه فتوشیمیایی شامل ازن (O_3)؛ NO راجه NO_2 و بالعکس در مقیاس زمانی چند دقیقه تبدیل می‌کند. درنهایت برآورد تراکم ستون بخار آب موجود در جو بر پایه داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۵- با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری صورت گرفته است و مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم ستون بخار آب موجود در جو بین $65360-6$ تا 34584412 (mol/m^2) مول بر مترمربع قرار دارد که بازه زمانی داده‌های آن از اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ می‌باشد.

۲-۲- سنجنده MODIS مستقر روی ماهواره‌های Terra و Aqua

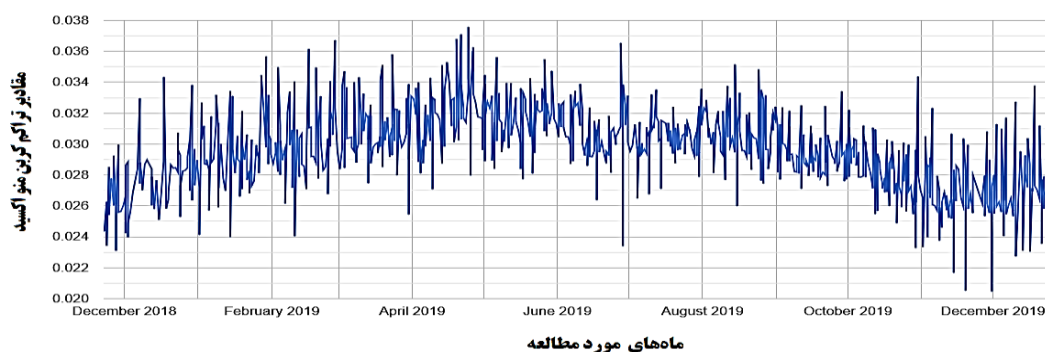
در این پژوهش، در برآورد مربوط به آئروسول‌ها از داده‌های سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua قرار دارد، استفاده شد. داده‌های مذکور با تفکیک‌پذیری و دقت ۱۰۰۰ متر و در طول موج‌های باندهای آبی ($0/47 \mu\text{m}$) میکرومتر و سبز ($0/55 \mu\text{m}$) میکرومتر در نظر گرفته می‌شود. مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار آئروسول‌ها در هر دو طول موج‌های باندهای مذکور بین ۱۰۰- تا 5000 ($\mu\text{g/m}^3$) میکروگرم بر متر مکعب قرار دارد

که در بررسی عمق اپتیکی آئروسول‌ها لحاظ می‌شود. هم‌چنین از داده‌های سنجنده MODIS در برآورد سری زمانی آماری و تصاویر ماهواره‌ای دمای سطح زمین در روز و دمای سطح زمین در شب استفاده شد. داده‌های مذکور با دقت تفکیک‌پذیری ۱۰۰۰ متری لحاظ گردید و مقیاس دمای روزانه و شبانه LST بین ۷۵۰۰ تا ۶۵۵۳۵ (Kelvin)، کلون می‌باشد (سبحانی و صفریان‌زنگیر، ۲۰۲۰). محصول MOD11A2 V6 میانگین دمای ۸ روزه سطح زمین (LST) را در یک شبکه ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری فراهم می‌کند. هر مقدار پیکسل پروداکت MOD11A2 در سنجنده MODIS میانگین ساده‌ای از تمام پیکسل‌های MOD11A1 LST مربوطه می‌باشد که در یک دوره ۸ روزه جمع‌آوری می‌شود. دوره ترکیب ۸ روزه به این دلیل انتخاب شده که دو برابر این دوره، دوره دقیق تکرار مسیر زمینی سکوه‌های Terra و Aqua است. در این محصول به همراه باندهای دمای روز و شب سطح زمین و لایه‌های نشان‌گر کیفیت (QC) آن‌ها، باندهای ۳۱ و ۳۲ و هشت لایه مشاهده‌ای MODIS نیز وجود دارد.

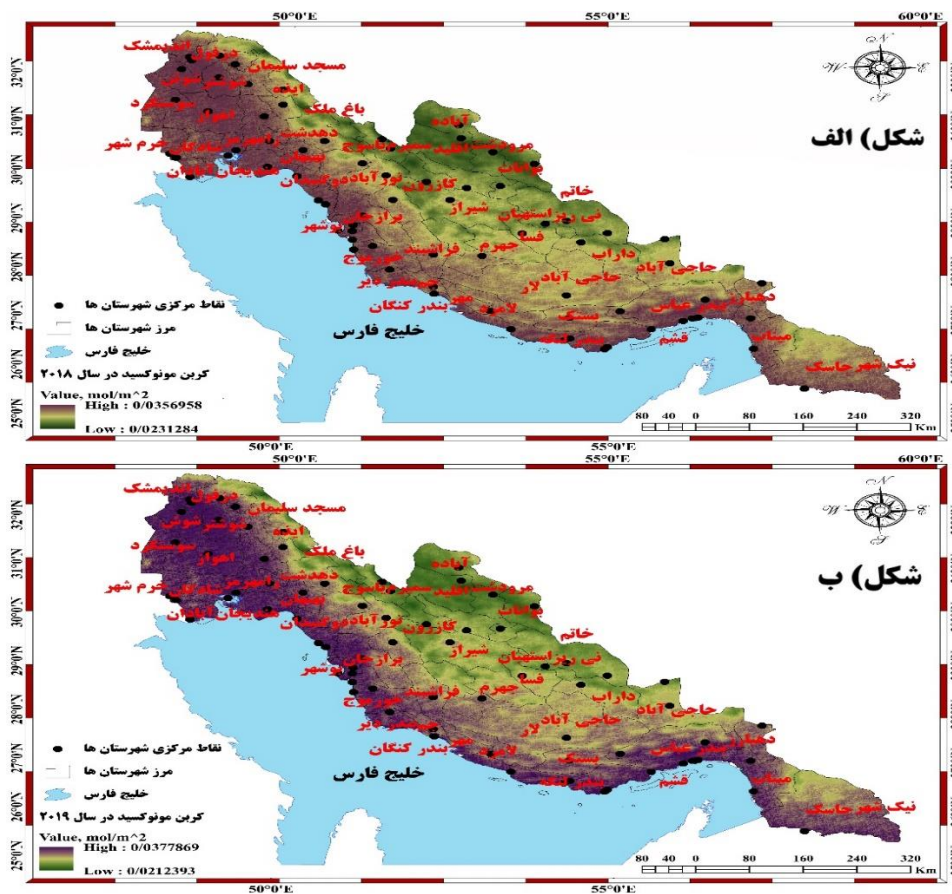
۳- نتایج و بحث

برآورد مولفه‌های مربوط به میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و آئروسول‌ها که در کنار ترکیبات دیگری چون دی‌اکسید گوگرد، ازن و سرب از زمینه‌های برجسته شکل‌گیری آلودگی هوا هستند و نیز برآورد میزان بخار آب و دما که می‌توانند در ارتباط با شرایط آلودگی هوا مطرح باشند از مباحث اصلی در پژوهش حاضر هستند. در بررسی حاضر در مقیاس فضایی استان‌های جنوبی و جنوب غربی مشرف بر سواحل خلیج فارس (استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 در برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و بخار آب و از داده‌های سنجنده MODIS در برآورد میزان آئروسول‌ها و دما استفاده به عمل آمد که با بازنمایی نموداری و گرافیک از نتایج بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مذکور؛ همراه بود. در ادامه به بیان نتایجی از یافته‌های پژوهش و ارایه خروجی‌های به‌دست آمده از بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های به عمل آمده، پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کربن منوکسید به عنوان یکی از آلاینده‌های جوی در منطقه مورد مطالعه، در بازه زمانی ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹، بیش‌ترین مقدار کربن منوکسید بالغ بر ۰/۰۳۵ (mol/m²) مول بر متر مربع مربوط به روز هجدهم دسامبر سال ۲۰۱۸ می‌باشد و کم‌ترین مقدار کربن منوکسید به ترتیب با مقادیر بالغ بر ۰/۰۲۴ و ۰/۰۲۳ مول بر متر مربع در روزهای بیست و هفتم و بیست و هشتم نوامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد (شکل ۲). در این مقطع زمانی یعنی سال ۲۰۱۸، در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین مناطق درگیر آلودگی کربن منوکسید مربوط به پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای اهواز، شوشتر، دزفول، اندیمشک، آبادان و بوشهر می‌باشد در صورتی که پهنه‌های کم‌تر درگیر با آلودگی کربن منوکسید در مناطق دورتر از ساحل خلیج فارس، یعنی حوالی محدوده شهرهایی چون آباده، مرو دشت، اقلید، بوانات و سمیرم واقع شده است (شکل الف - ۳). خروجی کربن منوکسید در سال

۲۰۱۹ بیان‌گر این است که بیست و هشتم آوریل سال ۲۰۱۹ با مقدار $0/037$ مول بر مترمربع، بیش‌ترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشد، درحالی‌که بیست و دوم نوامبر سال ۲۰۱۹ با مقدار $0/021$ مول بر مترمربع کم‌ترین مقدار آلودگی کربن منوکسید را شامل شد (شکل ۲). در ماه‌های مورد مطالعه سال ۲۰۱۹ در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، دزفول، اهواز، بوشهر و هندیجان بیش‌ترین پهنه‌های آلوده به کربن منوکسید را شامل شدند؛ این در حالی است که پهنه‌های واقع در حوالی شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس مانند اقلید، سمیرم، یاسوج، بوانات، مرودشت و آباده کم‌ترین مقدار آلودگی را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۳)، با در نظر گرفتن خروجی مربوط به میزان کربن منوکسید، بیش‌ترین تراکم آن مربوط به ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن می‌باشد و شدت آن در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸ بیش‌تر می‌باشد. بررسی میزان منوکسید کربن در پهنه‌بندی کلان منطقه‌ای از محدوده مورد مطالعه، گویای مقادیر مختلف و شدت و مدت متفاوت این آلاینده در موقعیت‌های مکانی و مقاطع زمانی مورد بررسی است و تصویر ملموس‌تری از تغییرات مکانی و زمانی این آلاینده را در مقیاس کلان منطقه‌ای به نمایش می‌گذارد.



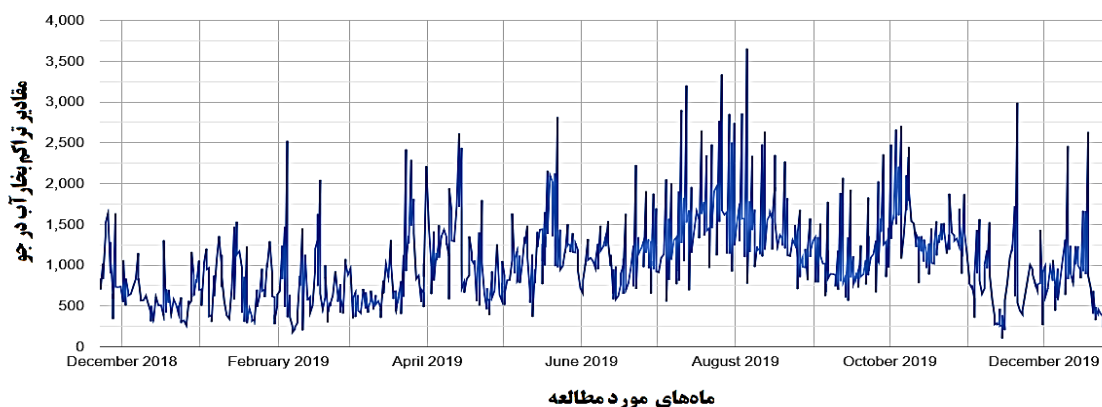
شکل ۲- نمودار تغییرات کربن منوکسید در محدوده مورد بررسی طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



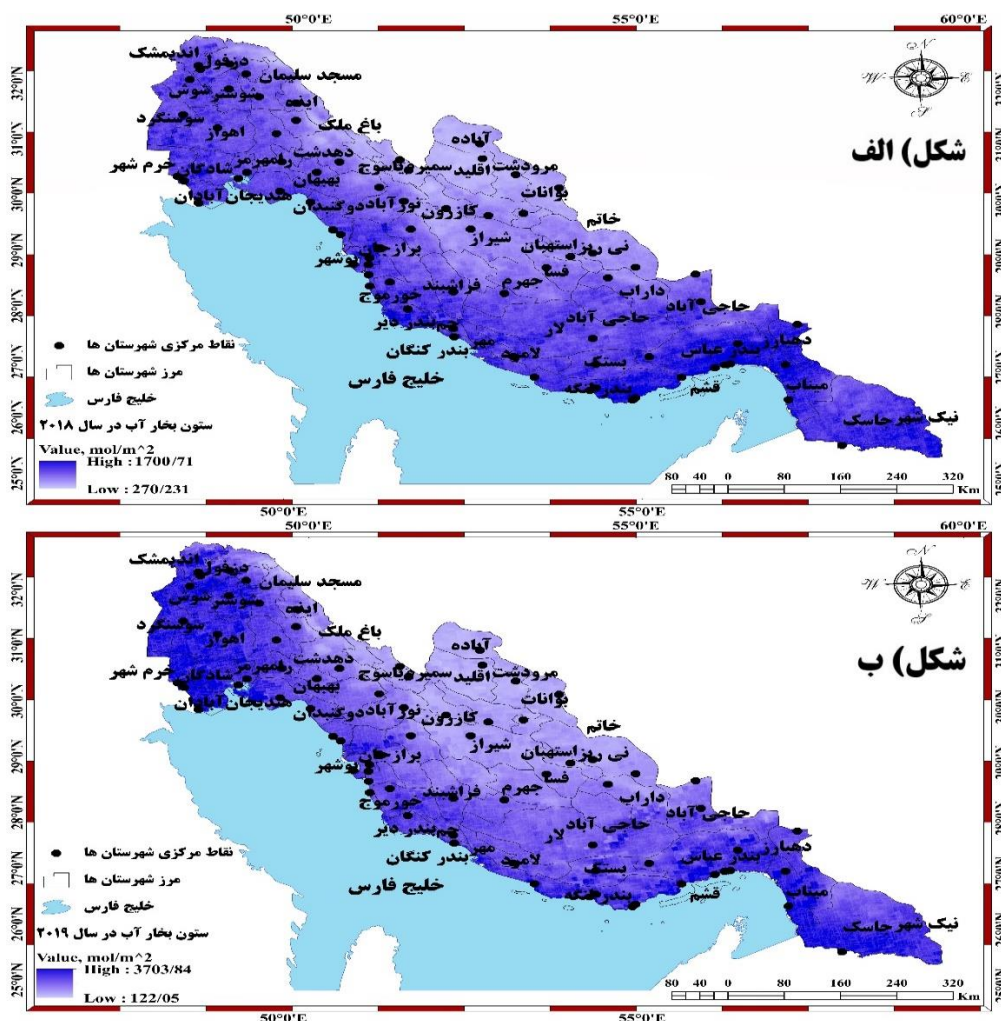
شکل ۳- پهنه‌بندی میزان کربن مونوکسید در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

باتوجه به نتایج تحلیل و بررسی خروجی مربوط به وضعیت بخار آب از ماهواره ستینل -۵ در بازه زمانی حد فاصل اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا ماه دسامبر سال ۲۰۱۹؛ بیش‌ترین مقدار بخار آب موجود در جو در روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۱۸ با مقدار ۱۷۰۰ مول بر مترمربع و کم‌ترین آن با مقدار ۲۷۰ مول بر مترمربع در روز بیست و نهم دسامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد (شکل ۴). براساس تصاویر ماهواره‌ای ستینل -۵ به‌دست آمده از تراکم ستون بخار آب موجود در جو؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون بندر دیر، بوشهر، بندر لنگه، آبادان، خرمشهر و هندیجان؛ بیش‌ترین مقدار تراکم ستون بخار آب موجود در جو را به خود اختصاص دادند این درحالی است که پهنه‌هایی چون محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای شیراز، کازرون، اقلید و یاسوج، کم‌ترین مقدار بخار آب موجود در جو را شامل شدند (شکل الف - ۵). نتایج به‌دست آمده از بررسی مقدار بخار آب موجود در جو در ماه‌های سال ۲۰۱۹؛ بیان‌گر این مطلب می‌باشد که بیش‌ترین مقدار بخار آب موجود در جو با مقدار ۳۷۰۳ مول برمترمربع در روز سوم ماه آگوست و کم‌ترین تراکم بخار آب موجود در جو با مقدار ۱۲۲ مول برمترمربع در روز

چهاردهم نوامبر قرار دارد؛ این در حالی است که علاوه بر روزهای ماه آگوست، روزهای ماه جولای نیز دارای بیشترین مقدار تراکم بخار آب موجود در جو می‌باشد (شکل ۴). براساس خروجی مربوط به تصاویر ماهواره‌ای تراکم بخار آب موجود در جو در سال ۲۰۱۹، پهنه‌هایی واقع در حوالی شهرهایی چون آبادان، شادگان، خرمشهر، بوشهر، خورموج، بندرلنگه و میناب دارای بیشترین مقدار تراکم بخار آب موجود در جو هستند، این در صورتی است که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون استهبان، کازرون، نیریز، فسا، مرودشت و آباده دارای کمترین مقدار بخار آب موجود در جو هستند (شکل ب - ۵). شرایط متفاوت میزان بخار آب در مقاطع زمانی مختلف و در نقاط مختلف از ظرف فضایی محدوده مورد مطالعه که بازنمایی نموداری و فضایی آن در این قسمت مورد توجه قرار گرفت، می‌تواند در ارتباط با مولفه‌هایی چون میزان دما و سرعت باد مطرح شده و شرایط متفاوتی از وضعیت آسایش و وضعیت زیست اقلیمی را در پی داشته باشد. ترکیبات آلاینده‌های اعم از دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد می‌توانند در اختلاط با بخار آب، ایجاد مه دود را به همراه داشته باشند که در شرایط وارونگی هوا، سکون هوا و افزایش نشت آلاینده‌ها صورت جدی‌تری به خود می‌گیرند. از سوی دیگر ترکیبات آلاینده مذکور می‌توانند در واکنش با بخار آب موجود در جو، ترکیبات جدیدی چون ترکیبات اسیدی و بارش‌های اسیدی را به دنبال داشته باشند.



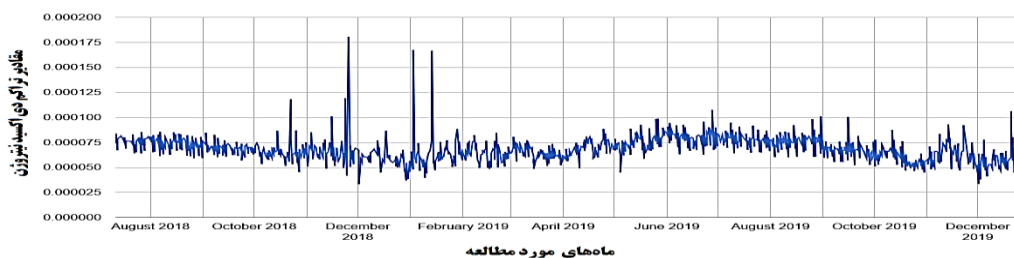
شکل ۴- نمودار تغییرات بخار آب موجود در جو در محدوده استان‌های مورد بررسی طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



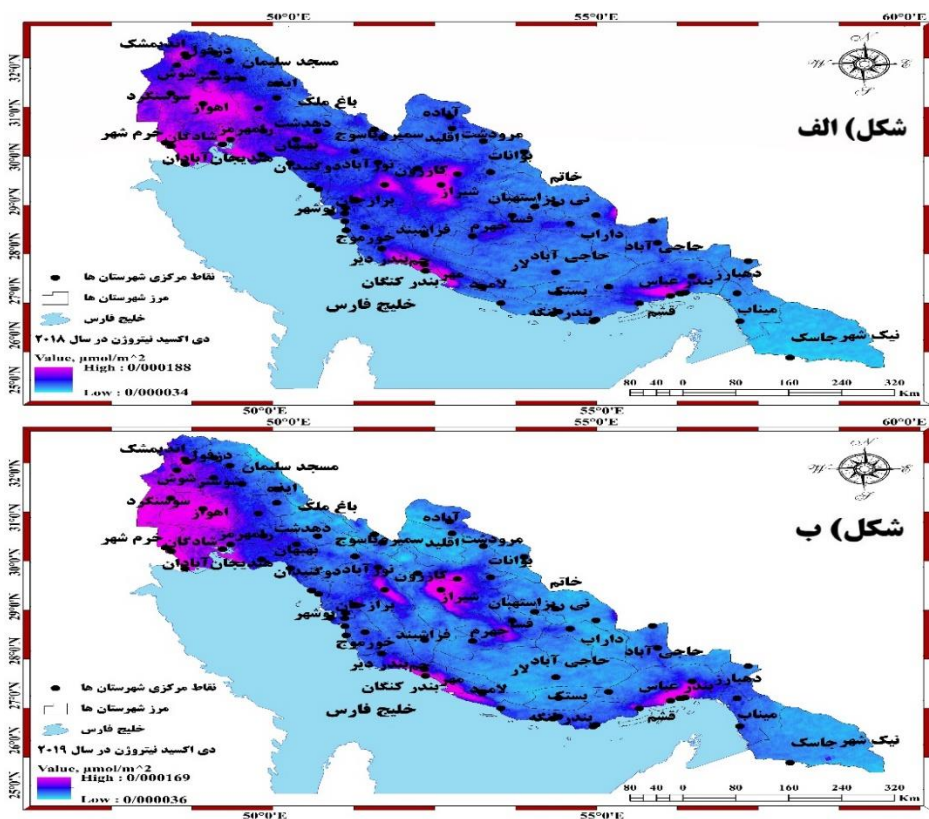
شکل ۵- پهنه‌بندی بخار آب موجود در جو در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

باتوجه به بررسی خروجی و نتایج نمودارها و تصاویر ماهواره‌ای ستینل ۵- در رابطه با تراکم دی‌اکسید نیتروژن که در مقیاس آهاری بین *۰/۰۰۰۶ تا *۰/۰۰۹۶ (mol/m²) مول بر متر مربع و در بازه زمانی حلفاصل اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹ به‌دست آمد؛ بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۸ با مقدار ۰/۰۰۰۱۸۸ مول بر مترمربع در روز بیست و هشتم ماه نوامبر و کم‌ترین آن با مقدار ۰/۰۰۰۰۳۴ مول بر مترمربع در روز یکم دسامبر به دست آمد، علاوه بر روزهای ماه نوامبر، روزهای ماه اکتبر نیز دارای بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۸ بودند (شکل ۶). براساس خروجی تصاویر ماهواره‌ای ستینل ۵- در سال ۲۰۱۸، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، آبادان، خرمشهر، دزفول، اندیمشک در استان خوزستان و نیز محدوده‌هایی در پیرامون ساحلی خلیج فارس از جمله پهنه‌های واقع در حوالی شهرهای جم، بندر دیر، بندر کنگان و بندر عباس، همراه

با موقعیت‌هایی در محدوده‌های میانی از مناطق مورد مطالعه در استان فارس از جمله محدوده‌هایی در حوالی شهرهای شیراز، کازرون و برازجان، دارای بیش‌ترین غلظت دی‌اکسید نیتروژن می‌باشند، این درحالی است که موردهای دیگری از شهرهای حاشیه‌ای خلیج فارس و موردهای از محدوده‌های دورتر از ساحل خلیج فارس مانند محدوده‌های واقع در حوالی داراب، نیریز، استهبان، آباد، باغ ملک، بوانات، فسا و جهرم، کم‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن را به خود اختصاص دادند (شکل الف - ۷). براساس خروجی آماری غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹، بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب با مقدار $0/000168$ مول بر مترمربع و $0/000165$ مول بر مترمربع در روزهای دوم و سیزدهم ژانویه می‌باشد. در حالی که کم‌ترین میزان دی‌اکسید نیتروژن با مقدار بالغ بر $0/000036$ مول بر مترمربع در روز یکم ژانویه به دست آمد (شکل ب - ۶). با در نظر گرفتن خروجی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شادگان، سوسنگرد، خرمشهر، هندیجان و آبادان در استان خوزستان و نیز پهنه‌هایی از محدوده‌های ساحلی و نزدیک خلیج فارس از جمله محدوده‌هایی در حوالی جم، بندر دیر، بندر عباس و کنگان؛ همراه با برخی از پهنه‌های واقع در محدوده‌های میانی منطقه مورد مطالعه در استان فارس مانند محدوده‌هایی در حوالی شیراز، برازجان و کازرون با غلظت بالاتری از دی‌اکسید نیتروژن مشخص شدند. درحالی که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای مانند آباد، اقلید، یاسوج، باغ‌ملک، لار، حاجی‌آباد و نیریز، مقدار کم‌تری از غلظت دی‌اکسید نیتروژن را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۷). براساس خروجی آماری و تصاویر ماهواره‌ای غلظت دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های مورد مطالعه در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹؛ شدت مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های سال ۲۰۱۸ بیش‌تر از سال ۲۰۱۹ می‌باشد. دی‌اکسید نیتروژن به مانند دی‌اکسید گوگرد می‌تواند در شرایط محیطی مربوطه با اشکال خاصی از مه دود و بارش اسیدی همراه باشد. دی‌اکسید نیتروژن یکی از ترکیبات اصلی آلاینده هوا محسوب شده و وضعیت این آلاینده به لحاظ غلظت، منابع نشأت آلاینده، عوارض حاصل از آن و اقداماتی که در این رابطه می‌توان داشت از مباحث مورد اقبال در بحث‌های مدیریتی، زیست‌محیطی و دانشگاهی است. در پژوهش حاضر، یک بازنمایی کلان از تفاوت پهنه‌های مختلف از استان‌های مورد مطالعه، به لحاظ غلظت دی‌اکسید نیتروژن و هم‌چنین یک بازنمایی نموداری از وضعیت این ترکیب در ماه‌های مختلف از بازه زمانی مورد بررسی به نمایش گذاشته شد. رهگیری این برآوردها می‌تواند یک دید کلان از کلیت وضعیت این آلاینده را در سطح منطقه به نمایش بگذارد.



شکل ۶- نمودار تغییرات دی اکسید نیتروژن در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)

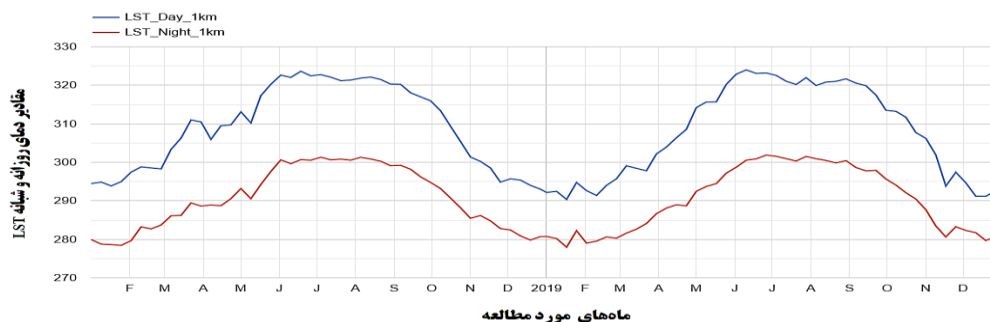


شکل ۷- پهنه بندی غلظت دی اکسید نیتروژن در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال های ۲۰۱۹-۲۰۱۸

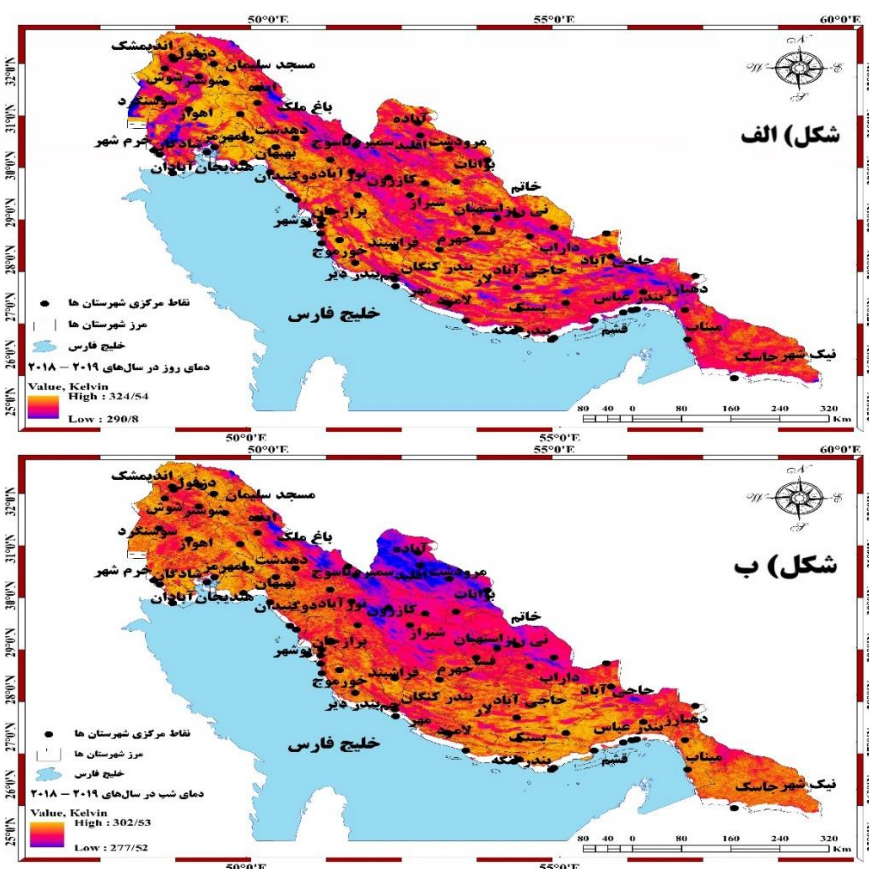
۲۰۱۸

با توجه به ارتباطی که می تواند بین میزان دما و شرایط آلودگی هوا وجود داشته باشد، در این پژوهش به بررسی دمای شبانه و روزانه با شاخص LST پرداخته شد. نتایج به دست آمده از پایش تغییرات روزانه و شبانه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۴ ماهه (ژانویه ۲۰۱۸ تا دسامبر ۲۰۱۹)، بیانگر این مطلب است که بیشترین مقدار دمای روزانه در حد ۳۲۳/۵ درجه کلون در روز بیست و ششم ژوئن در سال ۲۰۱۸ می باشد. علاوه بر ماه

ژوئن سایر ماه‌های دیگر مانند جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر، ماه‌های گرم سال بودند و کم‌ترین میزان دمای روزانه، با مقدار ۲۹/۵ درجه کلون در روز بیست و ششم ژانویه به دست آمد و ماه‌های فوریه، مارس و آوریل از جمله ماه‌های سرد سال بودند. در صورتی که خروجی دمای شبانه سال ۲۰۱۸ به این شکل می‌باشد که بیش‌ترین مقدار دمای شبانه در حد ۳۰/۱ درجه کلون در روز پنجم آگوست قرار دارد و کم‌ترین میزان آن با مقدار ۲۷/۵ درجه کلون در بیست و هشتم ژانویه به دست آمد (شکل ۸). هم‌چنین خروجی بررسی سری زمانی ماهانه دمای روزانه سال ۲۰۱۹ با برآورد بیش‌ترین مقدار دمای ۳۲/۵ درجه کلون در روز دوازدهم ماه ژوئن و کم‌ترین آن در دمای روزانه با مقدار ۲۹/۰ درجه کلون در روز شانزدهم ژانویه، همراه است، علاوه بر ماه ژوئن؛ ماه‌های جولای، آگوست، سپتامبر در سال ۲۰۱۹، شامل ماه‌های گرم و ماه‌های فوریه، مارس و آوریل شامل ماه‌های سرد سال بودند. بیش‌ترین مقدار دمای شبانه در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ در روز بیست و هشتم ماه ژوئن به ۳۰/۲ درجه کلون رسیده است و کم‌ترین آن در روز شانزدهم ژانویه در حد ۲۷/۵ درجه کلون اخذ شد (شکل ۸). براساس نتایج تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua دمای روزانه در مناطق مورد پژوهش در دامنه‌ای از مقادیر طی دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ به دست آمد. پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی اهواز، اندیمشک، شوش و دزفول در استان خوزستان و هم‌چنین محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون برازجان، نورآباد، بندرکنگان و بوشهر محدوده‌هایی بودند که دمای بیش‌تر را به خود اختصاص دادند و پهنه‌هایی چون محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای یاسوج، اقلید، نیریز، داراب و شادگان از جمله محدوده‌هایی بودند که دمای کم‌تر را شامل شدند (شکل الف - ۹). در بررسی نتایج تصاویر مستخرج شده از سنجنده MODIS در رابطه با دمای شبانه طی دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای شوش، اندیمشک، بندرعباس و جاسک بیش‌ترین دمای شبانه را به خود اختصاص دادند. این در حالی است که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای اقلید، آباد، کازرون، مرودشت و باغ‌ملک کم‌ترین دمای شبانه را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۹). براساس نتایج کلی بررسی سری زمانی دمای ۲۴ ماهه سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، شدت دمای روزانه سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ با مقدار ۳۲/۵ درجه کلون نسبت به سال ۲۰۱۸ بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین دمای شبانه سال ۲۰۱۹ با مقدار ۳۰/۲ درجه کلون شدت بیش‌تری را نسبت به سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. بررسی دامنه تغییرات دما و تفاوت‌های فضایی - زمانی آن می‌تواند با آهنگ تغییرات شرایط محیطی و شرایط زیستی همراه باشد. باز نمود تغییرات فضایی - زمانی این پدیده که در بررسی حاضر در یک زمینه تجربی به نمایش گذاشت نمایش ملموس‌تری را از وضعیت تغییرات دما در نگاه کلان منطقه‌ای به نمایش درآورد. موضوعاتی چون وضعیت دمایی و وارونگی دما دارای تاثیرات شناخته شده‌ای در ایجاد واکنش‌ها، ایجاد شرایط آلودگی و انباشت آلاینده‌ها هستند که مباحث مربوطه را می‌توان در ادبیات مربوط به آلودگی هوا دنبال کرد.



شکل ۸- نمودار تغییرات دمای روزانه و شبانه در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)

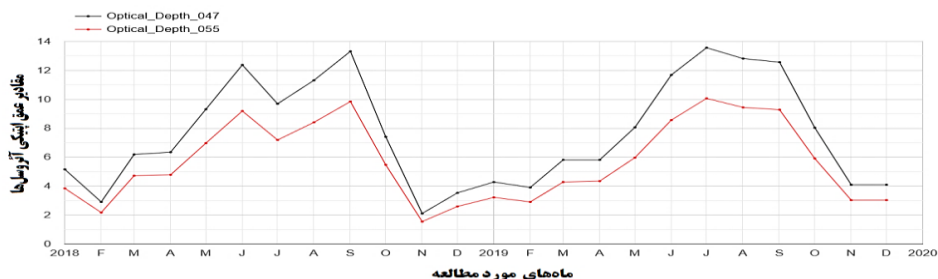


شکل ۹- پهنه‌بندی دمای روزانه در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۲۴ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

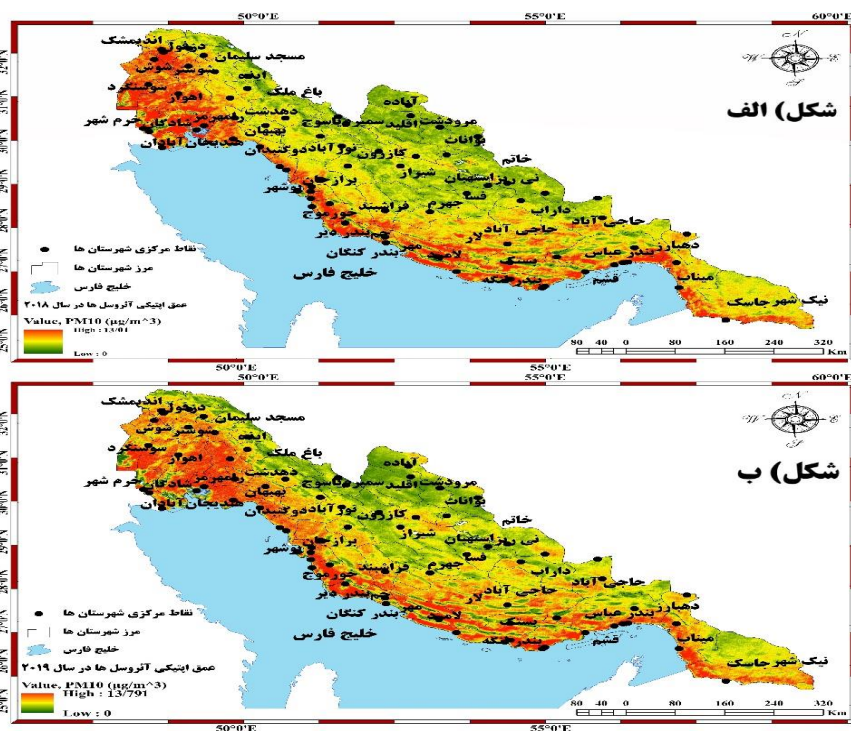
براساس نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در بازه زمانی ماه ژانویه سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹ با طول موج‌های $0.47 \mu\text{m}$ و $0.55 \mu\text{m}$ در سال ۲۰۱۸، بیش‌ترین مقدار ضخامت آن در طول موج باند آبی ($0.47 \mu\text{m}$ میکرومتر) با مقدار $13/01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه سپتامبر و کم‌ترین آن با مقدار ۲ میکروگرم بر متر مکعب در ماه نوامبر اخذ شد. این درحالی است که ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها براساس طول موج باند سبز ($0.55 \mu\text{m}$)

میکرومتر) پایین‌تر از مقدار آن در باند آبی ($0/47$ میکرومتر) است و در بیش‌ترین مقدار آن در ماه سپتامبر، بالغ بر 10 میکروگرم بر متر مکعب و در کم‌ترین مقدار آن در ماه نوامبر بالغ بر $1/57$ میکروگرم بر متر مکعب در سال 2018 می‌باشد. علاوه بر ماه سپتامبر؛ ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست سال 2018 نیز دارای ضخامت بیش‌تر عمق اپتیکی آئروسول‌ها می‌باشند (شکل ۱۰). با در نظر گرفتن خروجی ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2018 ؛ پهنه‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شوش، سوسنگرد، آبادان، دزفول، خورموج، بندر دیر و بوشهر بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کم‌ترین مقدار ضخامت آن در حوالی محدوده‌هایی چون شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی شهرهای آباده، اقلید، مرودشت، یاسوج و باغ‌ملک واقع شده‌اند (شکل الف - ۱۱). مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2019 ؛ در طول موج باند آبی ($0/47$ میکرومتر) در بیش‌ترین مقدار خود یعنی $13/79$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه جولای و کم‌ترین آن با مقدار $3/98$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه فوریه به دست آمد؛ براساس خروجی طول موج سبز ($0/55$ میکرومتر) بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار 10 میکروگرم بر متر مکعب در ماه جولای و کم‌ترین آن با مقدار $2/99$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه فوریه قرار دارد. علاوه بر ماه جولای؛ ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر سال 2019 نیز دارای ضخامت بیش‌تر عمق اپتیکی آئروسول‌ها می‌باشند (شکل ۱۰). باتوجه به نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2019 ؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، دزفول، شوش، بوشهر، بندر لنگه و میناب؛ بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کم‌ترین مقدار آن در حوالی شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی در پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای باغ‌ملک، بوانات، کازرون، مرودشت و داراب قرار دارد (شکل ب - ۱۱). با در نظر گرفتن خروجی هر دو طول موج باندهای موج‌های $0/47 \mu\text{m}$ و $0/55 \mu\text{m}$ در سال‌های مورد مطالعه 24 ماهه؛ شدت ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در ماه‌های آئروسول‌خیز در سال 2019 نسبت به ماه‌های آئروسول‌خیز در سال 2018 بیش‌تر است. ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در پژوهش حاضر با طول موج‌های $0/47 \mu\text{m}$ و $0/55 \mu\text{m}$ مورد بررسی قرار گرفت، هر چقدر طول موج‌ها بزرگ‌تر باشد ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها به شدت کاهش پیدا می‌کند، باتوجه به این مطلب مقدار عمق اپتیکی آئروسول‌ها در طول موج باند سبز ($0/55$ میکرومتر) پایین‌تر از مقدار آن در باند آبی ($0/47$ میکرومتر) می‌باشد. آئروسول‌ها یا هواویزها که در شکل ذرات ریز معلق شامل گرد و غبار، دوده و واریزه‌های هوایی، در ترکیب اتمسفر جای می‌گیرند در غلظت‌های مربوطه می‌توانند زمینه‌ساز هوای ناسالم، کدر و آلوده برای افراد جامعه به‌خصوص بیماران تنفسی باشند. شهرها و مناطقی که در سیطره هجوم ریزگردها و گرد و غبار قرار دارند با چالش‌های جدی زیست‌محیطی روبه‌رو هستند. همان‌گونه که در راهنمای نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده از وضعیت آئروسول‌ها در استان‌های مورد مطالعه، نشان داده شده است، برآورد مذکور بر مبنای PM_{10} قرار دارد که به

ذرات معلق با کم‌تر از قطر ۱۰ میکرون اطلاق می‌شود. گردش چشم روی نقشه پهنه‌بندی میزان آئروسول‌ها که در نگاه کلان منطقه‌ای از پدیده مذکور مطرح می‌شود، می‌تواند تداعی کننده چالش‌های زیست‌محیطی باشد که در مناطق با میزان بالای آئروسول‌ها رخ نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات آئروسول‌ها در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



شکل ۱۱- پهنه‌بندی عمق اپتیکی آئروسول‌ها در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر در برش فضایی از استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹؛ به ارزیابی و برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید

نیترژن و آژوسل‌ها و همچنین به بررسی مقدار بخار آب در جو و وضعیت دما که می‌توانند به نوعی در ارتباط با شرایط آلودگی هوا قرار داشته باشند؛ پرداخته شد. استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 در برآورد تراکم کربن منوکسید، تراکم دی‌اکسید نیترژن و تراکم بخار آب موجود در جو و نیز استفاده از داده‌های سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua در بررسی ضخامت آژوسل‌ها و LST دمای روزانه و شبانه سطح زمین در بازه زمانی مورد اشاره به عنوان مبنای کار در تغذیه داده‌های مورد نیاز در فرایند تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شد. بررسی‌ها با یافته‌های متعددی همراه بود که در مباحث قبلی مورد اشاره قرار گرفت. فشرده‌ای از نتایج اصلی تحقیق در چند محور قابل ارایه می‌باشد که عبارتند از:

- یافته‌های به‌دست آمده از تحلیل و بررسی غلظت آلاینده جوی کربن منوکسید در بازه زمانی مورد مطالعه در حدفواصل سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بیان‌گر آن است که بیشینه آن در حد $0/037 \text{ mol/m}^2$ ، در بیست و هشتم ماه آوریل سال ۲۰۱۹ و کمینه آن در حد $0/021 \text{ mol/m}^2$ ، در روز بیست و دوم ماه نوامبر سال ۲۰۱۹ به دست آمد. براساس نتایج یافته‌های حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز و دزفول بیش‌ترین مقدار غلظت کربن منوکسید را شامل شدند در حالی که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون آباده، مرودشت، یاسوج و اقلید کم‌ترین مقدار غلظت کربن منوکسید را دارا بودند.
- نتایج حاصل شده از ارزیابی و تحلیل غلظت و تراکم بخار آب موجود در جو در بازه زمانی مورد بررسی در منطقه مورد پژوهش، گویای این نکته است که بیش‌ترین H_2O در حد 3703 mol/m^2 ، در روز سوم ماه آگوست سال ۲۰۱۹ و کم‌ترین مقدار H_2O در حد 122 mol/m^2 ، در روز چهاردهم نوامبر سال ۲۰۱۹ اخذ شد. خروجی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، در ارزیابی غلظت و تراکم بخار آب موجود در جو بیان‌گر این است که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شادگان، خورموج و آبادان، بیش‌ترین مقدار H_2O را به خود اختصاص دادند؛ این در حالی است که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای نیریز، فسا و آباده، کم‌ترین مقدار تراکم H_2O را شامل شدند.
- تجزیه و تحلیل آلاینده جوی، دی‌اکسید نیترژن در ماه‌های مورد مطالعه در استان‌های جنوبی و جنوبی غربی در پیرامون خلیج فارس، بیان‌گر آن است که بیش‌ترین مقدار غلظت NO_2 با مقدار $0/000188 \text{ mol/m}^2$ در روز بیست و هشتم ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد در حالی که کم‌ترین مقدار NO_2 با مقدار $0/000034 \text{ mol/m}^2$ در روز یکم دسامبر سال ۲۰۱۸ اخذ شد. با توجه به نتایج خروجی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، در برآورد مقدار غلظت دی‌اکسید نیترژن، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان،

- اهواز و اندیمشک، بیشترین مقدار غلظت NO_2 را شامل شدند؛ در حالی که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون استهبان، باغ‌ملک و نی‌ریز کمترین مقدار غلظت NO_2 را به خود اختصاص دادند.
- نتایج حاصل از بررسی دمای روزانه سطح زمین در منطقه مورد پژوهش در بازه زمانی مورد مطالعه در حداثال سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ گویای این مطلب می‌باشد که بیشترین مقدار دمای روزانه سطح زمین در سطح ۳۲۴/۵ درجه کلون در روز دوازدهم ماه ژوئن در سال ۲۰۱۹ و کمترین مقدار آن در سطح ۲۹۰ درجه کلون در روز شانزدهم ژانویه در سال ۲۰۱۹ به دست آمد. براساس خروجی حاصل از بررسی تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای اهواز، شوش و بوشهر بیشترین دمای سطح زمین را شامل شدند؛ در حالی که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای داراب، شادگان و اقلید کمترین مقدار دمای سطح زمین را دربرگرفتند.
 - نتایج ویدافته‌های حاصل از بررسی میزان آئروسول‌ها در منطقه مورد تحقیق در بازه زمانی ۲۴ ماهه در حداثال سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بیان‌گر این مطلب است که بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار $13/79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در طول موج باند آبی ($0/47 \mu\text{m}$) در ماه جولای سال ۲۰۱۹ و کمترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار $1/57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ در طول موج باند سبز ($0/55 \mu\text{m}$) به دست آمد. باتوجه به نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، دزفول، شوش، بوشهر، بندر لنگه و میناب؛ بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار آن در شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی در پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای باغ‌ملک، بوانات، کازرون، مرودشت و داراب قرار دارد. با در نظر گرفتن خروجی ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸ نیز می‌توان گفت که پهنه‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شوش، سوسنگرد، آبادان، دزفول خورموج، بندر دیر و بوشهر بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار ضخامت آن در حوالی محدوده‌های شهرهایی چون آباده، اقلید، مرودشت، یاسوج و باغ‌ملک واقع شده‌اند.
 - نتایج حاصل از پایش زمانی و مکانی مقادیر مربوط به AOD ، LST ، H_2O ، NO_2 ، CO در مقیاس فضایی استان‌های انتخاب شده، گویای مقادیر مختلف و شدت و حدت متفاوت مقادیر این مولفه‌ها در موقعیت‌های مختلف مکانی و مقاطع مختلف زمانی مورد بررسی است. در همین راستا نتایج این بررسی‌ها امکان درک ملموستری از تغییرات مکانی و زمانی مولفه‌های مورد مطالعه را در مقیاس کلان منطقه‌ای فراهم می‌کند.

کتابنامه

باقرآبادی، رسول؛ معین‌الدینی، مظاهر؛ ۱۴۰۰. بررسی روند ازون تروپوسفری شهر کرمانشاه در بازه ۱۰ ساله با استفاده از پارامترهای هواشناسی، پیش‌سازهای ازون و تصاویر سنجنده OMI. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۴. ۱۶-۱.

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1216-1&slc_lang=fa&sid=1

ثقفی، محمدعلی؛ علی‌اکبری، عباسعلی؛ ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شبانه‌روزی و فصلی باد و دمای هوا و آلاینده‌های PM10 و Co در لایه سطحی جو شهر تهران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۱. ۳۴-۱۷.

<http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2312-fa.html>

جهانی‌چهره‌برق، فاطمه؛ آخوندزاده‌هنزائی، مهدی؛ ۱۳۹۶. تخمین ضخامت نوری هواویزها بر روی منطقه ای از ایران با استفاده از تلفیق تصاویر سنجنده‌های MODIS سکوه‌های ماهواره ای TERRA و AQUA. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». شماره ۱۰۳. ۸۱-۷۱.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.28894>

سبحانی، بهروز؛ صفریان‌زنگیر، وحید؛ فیض‌اله‌زاده، سینا؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۱. ۳۵-۱۷.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.284389.1007408>

سبحانی، بهروز؛ صفریان‌زنگیر، وحید؛ ۱۴۰۲. آشکارسازی و برآورد تغییر اقلیم سال‌های آتی ایران. مطالعات علوم محیط‌زیست. شماره ۴. ۷۲۴۳-۷۲۶۳.

https://www.jess.ir/article_173142.html

سلطانی، طاهره؛ مفیدی، عباس؛ گندمگار، امیر؛ ۱۳۹۴. بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد (مورد مطالعه: ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۴. ۱۱۲-۹۵.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2535-fa.html>

سلیمانی، مسعود؛ ارگانی، میثم؛ پاپی، رامین؛ امیری، فاطمه؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی عمق نوری آئروسول ماهواره‌ای با استفاده از داده کاوی پارامترهای اقلیمی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۳. ۳۳۳-۳۱۹.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.318600.1007591>

شاه‌محمدی، عاطفه؛ بیات، علی؛ مشهدی‌زاده‌ملکی، سعید؛ ۱۳۹۹. بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۵۸. ۸۵-۷۱.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9>

شاه‌محمدی، عاطفه؛ بیات، علی؛ مشهدی‌زاده‌ملکی، سعید؛ ۱۴۰۱. بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان براساس آلاینده دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده با سنجنده اُمی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۶۷. ۵۵-۴۱.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3>

شمس‌الدینی، علی؛ احمدی، وانکو؛ ۱۳۹۹. تخمین مکانی - زمانی آلاینده‌های منواکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن شهر تهران مبتنی بر داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور و داده‌های کمکی. *جغرافیا و پایداری محیط*. شماره ۳.

<https://dx.doi.org/10.22126/ges.2020.4227.2057>. ۱۲۴-۱۰۷

شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ امینی، ژاوان؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی الگوی پراکنش Co با مدل خرد اقلیمی Envi-met در مسیر آزادی - تهران پارس. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۷. ۱۰۳-

<https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.23588>. ۸۵

عربی‌علی‌آباد، فهیمه؛ زارع، محمد؛ غفاریان‌المیری، حمیدرضا؛ ۱۴۰۰. مقایسه دقت روش‌های مختلف تخمین بخار آب جو در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸. *مدیریت بیابان*. شماره ۱. ۳۴-

<https://dx.doi.org/10.22034/jdmal.2021.244523>. ۱۵

عزیزی، قاسم؛ قنبری، حسین‌علی؛ ۱۳۸۹. شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران براساس الگوی باد.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_21493.html. شماره ۶۸. ۱۵-۳۲

عساکره، حسین؛ احدی، لیلا؛ ۱۳۹۹. بررسی رابطه‌ی تیپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. شماره ۳. ۳۷۵-۳۹۴

<https://dx.doi.org/10.22059/jphgr.2020.272960.1007326>. ۳۷۵-۳۹۴

غریبی، شیوا؛ شایسته، کامران؛ ۱۴۰۰. کاربرد تصاویر ماهواره‌ی سنتینل ۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۳. ۱۳۸-

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3117&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0. ۱۲۳

قربانی، رضوان؛ مباشری، محمدرضا؛ رحیم‌زادگان، مجید؛ ۱۳۹۱. روش سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس در تهران، *مجله پژوهشی حکیم*. شماره ۲. ۱۷۷-

<https://hakim.tums.ac.ir/article-1-1019-fa.html>. ۱۶۶

کابلی‌زاده، مصطفی؛ رنگزن، کاظم؛ محمدی، شاهین؛ ۱۳۹۷. کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ی لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی. *سنجش‌از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. شماره ۳. ۷۱-

https://girs.bushehr.iau.ir/article_544815.html. ۵۳

کرم‌پور، مصطفی؛ خاموشیان، یگانه؛ حیدری، حامد؛ امرایی، فاطمه؛ ۱۴۰۰. نقش عوامل محیطی و اقلیمی بر انتقال و انتشار آلاینده‌ی منواکسید کربن کشور ایران در سال ۲۰۱۸. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۲. ۱۹۰-

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3154&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0. ۱۷۹

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ کریمیان، ندا؛ ۱۳۹۹. بررسی الگوهای همدیدی آلودگی‌های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳. ۲۰-

<https://doi.org/10.22067/geo.v9i3.87260>. ۱

- مرادی‌زاده، مینا؛ ۱۳۹۹. ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو، به‌دست‌آمده از سنجنده AIRS، برای بهبود دقت بازیابی دمای سطح خاک. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. شماره ۳، ۴۶-
<https://dx.doi.org/10.52547/gisj.12.3.37>
- مظفری، غلامعلی؛ نارنگی‌فرد، مهدی؛ حقیقت‌ضیابری، مرضیه؛ ۱۳۹۴. تحلیل رابطه الگوهای هم‌دید با میزان آلاینده ذرات معلق و منو اکسید کربن در شهر شیراز. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۴، ۱۱۵-
<https://doi.org/10.22067/geo.v4i2.24849.95>
- ملاشاهی، مریم؛ علی‌محمدیان، حبیب؛ حسینی، سیدمحسن؛ ریاحی، علیرضا؛ فیضی، وحید؛ ستاریان، علی؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش نوین مگتومتری برگ‌های درختی گسترده‌ی شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۳، ۱۰۸-۹۳.
<https://dx.doi.org/10.22059/jphgr.2012.29216.93-108>
- نورپور، علیرضا؛ فیض، محمد علی؛ ۱۳۹۳. تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های گوگرد دی اکسید، نیتروژن دی اکسید و انواع ذرات معلق با استفاده از تکنیک‌های GIS در تهران. محیط شناسی. شماره ۳، ۷۳۸-
<https://dx.doi.org/10.22059/jes.2014.52216.733>

- Anand P, Mina U, Khare M, Kumar P, Kota S.H., 2022. Air pollution and plant health response-current status and future directions. Atmospheric Pollution Research 13(8): 101508. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101508>.
- Barkley M.P, González Abad, G, Kurosu T.P, Spurr R, Torbatian S, Lerot C., 2017. OMI airquality monitoring over the Middle East. Atmospheric Chemistry and Physics 17(7): 4687-4709. <https://doi.org/10.5194/acp-17-4687-2017>.
- Bodah B.W, Neckel A, Maculan L.S, Milanes C.B, Korcelski C, Ramírez O, Mendez-Espinosa J.F., Bodah E.T, Oliveira M.L.S., 2022. Sentinel-5P TROPOMI satellite application for NO2 and CO studies aiming at environmental valuation. NJournal of Cleaner Production 357: 131960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131960>.
- Hu T, Yoshie R., 2020. Effect of atmospheric stability on air pollutant concentration and its generalization for real and idealized urban block models based on field observation data and wind tunnel experiments. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 207: 104380. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104380>.
- Ibbetson A, Symonds P, Hutchinson E., 2020. Data to support small area health impact modelling of air pollution in the United Kingdom. Data in brief 29: 105148. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105148>
- Islam N, Saikia K. B., 2022. An overview on atmospheric carbonaceous particulate matter into carbon nanomaterials: A new approach for air pollution mitigation. Chemosphere 303 (2): 135027. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135027>.
- Kovács A, Leelőssy Á, Tettamanti T, Esztergár-Kiss D, Mészáros R, Lagzi, I., 2021. Coupling traffic originated urban air pollution estimation with an atmospheric chemistry model. Urban Climate 37: 100868. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100868>.
- Lamsal, L.N, Duncan B.N, Yoshida Y, Krotkov NA, Pickering k.E, Streets D.G, Lu Z., 2015. US NO2 trends (2005-2013): EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI). Atmospheric Environment 110: 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.055>

- Li C, Liu M, Hu Y, Wang H, Xiong Z, Wu W, Liu C, Zhang C, Du Y., 2022. Investigating the vertical distribution patterns of urban air pollution based on unmanned aerial vehicle gradient monitoring. *Sustainable Cities and Society* 86:104144.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104144>.
- Omrani H, Omrani B, Parmentier B, Helbich M., 2020. Spatio-temporal data on the air pollutant nitrogen dioxide derived from Sentinel satellite for France. *Data in brief* 28: 105089.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105089>
- Ravindra K., Kaur-Sidhu M, Mor S., 2020. Air Pollution in Rural Households Due to Solid Biomass Fuel Use and Its Health Impacts. In: Sharma A, Goyal R, Mittal R, (eds) *Indoor Environmental Quality. Lecture Notes in Civil Engineering* 60: Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-1334-3_4
- Rohi G, Ejofodomi O, Ofualagba G., 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon* 6(1): e03252.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03252>
- Safarianzengir V, Sobhani B, Yazdani M.H, M Kianian., 2020. Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East. *Air Qual Atmos Health* 13: 709–719.
<https://doi.org/10.1007/s11869-020-00827-5>
- Schneider P, Lahoz W.A, Vander A.R., 2015. Recent satellite-based trends of tropospheric nitrogen dioxide over large urban agglomerations worldwide. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15(3): 1205-1220. <https://doi.org/10.5194/acp-15-1205-2015>.
- Sobhani B, Safarian Zengir V., 2020. Monitoring and prediction of drought using TIBI fuzzy index in Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(3): 237-250.
<https://doi.org/10.22124/cjes.2020.4136>
- Sobhani B, Safarian Zengir V, Faizollahzadeh S., 2020. Modeling and Prediction of Dust in Western Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 52(1): 17-35. (In persian).
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.284389.1007408>
- Sobhani B, Safarian Zengir, V., 2024. Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4): (In persian).
https://www.jess.ir/article_173142.html?lang=en
- Song J, Stettler M.E.J., 2022. A novel multi-pollutant space-time learning network for air pollution inference. *Science of The Total Environment* 811: 152254.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152254>.
- Tao M, Gui L, Li R, Wang L, Liang S, Li Q, Wang L, Yu C, Chen L., 2021. Tracking prevailing dust aerosol over the air pollution in central China with integrated satellite and ground observations. *Atmospheric Environment* 253: 118369.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118369>.
- Wallace J, Kanaroglou P., 2009. The sensitivity of OMI-derived nitrogen dioxide to boundary layer temperature inversions. *Atmospheric Environment* 43: 3596–3604.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.049>



Forecasting Hazardous Heat Waves in East Azerbaijan by Modeling the Sixth Climate Change Report

Sayyed Mohammd Hosseini^{a*}, Farhnaz Khoramabadi^b

^a Assistant Professor in Climatology, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran

^b MA in Urban Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 1 October 2022

Revised: 27 November 2022

Accepted: 22 December 2022

Abstract

Heat waves are among the most dangerous weather threats related to global warming and climate change. Two databases were used to predict the spatial changes in the intensity of heat waves in East Azarbaijan province. The daily data of the maximum temperature in 5 synoptic stations of the province including Tabriz, Maragheh, Jolfa, Ahar and Mianeh for the time period from 1981 to 2021 AD as the period of historical-base data were used. The output of the selected CanESM model under the dual economic-social scenario SSP1 is the result of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) in the future period from 2022 to 2065. The validation of the data of the basic period with the future period was done with standard measures and with the step-by-step regression technique, the intensity of heat waves in the province was explained. The results indicate that the intensity of heat waves will increase until 2065 in all the investigated stations and it will cover a large area of the province. So, in the next half of the century, the intensity of heat waves in Tabriz will be 1.3 °C, in Maragheh will be 1 °C, in Julfa will be 0.7 °C, in Ahar will be 1 °C and in Mianeh it will be 1.4 °C. Moreover, with the warming of the earth's air due to the impact of global climate changes, smaller heat waves join together and will create more intense, bigger, and lasting heat waves. The results showed that with the decrease in latitude in this province and the proximity to low-lying and low-altitude areas, the frequency and intensity of heat waves will also increase.

Keywords: Modeling, Dangerous Heat Waves, Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), East Azerbaijan

* Corresponding author: Sayyed Mohammd Hosseini E-mail: h.climate@sjau.ac.ir Tel: + 989384694588

How to cite this Article: Hosseini, S. M., & Khoramabadi, F. (2023). Forecasting hazardous heat waves in east Azerbaijan by modeling the sixth climate change report. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3), 125-145.

DOI: 10.22067/geoh.2022.78997.1284



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards


Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78997.1284> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۴۵-۱۲۵
مقاله پژوهشی

پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم

 سید محمد حسینی^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.
فرحناز خرم‌آبادی - کارشناس ارشد آب و هواشناسی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۱

چکیده

امواج گرمایی از جمله خطرناک‌ترین تهدیدات آب‌وهوایی مرتبط با گرم‌شدن کره زمین و وردایی اقلیمی هستند که در سال‌های اخیر روندی افزایشی داشته‌اند. در پژوهش حاضر جهت پیش‌نگری تغییرات مکانی شدت امواج گرمایی در استان آذربایجان شرقی از دو پایگاه داده استفاده شده است. پایگاه نخست؛ داده‌های روزانه دمای بیشینه در ۵ ایستگاه هم‌دید استان شامل تبریز، مراغه، جلفا، اهر و میانه برای بازه‌ی زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ میلادی به‌عنوان دوره داده‌های تاریخی-پایه است. پایگاه دوم؛ برون‌داد مدل منتخب CanESM تحت سناریوی دوگانه اقتصادی-اجتماعی SSP1 حاصل از گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 در دوره آینده از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۶۵ میلادی است. درست‌سنجی داده‌های دوره پایه با دوره آتی با سنجه‌های استاندارد انجام شد و با تکنیک رگرسیون گام‌به‌گام، شدت امواج گرمایی استان مورد تبیین قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، شدت امواج گرمایی تا سال ۲۰۶۵ میلادی افزوده خواهد شد و گستره بزرگی از وسعت استان را در بر خواهد گرفت. به‌طوری‌که در نیم سده آینده، شدت امواج گرمایی در تبریز با ۱/۳؛ در مراغه با ۱؛ در جلفا با ۰/۷؛ در اهر با ۱ و در میانه با ۱/۴

Email: h.climate@sjau.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۸۴۶۹۴۵۸۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

حسینی، سید محمد؛ خرم‌آبادی، فرحناز؛ ۱۴۰۲. پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۱۴۵-۱۲۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78997.1284>

درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. همچنین با گرم‌تر شدن هوای کره زمین ناشی از اثرگذاری تغییرات اقلیم جهانی، امواج گرمایی کوچک‌تر به هم می‌پیوندند و امواج گرمایی شدیدتر، بزرگ‌تر و ماناتری را به وجود خواهند آورد. همچنین نتایج نشان داد با کاهش عرض جغرافیایی در این استان و همجواری با مناطق پست و کم‌ارتفاع، بسامد و شدت رخداد امواج گرمایی نیز بیشتر خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، امواج گرمایی مخاطره‌آمیز، گزارش ششم تغییر اقلیم، آذربایجان شرقی.

۱- مقدمه

امروزه مخاطرات جوی و اقلیمی، مخرب‌ترین و کشنده‌ترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان هستند که منجر به نابودی حیات زیست و رخداد مصیبت‌های اقلیمی می‌شوند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). از بین مخاطرات اقلیمی، امواج گرمایی یکی از بدترین بلاهای آب‌وهوایی بوده که هر ساله خسارت‌های مالی، جانی و پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت به جای می‌گذارد (بللیدی و همکاران^۱، ۲۰۰۴؛ هاددو و همکاران^۲، ۲۰۰۸؛ دینگ و همکاران^۳، ۲۰۰۹؛ آستروم و همکاران^۴، ۲۰۱۱). این امواج می‌توانند در مقیاس محلی روی دهند و سبب نابودی محصولات کشاورزی، مرگ‌ومیر ناشی از گرم‌زدگی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، مشکلات اقتصادی و حتی اجتماعی شوند (کانفالونیری و همکاران^۵، ۲۰۰۷؛ فاروق و همکاران^۶، ۲۰۱۱؛ علیزاده، ۱۳۹۱). این در حالی است که تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی سبب کاهش رخداد سرماهای فرین و افزایش رخداد امواج گرمایی شدید در سراسر کره زمین شده است (فولند و همکاران^۷، ۲۰۰۱؛ IPCC^۸، ۲۰۰۷). این در حالی است که روند امواج گرمایی در چند دهه اخیر در حال افزایش بوده و این تغییرات در کشورهایی همچون ایران که در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است، چشمگیرتر است (حدادی، ۱۳۸۸؛ یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰). (شکل ۱ و ۲).

1 Baldi et al

2 Haddow et al

3 Ding et al

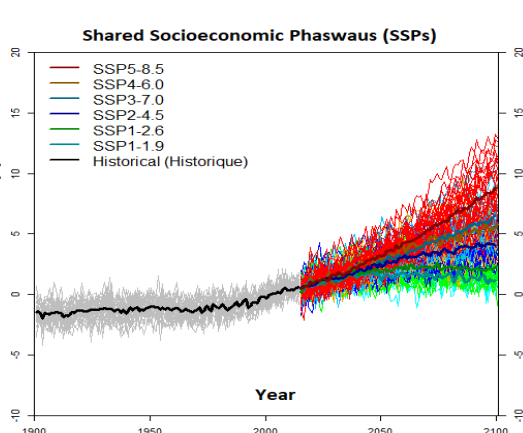
4 Astrom et al

5 Confalonieri et al

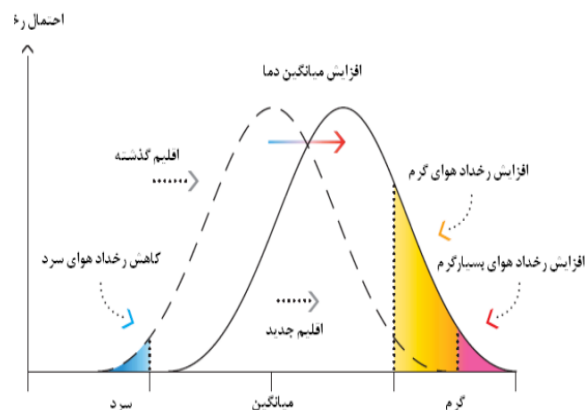
6 Farooq et al

7 Folland et al

8 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)



شکل ۲- تغییرات جهانی میانگین دمای سالانه با سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم (فریکو و همکاران، ۲۰۱۶)



شکل ۱- تغییرات احتمالی رخداد های فرین گرمایی در جهان (فولند و همکاران، ۲۰۰۱)

به دلیل اهمیت موضوع، امروزه پژوهش‌های متعددی در زمینه امواج گرمایی در مقیاس منطقه‌ای و سیاره‌ای انجام شده است. به‌عنوان نمونه؛ اروپا و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، با بررسی روند و عدم قطعیت امواج گرمایی در قرن ۲۱ معتقدند که امواج گرمایی شدید با قطعیت بالا و تغییرپذیری شدید در قرن ۲۱ در حال افزایش است و روند گرم شدن کره زمین ادامه دارد. سکوترا و همکاران^۲ (۲۰۱۱)، در پژوهشی اثر تغییرات اقلیم بر مصرف انرژی گرمایش و سرمایش در نوار ساحلی اقیانوس اطلس شمالی مورد واکاوی قرار دادند. جنسا و همکاران^۳ (۲۰۱۳)، در بررسی ارتباط شاخص گرما و مرگ‌ومیر شهر تایوان به این نتیجه رسیدند که نسبت مرگ‌ومیر با افزایش شاخص روزانه میانگین درجه حرارت ارتباط معناداری دارد. وولف و مک‌گریگور^۴ (۲۰۱۳)، با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری توسعه موج گرما برای لندن نشان دادند که رابطه معناداری در رخداد امواج گرمایی وجود دارد و مناطق مرکزی و شرقی لندن از آسیب‌پذیری بالاتری در راستای رخداد امواج گرما برخوردارند. الیزابت و فدریکو^۵ (۲۰۱۳)، با تحلیل روند درجه روز گرمایش در کشور آرژانتین بر این باورند که در مناطق ساحلی روند منفی نیاز گرمایش محیط می‌تواند به دلیل اثر رطوبت دریا بر این مناطق باشد. تواردوژ و کوزوفسکا^۶ (۲۰۱۳)، با بررسی تابستان‌های بسیار داغ در مرکز و شرق اروپا نشان دادند که فراوانی روزهای گرم رو به افزایش است و رخداد امواج گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و

1 Fricko et al

2 Auroop et al

3 Sequera et al

4 Jen Su et al

5 Wolf and McGregor

6 Elizabeth and Federico

7 Twardosz and Kossowska

امکان رخداد آن در همه مکان‌ها وجود دارد. **روزا و همکاران**^۱ (۲۰۱۴)، روند درجه روزهای گرمایش و سرمایش را در ایتالیا بررسی کردند و معتقدند روند میزان مصرف انرژی سرمایش روندی افزایشی است. **پوسات و اکمی**^۲ (۲۰۱۵)، در پژوهشی بر حسب درجه روزهای گرمایش و سرمایش، ترکیه را به چهار ناحیه بسیار سرد، سرد، نیمه سرد و معتدل پهنه‌بندی کردند. بیشترین نیاز گرمایش در ناحیه بسیار سرد در ماه ژانویه نمایان شد. **کوکس و همکاران**^۳ (۲۰۱۵)، نشان دادند که میانگین روزانه دما در نواحی هدیترنه، روند افزایشی به میزان ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد دارد که بر انرژی مصرفی سرمایش اماکن اثر بسزایی داراست. **آتیلگان و همکاران**^۴ (۲۰۱۶)، بر این باورند که درجه‌روز، هم نیاز مقدار انرژی یک ساختمان را بیان می‌کند و هم ارتباط بین دمای داخلی ساختمان با دمای هوای بیرونی که در آن ساختمان واقع شده است را مطرح می‌کند. **زامپیری و همکاران**^۵ (۲۰۱۶)، در ارزیابی و برآورد جهانی بزرگی امواج گرما و پیامدهای آن روی آبدهی رودخانه‌ها در رشته‌کوه‌های آلپ، دریافتند که در دهه‌های اخیر، درصد مساحت جهانی تحت پوشش امواج گرمایی نسبت به اوایل قرن بیستم تقریباً سه برابر شده است. **الیزباراشویلی و همکاران**^۶ (۲۰۱۸)، تغییرات و روند درجه‌روزهای گرمایشی و سرمایشی در گرجستان را مورد بررسی قرار دادند و نیازهای درجه روز گرمایشی و سرمایشی را در هر ایستگاه مشخص نمودند.

در ایران نیز؛ **قویدل‌رحیمی** (۱۳۹۰)، معتقد است که وجود یک کم‌فشار حرارتی روی شبه‌جزیره عربستان و اثرات ناشی از سوق یافتن، فعالیت و مهاجرت کم‌فشار مذکور به سمت ایران به همراه تسلط پرفشار جنب‌حاره‌ای در ترازهای میانی جو، عامل اصلی گرمایش در تابستان ۱۳۸۹ ایران است. **اسمعیل‌نژاد و همکاران** (۱۳۹۲)، با شناسایی امواج گرمایی ایران بر این باورند که در این کشور موج‌های گرمایی کوتاه، رخداد و بسامد بیشتری دارند و تعداد امواج گرمایی پرتداوم، کمتر بوده است. **دارند** (۱۳۹۳)، با شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرمایی ایران نشان داد که بسامد رخداد امواج گرمایی و ماندگاری و شدت آن در ایران رو به افزایش است و در دشت کویر این نرخ، سرعت بیشتری دارد. **جهانبخش و همکاران** (۱۳۹۴) بر این باورند که الگوی غالب در زمان رخداد امواج گرمایی شمال غرب ایران؛ پرفشار جنب‌حاره‌ای، کم‌فشار عربستان و کم‌فشار پاکستان هستند. **اعتمادیان و دوستان** (۱۳۹۶)، در تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران به این نتیجه رسیدند که بیشترین امواج گرمایی ایران در نیمه غربی رخ می‌دهد و به سمت شرق کاهش می‌یابد؛ به‌نحوی که از منطقه کوهپایه داخلی ایران به سمت شمال و جنوب کشور و مناطق مرکزی، این پدیده اقلیمی سیر کاهشی دارد. **بهاروندی و همکاران** (۱۳۹۹)، معتقدند که بیشترین تعداد امواج گرمایی،

1 Rosa et al

2 Pusat and Ekmekci

3 Cox et al

4 Atilgan et al

5 Zampieri et al

6 Elizbarashvili

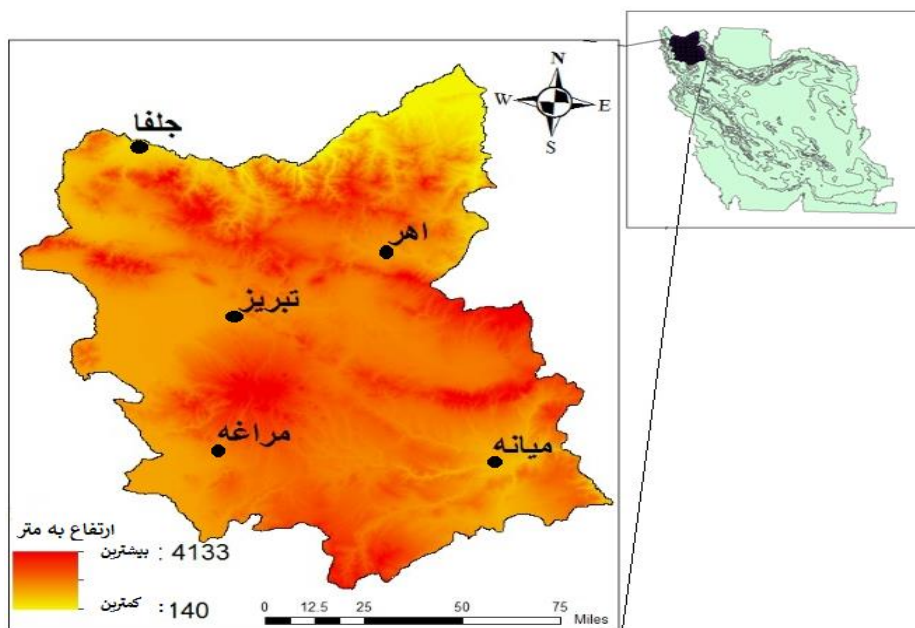
در غرب رشته‌کوه زاگرس و سپس دشت کویر رخ می‌دهد. درحالی‌که بیشینه بزرگی امواج، متعلق به مناطق جنوب‌شرقی و مرکزی کشور است.

از آنجاکه کشور ایران در منطقه جغرافیایی ویژه‌ای قرار دارد لذا به تبع آن، از اقلیم حساس و شکننده‌تری نیز برخوردار است. به طوری‌که؛ تداوم گسترش امواج گرمایی، بیلان منفی آب و خشکسالی‌های اخیر را شدت بخشیده است و پیامدهای ناگواری را در مناطق شمال‌غرب ایران به‌ویژه استان آذربایجان شرقی به وجود آورده است. لذا هدف نهایی این پژوهش، ارزیابی توانمندی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای جدید گزارش ششم تغییر اقلیم در بررسی اثرات این رخداد اقلیمی بر امواج گرمایی این استان می‌باشد.

۲- مواد و روش

منطقه موردبررسی، استان آذربایجان شرقی است. این استان بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال‌غربی ایران محسوب می‌شود و کانون فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه به شمار می‌آید. همچنین این استان از سمت شمال به جمهوری‌های آذربایجان، ارمنستان و نخجوان، از سمت غرب و جنوب‌غرب به استان آذربایجان غربی، از سمت شرق به استان اردبیل و از سمت جنوب‌شرق به استان زنجان محدود شده است. استان آذربایجان شرقی با $45^{\circ}48'1$ کیلومتر مربع مساحت، حدود $2/8$ درصد از وسعت کل ایران را به خود اختصاص داده است و بین مدارهای 36 درجه و 45 دقیقه تا 39 درجه و 26 دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهارهای 45 درجه و 5 دقیقه تا 48 درجه و 22 دقیقه طول شرقی جای گرفته است (شکل ۳).

در پژوهش حاضر از دو دسته داده استفاده شده است. دسته اول؛ شامل داده‌های روزانه دمای بیشینه در ۵ ایستگاه همدید استان آذربایجان شرقی شامل تبریز، مراغه، جلفا، اهر و میانه برای بازه‌ی زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ میلادی (دست کم ۴۰ ساله) جهت واکاوی تغییرات مکانی امواج گرمایی هستند. این داده‌ها به‌عنوان داده‌های پایه- مبنا (داده‌های تاریخی) مورد ارزیابی و مدل‌سازی قرار گرفته‌اند و از سازمان هواشناسی کشور برداشت شده‌اند. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی و مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی

دسته دوم؛ شامل داده‌های سناریوهای اقلیمی از مدل‌های آب‌وهوای جهانی گزارش ششم اقلیمی (CMIP6) هستند که از سال ۲۰۲۲ به صورت آزاد از طریق تارنمای <https://climate-scenarios.canada.ca> در دسترس عموم پژوهشگران قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، این داده‌ها از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۶۵ میلادی به عنوان داده‌های دوره پیش‌بینی و مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. خلاصه‌ای از ویژگی آماری داده‌های گزارش ششم اقلیمی در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- ویژگی آماری داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیمی

(منبع: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6>)

شبکه‌ای ۱×۱ درجه قوسی	نوع داده‌ها
شبکه طول و عرض جغرافیایی منظم	طرح‌ریزی
بین مدل‌ها متفاوت است.	پوشش افقی
سطوح تکی، سطوح فشار (۱ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی)	پوشش عمودی
۱۸۵۰-۲۳۰۰ (کوتاه‌تر برای برخی از سناریوها)	پوشش زمانی
ماهانه، روزانه، ثابت (بدون وضوح زمانی)	وضوح زمانی
NetCDF4	فرمت فایل
آب‌وهوا و پیش‌بینی (CF)	کنوانسیون‌ها
آخرین نسخه از داده‌ها سال ۲۰۲۲ ارائه شده است.	نسخه‌ها

همچنین در این پژوهش، از مدل منتخب^۱ CanESM تحت سناریوی دوگانه اقتصادی-اجتماعی SSP1^۲؛ توسعه یافته توسط مرکز محیط‌زیست کانادا برای مدل‌سازی و اکاوی امواج گرمایی استفاده شده است. در این سناریو، جهان به تدریج اما به صورت فراگیر به سمت یک مسیر پایدار حرکت می‌کند. همچنین در این مدل، مدیریت جوامع جهانی به آرامی بهبود می‌یابد. سرمایه‌گذاری‌های آموزشی و بهداشتی، رشد جمعیتی را تسریع می‌کند و تأکید بر تغییرات اقتصادی جهت بهبود زندگی انسان است. (فریکو و همکاران، ۲۰۱۶).

همچنین برای درست‌سنجی برون‌داد امواج گرمایی مدل منتخب CanESM در ۵ ایستگاه همدید استان آذربایجان شرقی، از سنج‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، میانگین مربعات انحرافات (MSD)، میانگین قدرمطلق انحرافها (MAD) و میانگین درصد مطلق خطاها ($MAPE$) استفاده شد (رابطه‌های ۱ تا ۴).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})(A_i - \bar{A})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - A_i)^2}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$MAD = \text{Median}(|F_i - \bar{F}|) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه‌ها؛ F_i و A_i به ترتیب F امین داده شبیه‌سازی شده (ه)^۳ توسط مدل منتخب و داده واقعی (خی)^۴، \bar{F} و \bar{A} به ترتیب میانگین کل داده‌های F_i و A_i در جامعه آماری، n تعداد کل داده‌های مورد اکاوی، SD انحراف معیار و $Median$ میانه است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- درست‌سنجی آماره‌های امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی در دوره پایه با دروه پیش‌بینی مدل

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد نتایج درست‌سنجی برون‌داد امواج گرمایی بر اساس داده‌های واقعی و داده‌های مدل منتخب حاکی از این است که توافق داده‌ها در دوره پایه و دوره مدل‌سازی شده بالاست و میزان خطای

1 Canadian Earth System Model (CanESM)

2 Shared Socioeconomic Pathways (SSP1)

3 Forecast Value

4 Actual Value

ابن دو سری داده اندک است. بنابراین کارایی و دقت مدل CanESM در مدل‌سازی داده‌های تاریخی مورد تأیید قرار می‌گیرد.

جدول ۲- درست‌سنجی امواج گرمایی دوره پایه (تاریخی) و دوره آینده (مدل)

سنجدها				ماه	دوره/مدل	ایستگاه
MAPE	MAD	MSD	R- (P value)			
۰/۱۵۹	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۳۷۱	ژوئن	دوره پایه	تبریز
۰/۷۳۱	۰/۲۶۸	۰/۰۹	۰/۰۰۱	جولای		
۰/۲۶۸	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۲۷۹	آگوست		
۰/۴۳۰	۰/۱۵۷	۰/۰۳۱	۰/۰۰۸	سالانه		
۰/۱۱۵	۰/۰۴۳	۰/۰۰۲	۰/۵۱۹	ژوئن	مدل CanESM	
۱/۱۷۹	۰/۴۳۴	۰/۲۹۸	۰/۷۳۰	جولای		
۰/۲۱۴	۰/۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰	آگوست		
۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۵۳۹	سالانه		
۰/۲۲۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۶۱	ژوئن	دوره پایه	مراغه
۰/۹۶۳	۰/۳۵۳	۰/۱۶۳	۰/۰۰	جولای		
۰/۶۸۴	۰/۲۴۸	۰/۱۱۶	۰/۰۸۵	آگوست		
۰/۱۹۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه		
۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	ژوئن	مدل CanESM	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	جولای		
۰/۱۸۱	۰/۰۶۹	۰/۰۰	۰/۰۰	آگوست		
۰/۱۹۶	۰/۰۸۵	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه		
۰/۱۸۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	ژوئن	دوره پایه	جلفا
۰/۹۴۷	۰/۳۵۶	۰/۱۶۱	۰/۰۰	جولای		
۰/۴۴۲	۰/۱۶۶	۰/۰۴۳	۰/۰۰	آگوست		
۰/۱۶۷	۰/۰۲	۰/۰۷۱	۰/۰۰۲	سالانه		
۰/۱۱۳	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰	ژوئن	مدل CanESM	
۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	جولای		
۰/۲۱۴	۰/۰۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	آگوست		
۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه		
۲/۰۴۴	۰/۷۵۳	۰/۷۶۷	۰/۳۰	ژوئن	دوره پایه	اهر
۰/۸۱۹	۰/۲۹۹	۰/۱۱۸	۰/۰۷	جولای		
۰/۱۷۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۵۱	آگوست		
۰/۳۶۹	۰/۱۴۳	۰/۰۲۶	۰/۱۵۹	سالانه		

سنجه‌ها				ماه	دوره/مدل	ایستگاه
MAPE	MAD	MSD	R- (P value)			
۰/۱۳۸	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	ژوئن	مدل CanESM	میانه
۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	جولای		
۰/۱۸۷	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	آگوست		
۰/۰۶۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه		
۰/۴۹۱	۰/۱۸۰	۰/۰۴	۰/۱۶۱	ژوئن	دوره پایه	
۰/۸۳۹	۰/۳۱۶	۰/۱۲۷	۰/۰۰	جولای		
۰/۸۱۵	۰/۳۰۷	۰/۱۲۷	۰/۰۸۵	آگوست		
۰/۴۲۱	۰/۳۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه	مدل CanESM	
۰/۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	ژوئن		
۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰	جولای		
۰/۱۴۷	۰/۰۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	آگوست		
۰/۱۹۶	۰/۰۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	سالانه		

۳-۲- واکاوی پراکنش امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی در دوره پایه با دروه پیش‌بینی

در این پژوهش جهت پهنه‌بندی مکانی امواج گرمایی در دوره پایه و دوره پیش‌بینی، از تکنیک رگرسیون گام به گام استفاده شده است. ملاحظه می‌شود که همبستگی نسبتاً بالایی بین امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی و ارتفاع مشاهده می‌شود و این تکنیک به خوبی توانسته است امواج گرمایی را تبیین کند (جدول ۳).

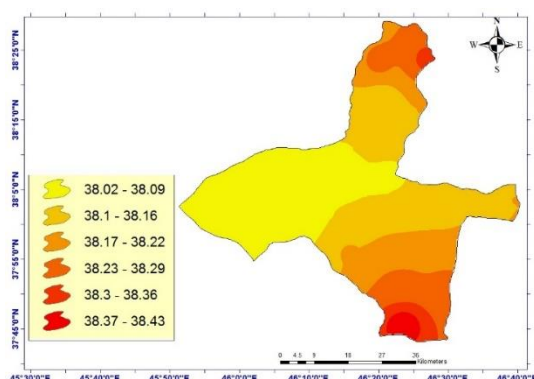
جدول ۳- مدل‌سازی رگرسیونی گام به گام پراکنش مکانی امواج گرمایی دوره پایه (تاریخی) و دوره آینده (مدل)

دوره مدل‌سازی (۲۰۲۲-۲۰۶۵)	دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۲۱)	ماه	ایستگاه
37.704 + 0.000246 h	36.113 - 0.000183 h	ژوئن	تبریز
36.873 - 0.000044 h	36.072 + 0.000237 h	جولای	
35.728 + 0.00037 h	36.738 - 0.000133 h	آگوست	
37.918 - 0.000203 h	37.185 - 0.000366 h	سالانه	
45.935 - 0.000523 h	35.338 + 0.00088 h	ژوئن	مراغه
42.909 - 0.000101 h	35.623 + 0.000932 h	جولای	
38.959 - 0.000315 h	37.229 - 0.000605 h	آگوست	
42.980 - 0.000267 h	35.189 + 0.001654 h	سالانه	
37.958 - 0.000038 h	36.412 + 0.000452 h	ژوئن	جلفا
37.520 - 0.000513 h	39.054 - 0.001249 h	جولای	

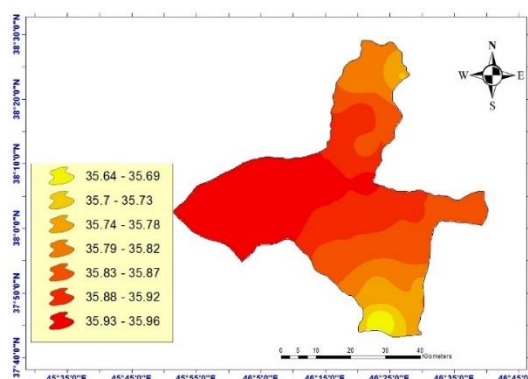
دوره مدل‌سازی (۲۰۲۲-۲۰۶۵)	دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۲۱)	ماه	ایستگاه
37.782 - 0.000176 h	39.004 - 0.001042 h	آگوست	اهر
37.816 - 0.000154 h	38.553 - 0.000918 h	سالانه	
38.277 - 0.000224 h	38.01 - 0.000124 h	ژوئن	
37.269 - 0.000221 h	37.07 - 0.000267 h	جولای	
36.393 - 0.000255 h	36.031 - 0.000017 h	آگوست	
37.100 + 0.000479 h	37.276 - 0.000604 h	سالانه	
45.301 - 0.000194 h	36.622 - 0.000018 h	ژوئن	میانه
43.426 - 0.000393 h	38.247 - 0.000505 h	جولای	
39.118 - 0.000235 h	35.992 + 0.001000 h	آگوست	
43.029 - 0.000307 h	36.923 + 0.000256 h	سالانه	

۳-۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی تبریز در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

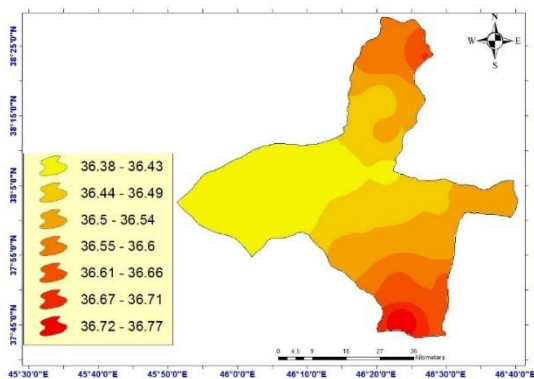
بررسی برون‌داد شدت امواج گرمایی مدل منتخب CanESM تبریز نشان داد که تا سال ۲۰۶۵ میلادی، کمینه شدت امواج گرمایی، ۱/۳ درجه سانتی‌گراد و بیشینه امواج گرمایی با ۰/۵ درجه افزایش خواهد یافت؛ بنابراین مشاهده می‌شود که در ایستگاه تبریز طی نیم‌سده آینده، شدت امواج گرمایی بین ۰/۵ تا ۱/۳ درجه افزایش پیدا خواهد کرد. مناطق کمینه شدت امواج گرمایی عموماً بر بخش‌های مرکزی و شرقی آن در هم‌جواری با دریاچه ارومیه منطبق هستند و بیشترین شدت امواج گرمایی هم در مناطق شمال و جنوب ایستگاه استیلا دارد (شکل ۴ تا ۱۱). به نظر می‌رسد در این ایستگاه طی سال‌های آتی، کانون بیشینه شدیدترین امواج گرمایی از مناطق مرکزی و شرقی به مناطق شمالی و جنوبی تغییر مکان دهد. همچنین بسامد رخداد امواج گرمایی با دمای بالاتر طی سال‌های آینده، بیشتر، ماندگارتر و مانا تر خواهد شد که این روند با تغییرات جهانی اقلیم ارتباط مستقیم و معناداری دارد.



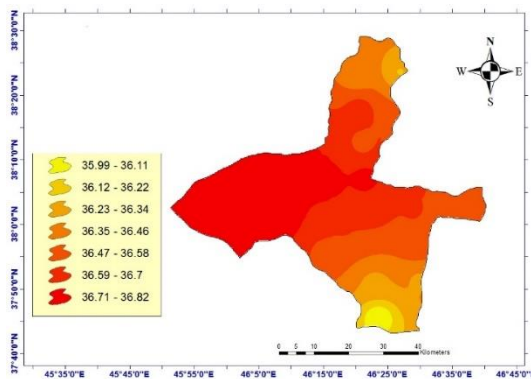
شکل ۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در تبریز (دوره پیش‌بینی)



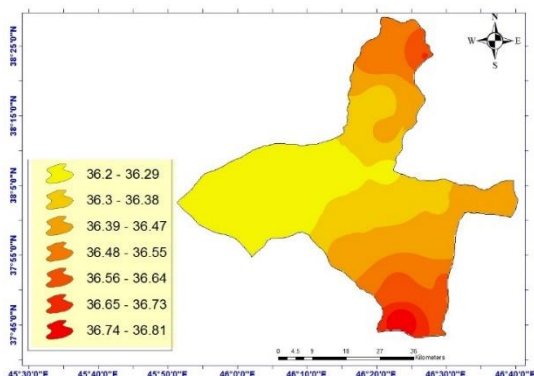
شکل ۴- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در تبریز (دوره پایه)



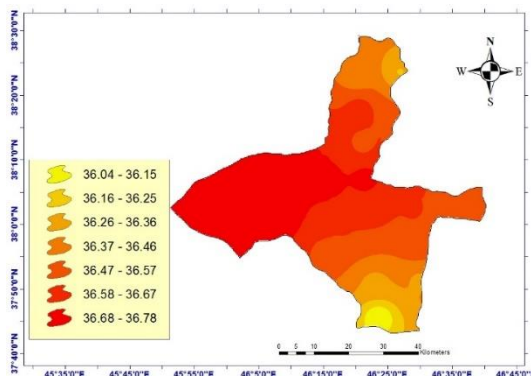
شکل ۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در تبریز (دوره پیش‌بینی)



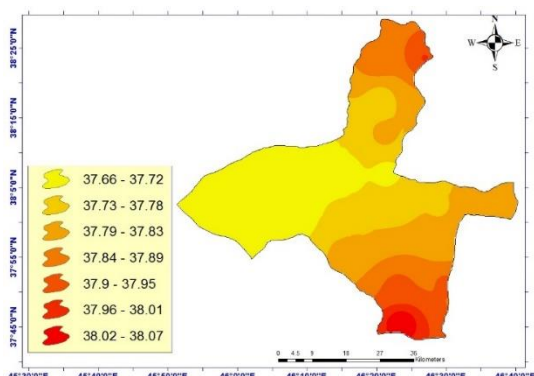
شکل ۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در تبریز (دوره پایه)



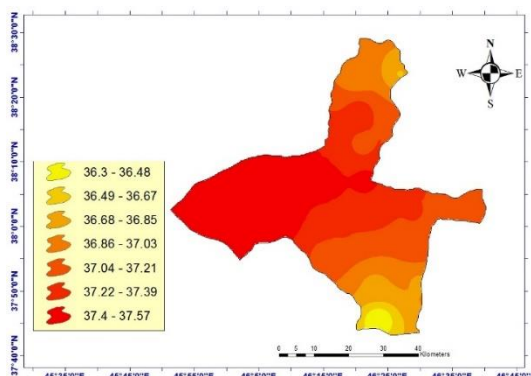
شکل ۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در تبریز (دوره پیش‌بینی)



شکل ۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در تبریز (دوره پایه)



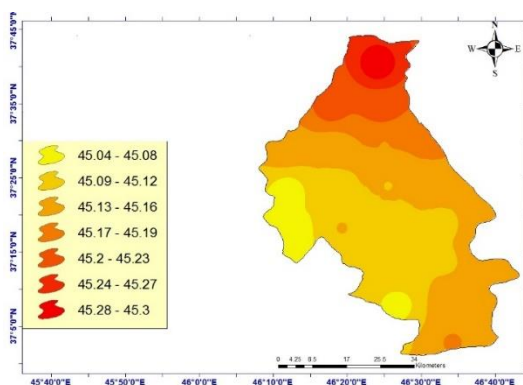
شکل ۱۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در تبریز (دوره پیش‌بینی)



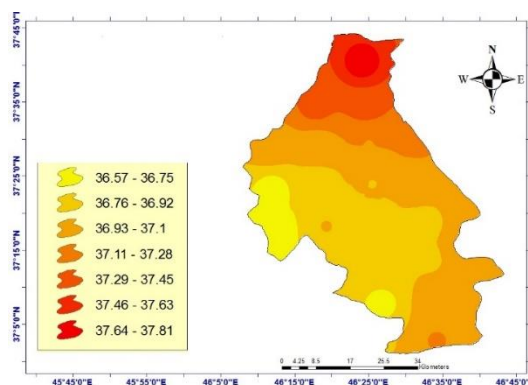
شکل ۱۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در تبریز (دوره پایه)

۳-۴- پراکنش مکانی امواج گرمایی مراغه در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

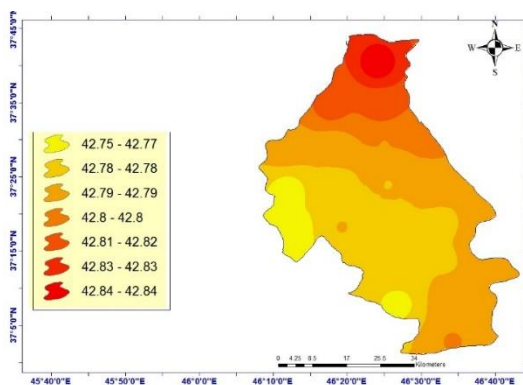
پهنه‌بندی مکانی شدت امواج گرمایی در مراغه نشان می‌دهد که کانون بیشینه شدت امواج گرمایی در این ایستگاه در بخش‌های شمالی و جنوبی مستقر شده است و امواج گرمایی گستره بزرگی از این ایستگاه را در بر گرفته‌اند. شواهد نشان می‌دهد که با کاهش عرض جغرافیایی و نزدیک شدن به سرزمین‌های کم‌ارتفاع و پست در بخش‌های جنوبی این ایستگاه، شدت امواج گرمایی نیز بیشتر شده است. از سویی دیگر، میانگین شدت امواج گرمایی در زمان رخداد بیشترین و کمترین فراوانی آن، حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار ۱ درجه‌ای است که نشان‌دهنده افزایش بسامد و رخداد امواج گرمایی کم‌شدت با قابلیت هلدنگاری، ملنایی و تداوم این پدیده‌ها تنها این ایستگاه، بلکه در تمام استان آذربایجان شرقی می‌باشد (شکل ۱۲ تا ۱۹).



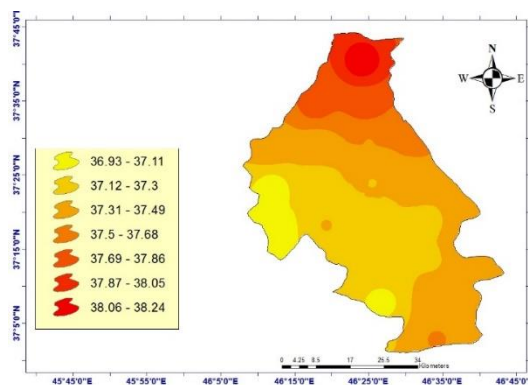
شکل ۱۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در مراغه (دوره پیش‌بینی)



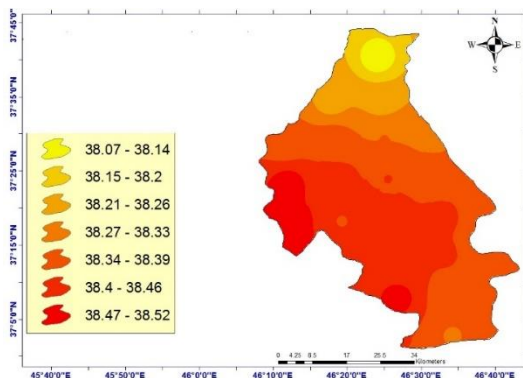
شکل ۱۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در مراغه (دوره پایه)



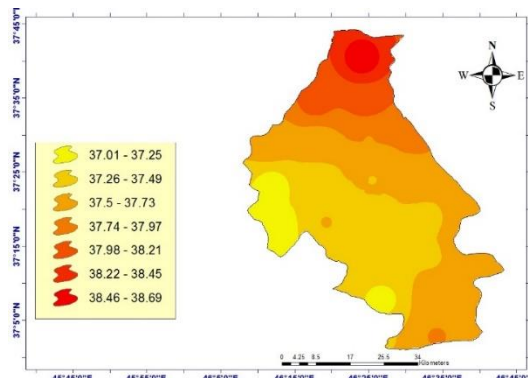
شکل ۱۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در مراغه (دوره پیش‌بینی)



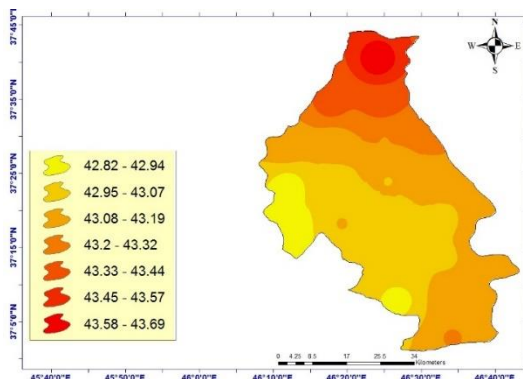
شکل ۱۴- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در مراغه (دوره پایه)



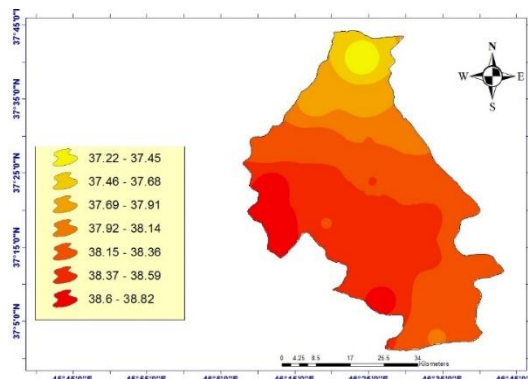
شکل ۱۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در مراغه (دوره پیش‌بینی)



شکل ۱۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در مراغه (دوره پایه)



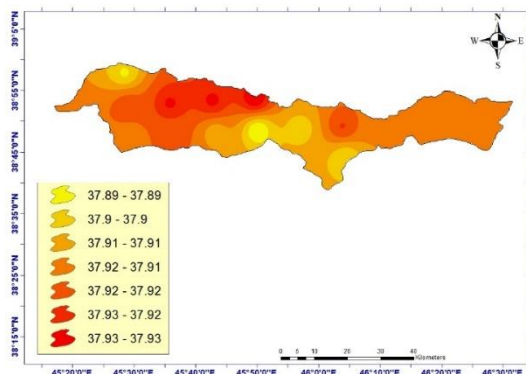
شکل ۱۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در مراغه (دوره پیش‌بینی)



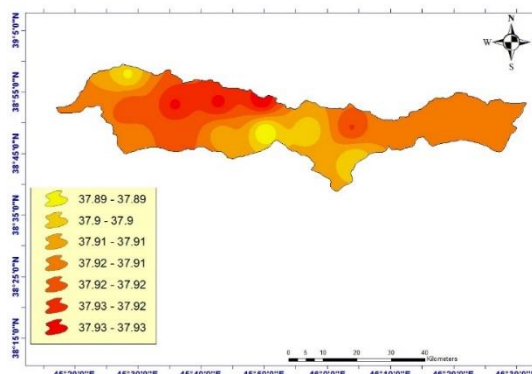
شکل ۱۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در مراغه (دوره پایه)

۳-۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی جلفا در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

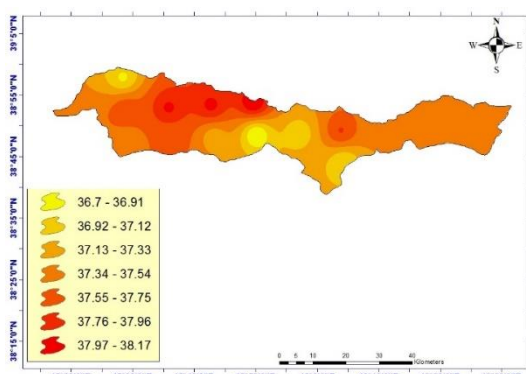
نتایج حاصل از پراکنش مکانی شدت امواج گرمایی در جلفا نشان می‌دهد که در بخش‌های غربی این ایستگاه، بیشینه و کانون امواج گرمایی هم در دوره تاریخی و هم دوره پیش‌بینی شده مستقر شده است. به نظر می‌رسد افزایش عرض جغرافیایی این ایستگاه باعث شده است که شدت امواج گرمایی نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی رقم کمتری باشد و در زمان کمینه و بیشینه دما به ترتیب $0/7$ و $0/5$ درجه سانتی‌گراد باشد. به عبارتی در این ایستگاه، شدت امواج گرمایی در بالاترین زمان اوج، $0/5$ درجه و در کمترین مقدار، $0/7$ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد. این بدان معناست که در سال‌های آتی، شدت امواج گرمایی در این ایستگاه به‌ویژه در بخش‌های غربی آن بیشتر خواهد شد (شکل ۲۰ تا ۲۷).



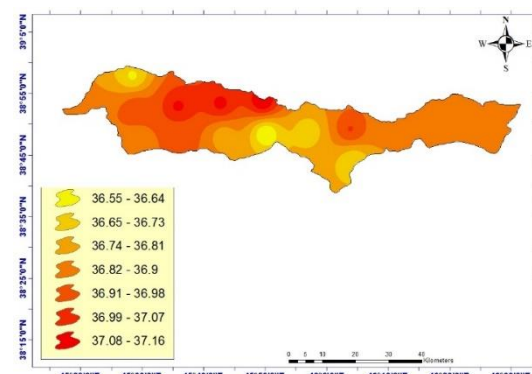
شکل ۲۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پیش‌بینی)



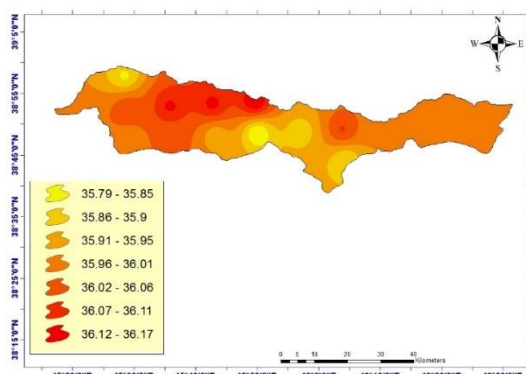
شکل ۲۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پایه)



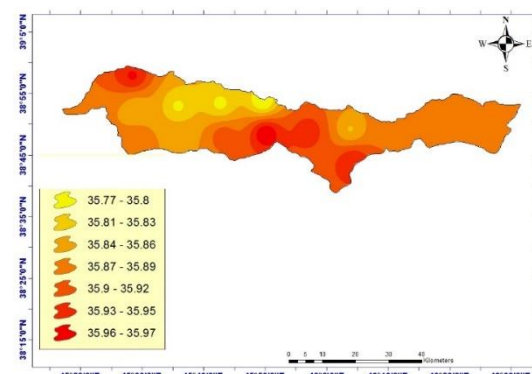
شکل ۲۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پیش‌بینی)



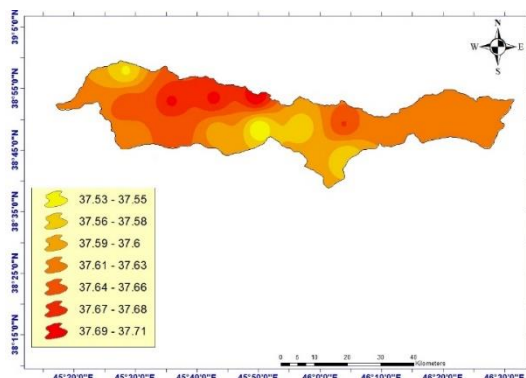
شکل ۲۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پایه)



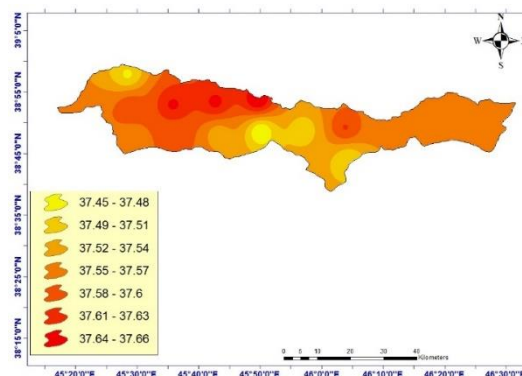
شکل ۲۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پیش‌بینی)



شکل ۲۴- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پایه)



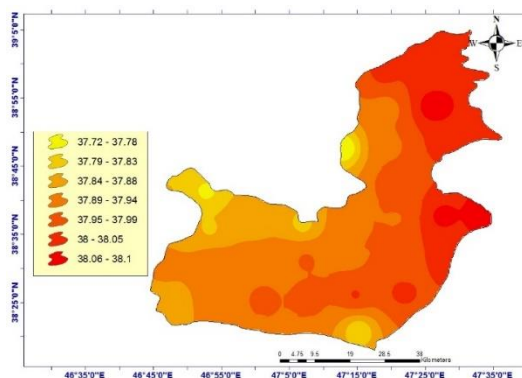
شکل ۲۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)



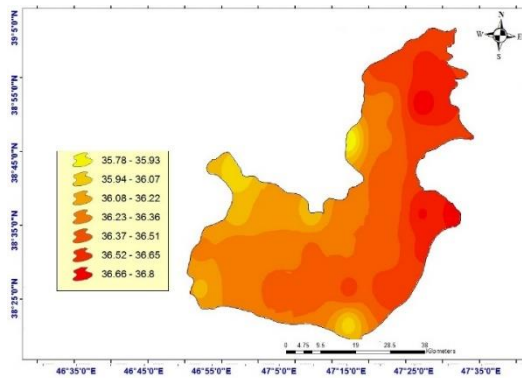
شکل ۲۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)

۳-۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی اهر در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

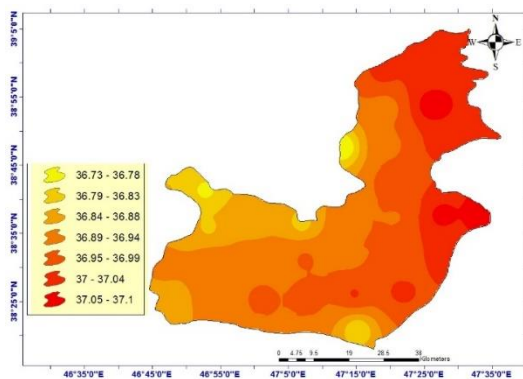
بررسی پراکنش مکانی شدت امواج گرمایی در اهر حاکی از این است که بخش‌های شرقی این استان در همسایگی با دریای خزر، شدیدترین گستره امواج گرمایی را به خود اختصاص داده است و بیشترین میزان آن، با $1/5$ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار آن به $1/7$ درجه خواهد رسید (شکل ۲۸ تا ۳۵).



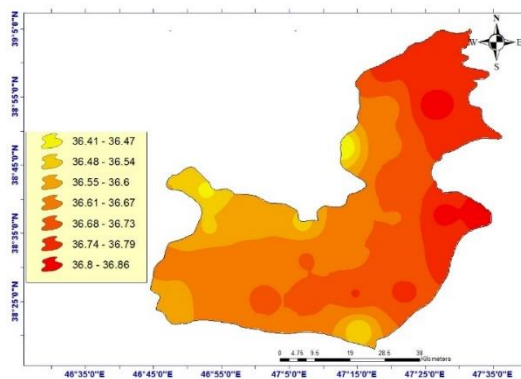
شکل ۲۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پیش‌بینی)



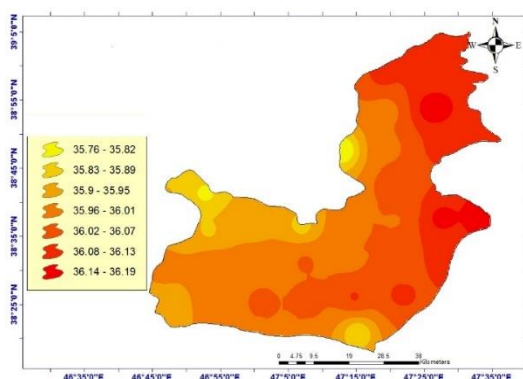
شکل ۲۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پایه)



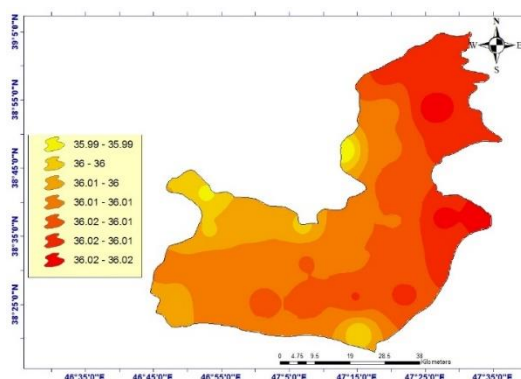
شکل ۳۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پیش‌بینی)



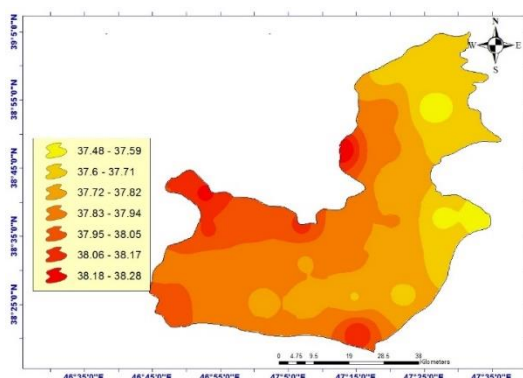
شکل ۳۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پایه)



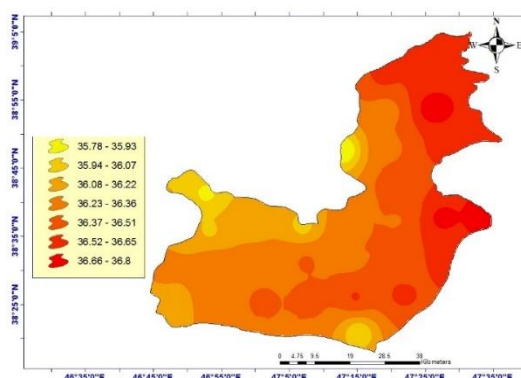
شکل ۳۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پیش‌بینی)



شکل ۳۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پایه)



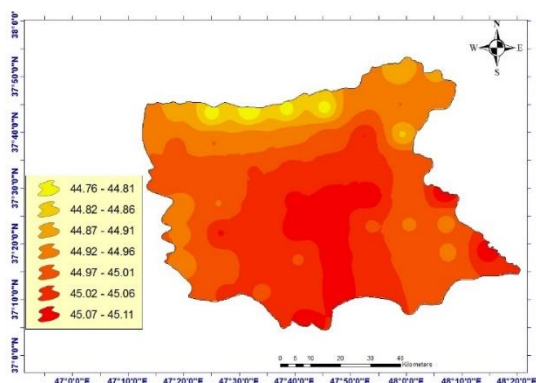
شکل ۳۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)



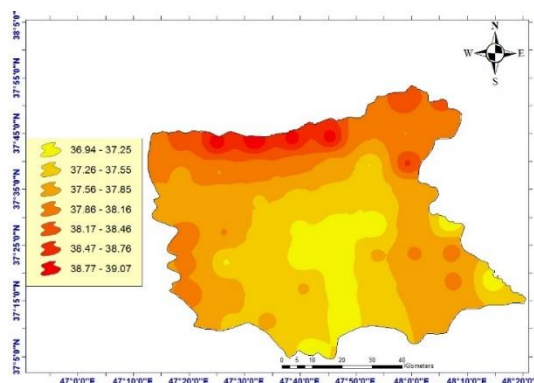
شکل ۳۴- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)

۳-۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی میانه در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

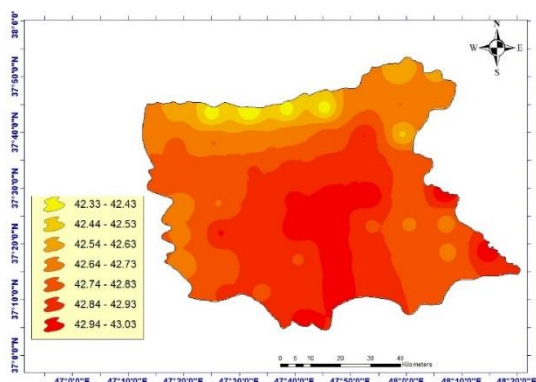
همان‌طور که شکل‌های ۳۶ تا ۴۳ نشان می‌دهد در دوره پایه (سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱)، بیشینه رخداد شدیدترین امواج گرمایی در بخش‌های شمالی ایستگاه میانه مشاهده می‌شود اما در دوره پیش‌بینی (سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۶۵)، کانون شدیدترین امواج گرمایی به بخش‌های مرکزی و جنوبی ایستگاه منتقل شده است که نشان از کاهش عرض جغرافیایی و وسعت مناطق پست و کم‌ارتفاع می‌دهد. بالاترین شدت امواج گرمایی با رقم ۳ درجه و کمترین شدت برابر با ۴/۴ درجه سانتی‌گراد است (اختلاف ۱ درجه‌ای). به نظر می‌رسد در سرتاسر این استان به تبع افزایش دما در بخش‌های جنوبی آن و گسترش زمین‌های کم‌ارتفاع از یک سو و افزایش گرمایش جهانی و اثرگذاری زیاد آن بر اقلیم کره زمین از سوی دیگر، سبب رخداد و تشدید این گونه جابجایی‌های جغرافیایی شده باشد.



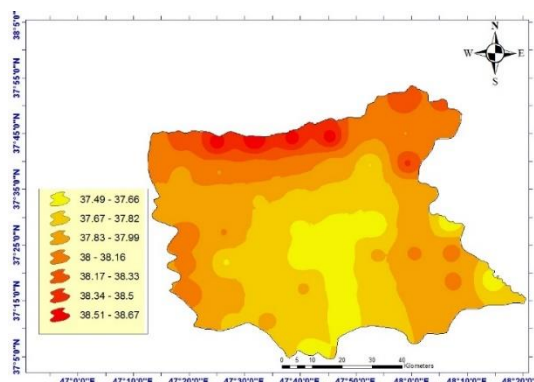
شکل ۳۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پیش‌بینی)



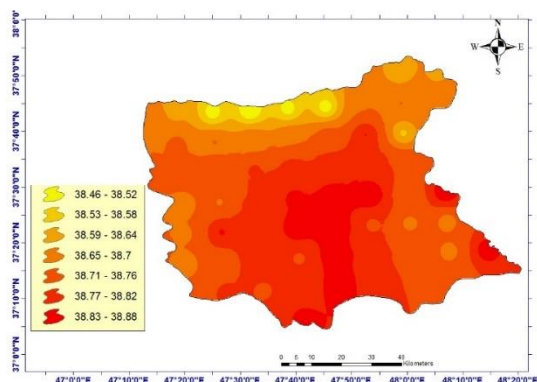
شکل ۳۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پایه)



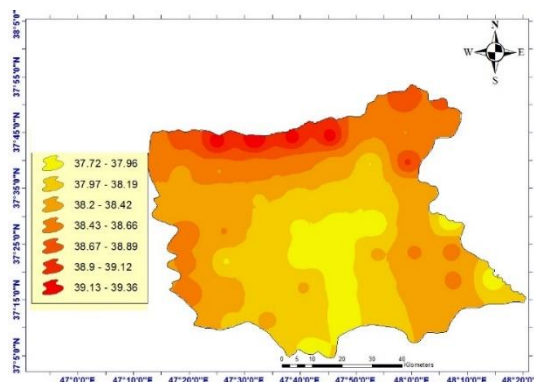
شکل ۳۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پیش‌بینی)



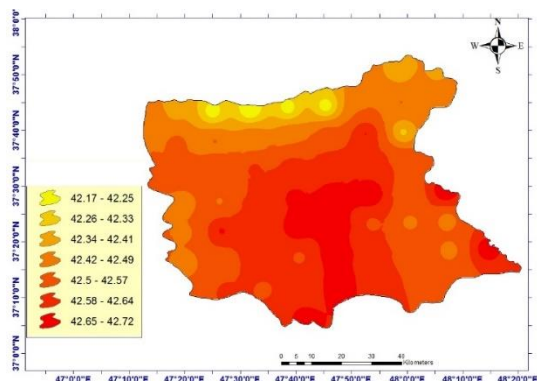
شکل ۳۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پایه)



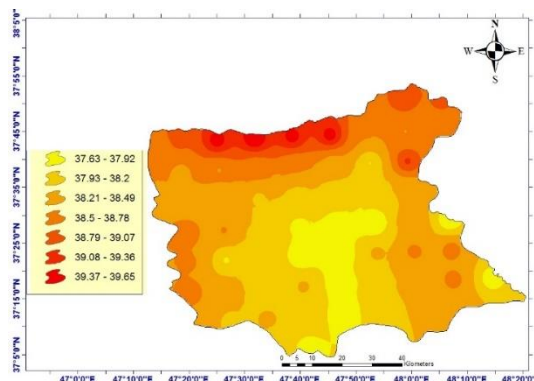
شکل ۴۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پیش‌بینی)



شکل ۴۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پایه)



شکل ۴۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)



شکل ۴۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)

۴- جمع‌بندی

واکاو و شناخت پراکنش شدت امواج گرمایی، امکان برنامه‌ریزی جهت سازگاری یا تطابق با این پدیده فرین اقلیمی را در بخش‌های کشاورزی و صنعتی فراهم می‌کند. نتایج حاکی از پژوهش حاضر نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، شدت امواج گرمایی تا سال ۲۰۶۵ میلادی نسبت به دوره پایه (سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱)، افزایش قابل توجهی خواهد یافت. به طوری که در نیم سده آینده، شدت امواج گرمایی در تبریز با ۱/۳؛ در مراغه با ۱؛ در جلفا با ۰/۷؛ در اهر با ۱ و در میلانه با ۱/۴ درجه سانتی‌گراد با افزایش قابل توجهی مواجه خواهد شد. به نظر می‌رسد با گرم‌تر شدن هوای کره زمین ناشی از اثرگذاری تغییرات اقلیم جهانی، امواج گرمایی کوچک‌تر به هم می‌پیوندند و امواج گرمایی شدیدتر، بزرگ‌تر و ماندگاری را به وجود می‌آورند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد کاهش عرض جغرافیایی در این استان و همجواری با مناطق پست و کم‌ارتفاع، بسامد و شدت رخداد امواج گرمایی را بیشتر خواهد کرد. به نظر می‌رسد در سرتاسر این استان به تبع افزایش دما در بخش‌های جنوبی آن و گسترش

زمین‌های کم‌ارتفاع از یک‌سو و افزایش گرمایش جهانی و اثرگذاری زیاد آن بر اقلیم کره زمین از سوی دیگر، سبب تشدید رخداد امواج گرمایی و گسترش جغرافیایی این پدیده در این مناطق استان شده باشد؛ بنابراین نتایج این پژوهش تأییدی بر یافته‌های فولند و همکاران (۲۰۰۱)؛ کوکس و همکاران (۲۰۱۵)؛ تواردوژ و کوزوفسکا (۲۰۱۷)؛ اسمعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)؛ بهاروندی و همکاران (۱۳۹۹) و دارند (۱۳۹۳) است.

کتابنامه

- اسمعیل‌نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران، *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۳. ۳۹-۵۴. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2013.1321>
- اعتمادیان، الهه؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹۶. تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۱، ۱۷-۳۲. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2697-fa.html>
- بهاروندی، نسیمه؛ مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر؛ ۱۳۹۹. شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی - مکانی آنها در ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۵۹. ۳۹-۵۸. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3146-fa.html>
- جهانبخش، سعید؛ قویدل، فاطمه؛ اشجعی، محمد؛ ۱۳۹۴. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل هم‌پدیدی امواج گرمایی به منظور کاهش مخاطرات انسانی در شمال غرب لیران. *دانش مخاطرات*. شماره ۴. ۳۷۷-۳۹۱. [10.22059/JHSCI.2015.58265](https://doi.org/10.22059/JHSCI.2015.58265)
- حدادی، حسین؛ ۱۳۸۸. *تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما در ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا. دانشگاه تربیت مدرس. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1561>
- دارند، محمد؛ ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین. *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۵. ۱۶۷-۱۸۰. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1561>
- صادقی، سلیمان؛ دوستان، رضا؛ صانعی، معصومه؛ ۱۳۹۴. تحلیل فضایی-زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، شماره ۴۷، ۳۱-۱۹. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_9633.html
- علیزاده، امین؛ ۱۳۹۱. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد: چاپ ۳۴. <https://www.gisoom.com/book/11153333>
- قویدل‌رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابرگرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، شماره ۳. ۱۰۰-۸۵. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161274.html
- یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ علیزاده، تیمور؛ ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۱۰۲. ۷۱-۵۱. https://journals.ui.ac.ir/article_17901.html

- Astrom D, Forsberg B, Roclov J., 2011. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies, *Maturities*, 69: 99–105.
[https://www.maturitas.org/article/S0378-5122\(11\)00080-6/pdf](https://www.maturitas.org/article/S0378-5122(11)00080-6/pdf)
- Atilgan A, Yucel A, Oz H, Saltuk B., 2016. Determination of Heating and Cooling Degree-Days for Broiler Breeding in the Tigris basin, *Scientific*. 20: 2285-2290.
<https://www.researchgate.net/publication/309321770>.
- Auroop R, Gangulya K. S, David J, Marcia B. S, Esther S. P, Nagendra S, John B. D, Lawrence B., 2009. Higher Trends but Larger Uncertainty and Geographic Variability in 21st Century Temperature and Heat Waves, 37: 301-315.
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0904495106>
- Baldi M, Massimiliano P, Francesco C., 2004. Heat Wave in the Mediterranean Region Analysis and Model Results. Institute of Biometeorology, CNR. ROM. ITALY 10(5).
https://ams.confex.com/ams/Annual2005/techprogram/paper_85262.htm
- Confalonieri U, Menne B, Akhtar R, Ebi K.L, Hauengue M, Kovats R.S, Revich B, Woodward, A., 2007. Human health. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf
- Cox R, Martin D, Carsten R, Susanne B., 2015. Simple future weather files for estimating heating and cooling demand, *Building and Environment*. 83: 104-114.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001024>
- D, Woodward A., 2003. *Climate Change and Human Health, Risks and Responses*, World Health Organization, Geneva. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42742>
- Ding T, Qian W, Yan Z., 2010. Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007, *International Journal of Climatology*. 30:1452-1462.
<https://www.researchgate.net/publication/227671017>
- Elizabeth M, Federico C., 2013. Variability and trends of heating degree-days in Argentina, *International Journal of Climatology*. 33: 2352-2361.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188718300800>
- Elizbarashvili M, Chartolani G, Khardziani T. 2018. Variations and trends of heating and cooling degree-days in Georgia for 1961–1990 year period, *Annals of Agrarian Science*. 16: 152-159.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188718300800>
- Farooq M, Bramley H, Palta J. A, Kadambot H. M. S., 2011. Heat Stress in Wheat during Reproductive and Grain-Filling Phases, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30: 491–507.
<https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615687>
- Folland, C.K., T.R. Karl, J.R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger and S.-W. Wang., 2001. Observed Climate Variability and Change. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf
- Fricko F, Havlik P, Rogeli J, Klimont Z, Riahi K., 2016. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42: 251-267.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300784>
- Haddow G, Bullock J.A, Haddow K., 2008. *Global warming, natural hazards and emergency management*: CRC Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)., 2007. Summary for policy maker's climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf>
- JenSu H, JeanChen M, YaoLin Ch, ChunLung SH, ChihWu P, ISung T., 2013. Relationship between heat index and mortality of 6 major cities in Taiwan, *Science of the Total Environment*, 442: 275–281.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712012685>
- Koppe C, Kovats S, Jendritzky G, Menne B., 2004. Heat waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change Series, World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107552>.
- Pusat S, Ekmekci I., 2015. A study on degree-day regions of Turkey, *Energy Efficiency*. 9: 525-532. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-015-9378-7>
- Rosa M, Vincenzo B, Federico S, Luca T. A., 2014. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree-day's approach, *Theoretical and applied climatology*, 96: 180-194.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261914004309>
- Sequera P, Rhone O, González J. E, Ghebreegzabher A. T, Bornstein R, Lebassi B., 2011. Impacts of climate changes in the Northern Pacific Coast on related regional scale energy demands. In ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability. 249-257.
<https://asmedigitalcollection.asme.org/ES/proceedings-abstract/ES2011/54686/249/354538>
- Twardosz R, Ursezula K. C., 2013. Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (1951–2010). *Theron. Appl. Climatol*, 112: 234-250.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0757-0>
- Wolf T, McGregor G., 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1: 59-68.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094713000054>
- Zampieri M, Russo S, Di Sabatino S, Michetti M, Scoccimarro E, Gualdi S., 2016. Global Assessment of Heat Wave Magnitudes from 1901 to 2010 and Implications for the River Discharge of the Alps, *Science of the Total Environment*, 571: 1330-1339.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716314516>



The Impact of Air Quality Index (AQI) and Meteorological Factors on Covid-19 Outbreak (Case Study: Tehran Province)

Ali Mohammadhasani^a, Hamidreza Kamyab^{b*}, Hasan Rzaei^c

^a MA Student in Evaluation and Land-use Planning, Department of Environment, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

^b Assistant Professor of Environment Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

^c Associate Professor of Environment Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 8 October 2022

Revised: 6 December 2022

Accepted: 18 December 2022

Abstract

The relationship between air quality and the spread of Covid-19 has been proven to be sometimes positive and sometimes negative in previous studies. A research gap was seen in Iran regarding the impact of air quality on the spread of Covid-19. Thus, this study examined the relationship between the reproductive number of Covid-19 with the air quality index and meteorological factors. The reproductive number is an index to explain the spread of a viral disease. The air quality index related to each of the pollutants NO₂, O₃, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, and the criterion pollutant were utilized in this study. Meteorological factors, including temperature, relative humidity, precipitation, air pressure, and wind speed were used. The data were obtained weekly and at Tehran province. The dependence of variables was determined using Pearson and Spearman correlation coefficients. The examined relationships were then estimated by regression. Each independent variable was tested in a distinct regression because of the limitations of the study. The linear and curvature regressions were performed according to the dispersion of variables and statistical assumptions. The best model was fitted based on statistical significance and regression coefficient of determination. The results of correlation tests showed the dependence of reproductive number with PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and relative humidity. Regression tests also confirmed the relationship between the reproductive number (dependent variable) and each of the independent variables PM₁₀ (coefficient of determination 0.274), PM_{2.5} (coefficient of determination 0.358), SO₂ (coefficient of determination 0.359), and relative humidity (determination coefficient 0.213). The results indicated that an increase in PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and decrease in relative humidity was associated with an increase in spread of Covid-19.

Keywords: Reproductive Number, Air Pollution, Particulates, Epidemic

*. Corresponding author: Hamidreza Kamyab E-mail: hrKamyab@gau.ac.ir Tel: + 989112252533

How to cite this Article: Mohammadhasani, A., Kamyab, H., Rzaei, H. (2022). The Impact of Air Quality Index (AQI) and meteorological factors on Ccovid-19 outbreak (Case study: Tehian province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 147-163.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.79489.1297



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.79489.1297> 


جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۶۳-۱۴۷

مقاله پژوهشی

تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران)

علی محمدحسینی - دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

 حمیدرضا کامیاب^۱ - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

گرگان، ایران

حسن رضائی - دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۲۷

چکیده

ارتباط متغیرهای کیفیت هوا با شیوع کووید-۱۹ در مطالعات پیشین، گاهی مثبت و گاهی منفی بوده است. خلاصه مطالعاتی در زمینه تأثیر کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ در ایران مشاهده شده است. لذا رابطه عدد مولد نسلی کووید-۱۹ با شاخص کیفیت هوا و عوامل هواشناسی در مطالعه حاضر بررسی شد. عدد مولد نسلی، شاخصی برای تبیین میزان شیوع یک بیماری ویروسی است. در این مطالعه، از شاخص کیفیت هوا مربوط به هر یک از آلاینده‌های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، NO_2 و آلاینده معیار استفاده شد. از عوامل هواشناسی نیز دما، رطوبت نسبی، بارش، فشار هوا و سرعت باد استفاده شد. داده‌های این مطالعه، به صورت هفتگی و در سطح استان تهران تهیه شد. با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن، وابستگی متغیرها مشخص شد. سپس روابط مورد نظر، توسط رگرسیون برآورد شد. به علت

Email: hrKamyab@gau.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۲۵۲۵۳۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

محمدحسینی، علی؛ کامیاب، حمیدرضا؛ رضائی، حسن؛ ۱۴۰۲. تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع

کووید-۱۹، مطالعه موردی: استان تهران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). ۱۶۳-۱۴۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.79489.1297>

محدودیت‌های مطالعه، هر متغیر مستقل در یک رگرسیون مجزا آزمون شد. با توجه به پراکندگی متغیرها و پیش‌فرض‌های آماری، رگرسیون‌های خطی و انحنایی اجرا شد. بر اساس معنی‌داری آماری و ضریب تعیین رگرسیون، بهترین مدل برازش شد. نتایج آزمون‌های همبستگی، وابستگی عدد مولد نسلی با PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. آزمون‌های رگرسیون نیز، رابطه عدد مولد نسلی (متغیر وابسته) با هر یک از متغیرهای مستقل PM_{10} (ضریب تعیین ۰/۲۷۴)، $PM_{2.5}$ (ضریب تعیین ۰/۳۵۸)، SO_2 (ضریب تعیین ۰/۳۵۹) و رطوبت نسبی (ضریب تعیین ۰/۲۱۳) را تأیید می‌کند. یافته‌ها حاکی از آن است که، افزایش PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و کاهش رطوبت نسبی، همراه با افزایش شیوع کووید-۱۹ بوده است.

کلیدواژه‌ها: عدد مولد نسلی، آلودگی هوا، ذرات معلق، همه‌گیری.

۱- مقدمه

بیماری کووید-۱۹ از دسامبر ۲۰۱۹ در چین گسترش یافته (لو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ زو^۲ و همکاران، ۲۰۲۰ ب) و پس از مدتی در ۱۱ مارس ۲۰۲۰ به یک بیماری همه‌گیر در گستره جهانی تبدیل شد (گیلبرت^۳ و همکاران، ۲۰۲۰؛ سهرابی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). وزارت بهداشت ایران نخستین ابتلا به کووید-۱۹ در این کشور را ۱۹ فوریه ۲۰۲۰ اعلام کرد، که در حدود سه هفته بعد، یعنی در ۱۶ مارس ۲۰۲۰، تمام استان‌های کشور به کووید-۱۹ درگیر شدند. سازمان ملل متحد این بیماری را بحران اقتصادی اجتماعی و انسانی توصیف کرده است (سازمان ملل متحد، ۲۰۲۰). عامل این بیماری، ویروس SARS-CoV-2 است (گوربالنیا^۵ و همکاران، ۲۰۲۰)، که با فعالیت‌هایی نظیر «تنفس، عطسه، سرفه، صحبت کردن و آواز خواندن»، همراه با ترشحات از بدن فرد آلوده خارج می‌شود. این ترشحات آلوده از طریق «تنفس، لمس و رسوب» و از مجاری «دهان، بینی یا چشم»، فرد سالم را آلوده می‌کنند (هوانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۰).

عوامل هواشناسی، اقلیم و آلاینده‌های هوا می‌توانند بر آسیب‌پذیری و شیوع کووید-۱۹ تأثیر بگذارند (ژو^۷ و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران^۸ و همکاران، ۲۰۲۰؛ بشیر^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). ژو و همکاران (۲۰۲۰)، رابطه بین قرار گرفتن

-
- 1 Lu
 - 2 Xu, b
 - 3 Gilbert
 - 4 Sohrabi
 - 5 United Nations
 - 6 Gorbalenya
 - 7 Huang
 - 8 WHO
 - 9 Zhu
 - 10 Zoran
 - 11 Bashir

کوتاه‌مدت در معرض آلاینده‌های هوا با موارد ابتلا به کووید-۱۹ را در چین مورد مطالعه قرار دادند و مشخص کردند افزایش آلاینده‌های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، NO_2 موجب افزایش شیوع کووید-۱۹ شده است. وو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، افزایش یک میکروگرم بر مترمکعب به میانگین $PM_{2.5}$ را موجب افزایش ۱۱٪ مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ گزارش نمودند. چاکرابارتی^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، ارتباط بین «قرار گرفتن بلندمدت در معرض آلودگی هوا» و «گسترش کووید-۱۹» را در ایالات متحده بر پایه عدد مولد نسلی پایه (R0) بررسی نموده و نشان دادند که افزایش یک میکروگرم بر مترمکعب $PM_{2.5}$ با افزایش ۰/۲۵ مقدار R0 مرتبط است (چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه انجام شده در شهر دهلی، رابطه منفی بین شیوع کووید-۱۹ با CO ، SO_2 ، NO_2 و رطوبت نسبی را نشان داده است در حالی که با O_3 و دما رابطه مثبت داشته است (دوتا و دوتا^۳، ۲۰۲۱). زو^۴ و همکاران (۲۰۲۰ الف)، ارتباط AQI (شاخص کیفیت هوا) با شیوع کووید-۱۹ را در چندین شهر چین تأیید کردند (زو و همکاران، ۲۰۲۰ الف). همچنین در مطالعه‌ای مشابه در پایتخت تایلند، بین شیوع کووید-۱۹ با رطوبت نسبی، رطوبت مطلق، دما و سرعت باد همبستگی مثبت و با PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، SO_2 ، NO_2 و AQI همبستگی منفی دیده شده است (سانگخام^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). لین^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، همبستگی مثبت CO و رطوبت نسبی با عدد مولد نسلی پایه کووید-۱۹ را تأیید کردند. همچنین همبستگی منفی NO_2 ، فشار هوا، سرعت باد و دما با عدد مولد نسلی پایه کووید-۱۹ را معنی‌دار اعلام نمودند (لین و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه زوران و همکاران (۲۰۲۰) در منطقه‌ای از شهر میلان در ایتالیا، بین شیوع کووید-۱۹ با رطوبت نسبی هوا و بارش همبستگی منفی و با دما همبستگی مثبت دیده شده است.

نتایج مطالعات پیشین، در مواردی چون «نوع ارتباط (منفی یا مثبت)، میزان ارتباط و تأیید یا رد رابطه»، شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با هم دارند. گاهی این تفاوت‌ها موجب ایجاد تناقض می‌شود. مثلاً رابطه مثبت کووید-۱۹ با NO_2 در مطالعات ژو و همکاران (۲۰۲۰) و آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا^۷ (۲۰۲۰) و نیز رابطه منفی آن‌ها در مطالعات دوتا و دوتا (۲۰۲۱)، سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، لین و همکاران (۲۰۲۰)، زوران و همکاران (۲۰۲۰) بحث‌برانگیز است. در مدل‌سازی و مدیریت همه‌گیری کووید-۱۹، می‌بایست روابط بین «هواشناسی و آلودگی هوا با بیماری» را لحاظ نمود (لین و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طوری‌که محققان، کاهش اثرات کووید-۱۹ را مستلزم پژوهش‌هایی با مضمون «روابط کیفیت هوا با کووید-۱۹» می‌دانند (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰؛ کومار و کومار^۸، ۲۰۲۰؛ پین^۹ و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوگان

1 Wu

2 Chakrabarty

3 Dutta & Dutta

4 Xu, a

5 Sangkham

6 Lin

7 Arias Velásquez & Mejía Lara

8 Kumar & Kumar

9 Pani

او همکاران، ۲۰۲۰). برخی مطالعات مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰)، وو و همکاران (۲۰۲۰) و آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا (۲۰۲۰) برای تکمیل نتایج و غلبه بر محدودیت‌ها، نیاز به پژوهش‌های بیشتر در زمینه «رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا» را اذعان داشتند. یکی از این محدودیت‌ها، منطقه مطالعاتی است که باید به سطح جهانی برسد. از طرفی در بررسی‌های انجام شده، مطالعه‌ای در باب «رابطه بین کووید-۱۹ و کیفیت هوا در ایران» دیده نمی‌شود. لذا مطالعه حاضر، رابطه شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی با شیوع کووید-۱۹ در استان تهران مورد بررسی قرار داده است.

۲- مواد و روش

۲-۱- محدوده مکانی و زمانی مطالعه

پژوهش حاضر، تأثیر AQI و عوامل هواشناسی بر روی شیوع کووید-۱۹ در استان تهران را بررسی نمود. استان تهران با تراکم ۱۰۱۹/۸ نفر در هر کیلومترمربع، یکی از ۳۱ استان کشور و پایتخت ایران است. تهران، با بیش از ۱۳/۸ میلیون نفر جمعیت در سال ۲۰۱۹، پرجمعیت‌ترین و متراکم‌ترین استان کشور بود (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). دوره زمانی مطالعه حاضر و مقیاس مکانی و زمانی آن، با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های کووید-۱۹ انتخاب شده است. اقدامات مقابله با کووید-۱۹ می‌تواند با کاهش تحرک جمعیت و مسافرت، شیوع کووید-۱۹ را کاهش دهد (کرامر و همکاران، ۲۰۲۰). لذا دوره زمانی مطالعه حاضر، پس از گذشت چندین هفته از اقدامات مقابله با کووید-۱۹، یعنی از ۱۱ آوریل ۲۰۲۰ شروع شد، تا اثر پویایی جمعیت را کاهش داده و از سوگیری اشتباه جلوگیری کند. چاکربارتی و همکاران (۲۰۲۰) نیز دوره مطالعه خود را در زمان اجرای فاصله‌گذاری اجتماعی انجام دادند تا مداخله فعالیت‌های اجتماعی را به حداقل برسانند. انتهای دوره زمانی مطالعه حاضر، ۱۳ نوامبر ۲۰۲۰ مشخص شد. همچنین مکان و زمان مطالعه در مقیاس استانی و هفتگی منظور شد.

۲-۲- جمع‌آوری داده

کمیته اپیدمیولوژیک وزارت بهداشت ایران، سرعت گسترش کووید-۱۹ در هر استان را با شاخص عدد مولد نسلی (R) بررسی نموده و با مقیاس زمانی هفتگی گزارش کرد. عدد مولد نسلی، یک شاخص در علم همه‌گیرشناسی است و برابر است با میانگین تعداد افرادی که عامل بیماری‌زا را از یک فرد دریافت می‌نماید. بر اساس شاخص R، سه احتمال برای گسترش یا کاهش بیماری وجود دارد. اگر R، بزرگ‌تر از یک باشد، یعنی بیماری در حال گسترش است. اگر R، مساوی یک باشد، یعنی بیماری به ثبات نسبی رسیده است (به حالت آندمیک یا بومی درآمده است). اگر R، کوچک‌تر از یک باشد، یعنی بیماری در حال کاهش است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ چاکربارتی و همکاران،

۲۰۲۰). مطالعه حاضر، شاخص R را به عنوان نرخ شیوع کووید-۱۹، از تارنمای وزارت بهداشت ایران (<https://behdasht.gov.ir>) دریافت و استفاده نمود.

برخی کشورها مانند ایران و آمریکا، میزان آلودگی هوا را با شاخصی به نام AQI اطلاع رسانی می کنند. مقادیر AQI می تواند در دامنه صفر تا ۵۰۰ باشد (یوسفی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). سازمان حفاظت محیط زیست ایران، با استفاده از داده های ایستگاه های پایش آلودگی هوا در سراسر کشور، میزان آلودگی هوا را با شاخص AQI به صورت روزانه گزارش می کند. این سازمان، شاخص AQI را برای هر کدام از آلاینده های NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} تهیه می کند. از بین آلاینده های مذکور، بالاترین مقدار را به عنوان آلاینده معیار معرفی می کند. مطالعه حاضر، داده های AQI مربوط به NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و آلاینده معیار را از تارنمای سازمان حفاظت محیط زیست ایران (<https://aqms.doe.ir>) دریافت نمود. داده های AQI مذکور، از ۴۷ ایستگاه در ۱۴ شهرستان از استان تهران بود. همچنین عوامل هواشناسی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا و میزان بارندگی را از سازمان هواشناسی ایران در بستر بر خط (<https://data.irimo.ir>) دریافت نمود. داده های هواشناسی مذکور، از ۱۳ ایستگاه در استان تهران بود.

۲-۳- تحلیل آماری

برای آگاهی از وجود، شدت و جهت وابستگی بین متغیرها، ضریب همبستگی بین آن ها بررسی شد. متغیرهای مذکور شامل NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، آلاینده معیار، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارش و عدد مولد نسلی بود. در این مطالعه، از دو ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن استفاده شد. این روش در مطالعات پیشین نیز به کار رفته است (دوگان و همکاران، ۲۰۲۰؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰). آزمون های همبستگی به صورت دو دنباله و در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون، وابستگی خطی دو متغیر نرمال را نشان می دهد، که فرمول آن در رابطه (۱) تعریف شد:

$$r = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_i (X_i - \bar{X})^2) \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه: r ضریب همبستگی پیرسون، \bar{X} و \bar{Y} نیز به ترتیب میانگین مشاهدات X و Y هستند. پیرسون، یک آزمون پارامتری است و با داده های نرمال کار می کند، که وابستگی خطی دو متغیر را نشان می دهد. با توجه به عدم بهنجاری برخی داده ها، برای اطمینان بیش تر، ضریب همبستگی اسپیرمن نیز بررسی شد. اسپیرمن، یک آزمون ناپارامتری است که وابستگی یکنواخت دو متغیر رتبه ای را نشان می دهد. فرمول اسپیرمن در رابطه (۲) تعریف شد:

$$rs = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه: IS ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهدات و d تفاوت رتبه‌ها است. در ضمن داده‌های مطالعه به صورت کمی بود، که در رابطه بالا به صورت رتبه‌ای در نظر گرفته شد.

سپس برای تعیین میزان و نحوه رابطه متغیرها (شاخص کیفیت هوا و عوامل هواشناسی) با شاخص R ، از آزمون‌های رگرسیون استفاده شد. آزمون رگرسیون امکان بررسی چند متغیر مستقل در یک رابطه را میسر می‌سازد، اما کوچک بودن حجم نمونه و خودهمبستگی در خطاها، موجب شد که هر متغیر مستقل در یک مدل مجزا بررسی شود. طبق رابطه (۳) به ازای K متغیر مستقل در یک مدل رگرسیون، حداقل به تعداد N داده نیاز است (گرین^۱، ۱۹۹۱). البته برخی پژوهشگران، حداقل تعداد ۱۰ نمونه و در وضعیت مطلوب ۴۰ نمونه را برای هر متغیر مستقل در رگرسیون پیشنهاد می‌کنند (براس^۲ و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیانی^{۱۳۹۳}). آزمون دوربین واتسون (Durbin-Watson) در رگرسیون‌های خطی چندگانه، عدم استقلال خطاها را نشان داد. استفاده از جدول مقادیر بحرانی دوربین واتسون، خودهمبستگی مثبت را بیان کرد. یکی از مفروضه‌های رگرسیون خطی، مستقل بودن باقی‌مانده‌ها (خطاها) است که در صورت نقض، مدل با مشکل مواجه می‌شود؛ قرار گرفتن داده‌ها در یک بازه زمانی، اغلب موجب نقض این فرض می‌شود (قودجانی، ۱۳۹۴). در ضمن بین متغیرهای مستقل نیز، همبستگی برقرار بود، اما عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor/VIF) و میزان تحمل (Tolerance) نگران‌کننده نبود. مقادیر آماره VIF کوچک‌تر و مساوی عدد سه و میزان تحمل نیز بزرگ‌تر از ۰/۱ بود. در صورتی که آماره میزان تحمل کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، مشکل آفرین است و اگر مقادیر VIF در بازه یک تا ۱۰ باشد، هم خطی ضعیف است و می‌توان از آن چشم‌پوشی نمود (گولدر و گولدر^۳، ۲۰۱۰؛ کیانی^{۱۳۹۳}). به هر حال موارد یاد شده، موجب تحلیل هر متغیر کیفیت هوا در یک رگرسیون مجزا شد.

$$N \geq 8K + 50 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در مطالعه ژو و همکاران (۲۰۲۰) نیز به علت وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، از مدل‌های تک‌آلاینده برای بررسی رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا استفاده شد. برخی مطالعات پیشین نیز، فقط یک آلاینده هوا را در رابطه با کووید-۱۹ بررسی نمودند (وو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات پیشین، با توجه به شرایط، از روش‌های مختلفی برای بررسی رابطه مورد نظر استفاده نمودند. مطالعه حاضر نیز روابط خطی و غیر خطی را به نحوی بررسی نمود. اثر آلودگی هوای یک روز می‌تواند تا چند روز آینده دوام داشته باشد (یانگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین از زمان ورود ویروس SARS-CoV-2 به بدن تا ظهور نشانه‌های کووید-۱۹، چند روز به

1 Green
2 Brace
3 Golder & Golder
4 Yang

طول می‌انجامد. به همین دلیل، ژو و همکاران (۲۰۲۰) و زی و ژو^۱ (۲۰۲۰)، تأثیر کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ را در تأخیرهای (۷-۰)، (۱۴-۰) و (۲۱-۰) روزه محاسبه نمودند. از طرفی، تأخیر تأثیر متغیرهای کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ برای (۳-۰) روز در مطالعه زو و همکاران (۲۰۲۰ الف) و برای (۲-۰) روز در مطالعه دوگان و همکاران (۲۰۲۰) تأیید شد. با توجه به موارد فوق، مقیاس زمانی مطالعه حاضر به صورت هفتگی در نظر گرفته شده است.

در بررسی رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا، توصیه شده است که مداخله‌گرهای بالقوه مانند جمعیت را باید در نظر گرفت (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ رانکل^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). در برخی مطالعات پیشین عوامل مداخله‌گر بالقوه مانند جمعیت بررسی شده است (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰).. داده‌های مطالعه حاضر، فقط شامل یک مقطع (استان تهران) بود، لذا قادر به بررسی متغیرهای مداخله‌گر بالقوه مانند جمعیت نبود، چراکه مقدار متغیر جمعیت برای همه مشاهدات، یکسان است. مطالعه دوتا و دوتا (۲۰۲۱) نیز در یک مقطع انجام شد و مداخله‌گرهایی مانند جمعیت و عوامل اقتصادی-اجتماعی را در نظر نگرفته است. حتی مطالعه رانکل و همکاران (۲۰۲۰) که در چند مقطع انجام شده است تأثیر مداخله‌گرها را در نظر نگرفته‌اند.

با توجه به نمودار پراکندگی متغیرها و ضریب همبستگی در مطالعه حاضر، مدل‌های خطی و غیرخطی پیش‌بینی شد. آزمون‌های پیرسون و اسپیرمن، به ترتیب می‌توانند حاکی از خطی یا غیرخطی بودن روابط باشند. رگرسیون‌های خطی (Linear) و انحنایی (Curve Estimation) برای متغیر وابسته عدد مولد نسلی (R) و هر یک از متغیرهای مستقل کیفیت هوا آزمون شد. در تحلیل رگرسیون انحنایی، تعداد نه مدل (لگاریتمی، معکوس، سهمی، درجه سه، توانی، مرکب، منحنی S، رشد و نمایی) بررسی شد. سپس با توجه به «معنی‌داری آماری و آماره F، خطای استاندارد برآورد و ضریب تعیین رگرسیون»، بهترین مدل برازش شد. البته برای رگرسیون خطی، پیش‌فرض‌های آن نیز بررسی شد. مدل‌های برازش شده به شرح زیر است (روابط ۴ و ۵):

$$R = b_0 + (b_1 \times \text{Log}(X)) + \varepsilon \quad \text{رابطه (۴): مدل لگاریتمی}$$

$$R = e^{b_0 + (b_1/X)} + \varepsilon \quad \text{رابطه (۵): منحنی S}$$

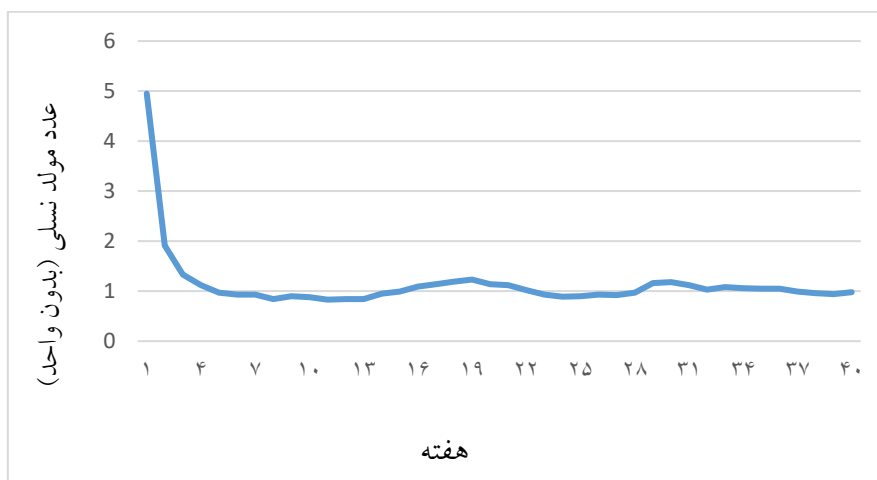
که در این رابطه، R عدد مولد نسلی کووید-۱۹ (متغیر وابسته)، b_0 ضریب ثابت معادله (عرض از مبدأ)، b_1 ضریب متغیر مستقل با توان یک، e عدد اویلر (Euler's Number)، Log لگاریتم، X متغیر مستقل و ε خطا است. کلیه آزمون‌های آماری در مطالعه حاضر با نسخه ۲۸/۰/۰ نرم‌افزار IBM SPSS Statistics انجام شد.

1 Xie & zhu

2 Runkle

۳- نتایج و بحث

شکل (۱)، سیر همه‌گیری کووید-۱۹ در استان تهران را از اوایل شناسایی این بیماری در ایران نشان می‌دهد. طبق شکل (۱)، مقدار R در چند هفته اول بالاتر از هفته‌های دیگر بوده است، که سریعاً کاهش یافته و حول ($R=1$) تغییر می‌کند. علت بالا بودن شاخص R در اوایل همه‌گیری می‌تواند ناشی از عدم آمادگی جامعه و مسئولان در برابر بیماری باشد. سیر نزولی R در پنج هفته نخست به صورت $۴/۹۵$ ، $۱/۹۱$ ، $۱/۳۳$ ، $۱/۱۲$ و $۰/۹۷$ بود. با توجه به گزارش‌های کمیته اپیدمیولوژیک وزارت بهداشت ایران، دلیل این کاهش سریع را می‌توان اعمال محدودیت‌های کووید-۱۹ و افزایش بهره‌وری امکانات بهداشتی و درمانی کشور دانست. همین عوامل باعث شد که دوره زمانی مطالعه حاضر، از حدود هشت هفته پس از شناسایی بیماری در کشور شروع شود؛ یعنی از هفته شماره نه تا هفته شماره ۳۹ در شکل (۱). کرامر و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثرگذاری اقدامات مقابله با کووید-۱۹ را تأیید کردند. آمار توصیفی داده‌های مذکور، در جدول (۱) بیان شد. با توجه به آزمون کولموگروف اسمیرنوف (جدول ۱)، متغیرهای عدد مولد نسلی، آلاینده معیار، سرعت باد، رطوبت نسبی، NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO و PM_{10} دارای توزیع نرمال بودند، اما متغیرهای دما، فشار هوا، بارش و $PM_{2.5}$ فاقد توزیع نرمال بودند.



شکل ۱- تغییرات عدد مولد نسلی استان تهران در ۴۰ هفته نخست همه‌گیری

جدول ۱- آمار توصیفی داده‌های استان تهران در مدت ۳۱ هفته

متغیرها	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	Kolmogorov-Smirnov (p-value)
عدد مولد نسلی *	۱/۰۰۸	۱/۲۳	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۲
آلاینده معیار *	۸۰/۲۵۴	۱۱۴/۸۴۸	۶۰/۱۹۷	۱۳/۷	۰/۲
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۶۰۵	۳/۵۵۷	۱/۶۸	۰/۵	۰/۲

متغیرها	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	Kolmogorov-Smirnova (p-value)
دما (سانتی‌گراد)	۲۱/۲۹	۳۰/۱۷۳	۹/۴۸۲	۵/۷	۰/۰۷۳
فشار هوا (هکتو پاسکال)	۸۴۲/۱۰۸	۸۵۴/۱۰۹	۸۳۰/۶۸۵	۸/۱	۰/۰۰۵
بارش (میلی‌متر)	۰/۴۴۶	۲/۶۱۴	۰	۰/۸	>۰/۰۰۱
رطوبت نسبی (درصد)	۳۵/۶۵۸	۶۶/۱۸۱	۱۸/۱	۱۱/۷	۰/۲
CO *	۲۸/۸۶۶	۳۸/۰۷۱	۲۱/۳۹۳	۳/۵	۰/۲
O ₃ *	۴۵/۹۲	۷۵/۲۰۳	۱۶/۸۹۸	۱۴/۳	۰/۲
NO ₂ *	۴۹/۷۱۶	۷۵/۵۲۱	۳۱/۸۹۵	۱۱/۵	۰/۲
SO ₂ *	۲۹/۸۴۵	۴۴/۷۷۱	۲۳/۰۸۹	۴/۶	۰/۲
PM ₁₀ *	۵۸/۰۱۹	۷۲/۸۱	۳۰/۸۱	۷/۹	۰/۲
PM _{2.5} *	۸۴/۴۱۲	۱۲۳/۷۷۵	۶۵/۴۳۹	۱۴/۸	۰/۱۲۷

* بدون واحد

نتایج آزمون‌های همبستگی (جدول ۲ و ۳)، وابستگی مثبت شاخص R با متغیرهای آلودگی هوا (آلاینده معیار، NO₂، SO₂، O₃، CO، PM_{2.5}، PM₁₀) و دما و فشار هوا را در استان تهران نشان داد. همچنین، وابستگی منفی شاخص R با متغیرهای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی را بیان نمود. البته فقط همبستگی شاخص R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی، از نظر آماری معنی‌دار بود. شدت وابستگی شاخص R با متغیرهای معنی‌دار مذکور، در هر دو آزمون پیرسون و اسپیرمن به صورت $PM_{10} < SO_2 < PM_{2.5}$ رطوبت نسبی بود. متغیرهای کیفیت هوا در مطالعه حاضر با یکدیگر همبستگی داشتند، که در موارد متعدد، با شدت وابستگی بالا در سطح معنی‌دار ۹۹٪ یا ۹۵٪ تأیید شد. به‌عنوان مثال، همبستگی منفی رطوبت نسبی با PM₁₀ و SO₂ معنی‌دار بود. همچنین همبستگی منفی سرعت باد با NO₂، SO₂، CO و PM_{2.5} تأیید شد. محققین، عوامل هواشناسی را با میزان آلاینده‌های هوا مرتبط می‌دانند، تا حدی که گاهی آلودگی هوا را با استفاده از داده‌هایی مانند دما، سرعت باد و رطوبت پیش‌بینی می‌کنند (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج دوگان و همکاران (۲۰۲۰) مانند مطالعه حاضر، همبستگی مثبت شیوع کووید-۱۹ با PM_{2.5} را بیان کرد. درحالی‌که علامت وابستگی شیوع کووید-۱۹ با دما و رطوبت نسبی در مطالعه دوگان و همکاران (۲۰۲۰)، مشابه نتایج مطالعه حاضر نبود.

جدول ۲- ماتریس همبستگی متغیرها (پیرسون)

متغیرها	رطوبت نسبی	بارش	فشار هوا	دما	سرعت باد	آلاینده معیار	عدد مولد نسلی
عدد مولد نسلی							۱
آلاینده معیار						۱	۰/۳۵۵

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
سرعت باد	-۰/۱۸۶	-۰/۵۴۳**	۱				
دما	۰/۲۷۳	۰/۴۲۸*	۰/۲۹۱	۱			
فشار هوا	۰/۱۲۳	۰/۰۲۷	-۰/۶۸۱**	-۰/۳۴۲	۱		
بارش	-۰/۳۰۷	-۰/۰۲۱	۰/۱۵۶	-۰/۱۶۸	۰/۰۷۶	۱	
رطوبت نسبی	-۰/۴۵۷*	-۰/۳۹۵	۰/۱۵۶	-۰/۶۲۹**	-۰/۰۰۸	۰/۴۲۶*	۱
CO	۰/۳۴۴	۰/۴۰۳*	-۰/۴۶۸*	-۰/۰۵۷	۰/۴۱۳*	۰/۰۰۹	-۰/۲۷۰
O ₃	۰/۱۰۳	۰/۴۲۵*	۰/۳۰۶	۰/۶۹۴**	-۰/۴۹۹**	-۰/۱۱۱	-۰/۲۹۴
NO ₂	۰/۲۹۸	۰/۴۳۶*	-۰/۶۵۳**	۰/۲۲۷	۰/۷۱۳**	-۰/۲۳۱	-۰/۳۱۹
SO ₂	۰/۵۶۰**	۰/۴۵۱*	-۰/۴۳۴*	۰/۳۹۶*	۰/۳۳۰	-۰/۳۳۱	-۰/۷۱۶**
PM ₁₀	۰/۵۰۴**	۰/۵۰۱**	-۰/۲۵۵	۰/۲۵۲	۰/۱۴۶	-۰/۰۶۱	-۰/۵۰۴**
PM _{2.5}	۰/۵۷۵**	۰/۷۳۴**	-۰/۴۳۷*	۰/۰۶۷	۰/۲۱۷	-۰/۱۵۴	-۰/۲۸۸

*. همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (دو دنباله).

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است (دو دنباله).

ادامه جدول ۲- ماتریس همبستگی متغیرها (پیرسون)

متغیرها	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
CO	۱					
O ₃	-۰/۲۶۶	۱				
NO ₂	۰/۴۱۱*	۰/۱۲۱	۱			
SO ₂	۰/۴۷۵*	۰/۰۳۳	۰/۵۴۵**	۱		
PM ₁₀	۰/۳۴۹	۰/۰۰۳	۰/۳۱۵	۰/۶۹۴**	۱	
PM _{2.5}	۰/۶۵۱**	-۰/۰۲۴	۰/۳۳۶	۰/۵۲۴**	۰/۵۵۴**	۱

جدول ۳- ماتریس همبستگی متغیرها (اسپیرمن)

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
عدد مولد نسلی	۱						
آلاینده معیار	۰/۲۹۶	۱					
سرعت باد	-۰/۲۴۳	-۰/۵۳۹**	۱				
دما	۰/۱۶۴	۰/۳۷۳	۰/۲۸۰	۱			
فشار هوا	۰/۰۹۲	-۰/۰۳۲	-۰/۶۴۶**	-۰/۴۱۱*	۱		
بارش	-۰/۲۵۴	۰/۱۴۷	۰/۲۰۱	۰/۰۲۸	-۰/۰۷۳	۱	
رطوبت نسبی	-۰/۴۲۴*	-۰/۳۲۲	۰/۱۹۴	-۰/۵۹۶**	۰/۰۴۹	۰/۴۵۹*	۱
CO	۰/۳۳۸	۰/۳۸۱	-۰/۴۶۲*	-۰/۰۲۴	۰/۳۸۴*	-۰/۱۵۰	-۰/۲۳۵

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
O ₃	۰/۰۱۹	۰/۳۸۲	۰/۲۸۲	۰/۷۳۱**	-۰/۴۳۸*	۰/۱۴۸	-۰/۲۶۳
NO ₂	۰/۳۵۹	۰/۴۵۲*	-۰/۶۲۷**	۰/۲۰۷	۰/۶۵۱**	-۰/۳۷۸	-۰/۲۹۵
SO ₂	۰/۵۲۸**	۰/۳۴۳	-۰/۳۵۶	۰/۳۹۶*	۰/۳۰۹	-۰/۴۶۶*	-۰/۶۱۷**
PM ₁₀	۰/۴۸۳**	۰/۴۱۹*	-۰/۲۳۲	۰/۱۴۷	۰/۱۳۲	-۰/۰۴۸	-۰/۳۴۳
PM _{2.5}	۰/۵۶۱**	۰/۶۹۸**	-۰/۴۸۸**	-۰/۰۲۱	۰/۲۴۷	-۰/۰۱۴	-۰/۲۵۸

*. همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (دو دنباله).

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است (دو دنباله).

ادامه جدول ۳- ماتریس همبستگی متغیرها (اسپیرمن)

متغیرها	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
CO	۱					
O ₃	-۰/۳۰۵	۱				
NO ₂	۰/۴۷۴*	۰/۱۲۳	۱			
SO ₂	۰/۴۸۱*	۰/۰۳۰	۰/۵۶۵**	۱		
PM ₁₀	۰/۳۴۴	-۰/۰۹۴	۰/۳۸۳*	۰/۷۱۱**	۱	
PM _{2.5}	۰/۶۵۹**	-۰/۰۹۳	۰/۳۸۹*	۰/۴۸۲*	۰/۵۰۱**	۱

ضریب همبستگی پیرسون در بین متغیرهای R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی تا حدی شدیدتر از ضریب اسپیرمن آن بود. با این حال از نمودارهای پراکندگی شاخص R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی، با اطمینان نمی‌شد خطی بودن رابطه را پیش‌بینی کرد. از طرفی برخی مدل‌های خطی در مطالعه از پیش‌فرض‌های این رگرسیون، مانند استقلال باقی‌مانده‌ها، پیروی نمی‌کردند. لذا رگرسیون‌های خطی و انحنایی آزمون شدند. برای رابطه عدد مولد نسلی کووید-۱۹ با رطوبت نسبی، مدل لگاریتمی با ضریب تعیین ۰/۲۱۳ برازش شد. البته رابطه خطی نیز، بین R و رطوبت نسبی با ضریب تعیین ۰/۲۰۹ معنی دار بود، لکن عدم استقلال خطاها، موجب نقض پیش‌فرض مدل خطی شد. مدل منحنی S (S-curve) برای رابطه بین R و هر یک از آلاینده‌های PM₁₀، SO₂ و PM_{2.5} برازش شد، که ضریب تعیین آن‌ها به ترتیب ۰/۲۷۴، ۰/۳۵۹ و ۰/۳۵۸ بود. آماره مدل‌های برازش شده در جدول (۴) بیان شد. با توجه به ضریب تعیین هر یک از مدل‌ها، رطوبت نسبی، PM₁₀، PM_{2.5} و SO₂ هر کدام به ترتیب ۰/۲۱۳، ۰/۲۷۴، ۰/۳۵۸ و ۰/۳۵۹ از واریانس عدد مولد نسلی را تبیین نمودند. یعنی تأثیر متغیرهای کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹، از کم به زیاد به صورت رطوبت نسبی > PM₁₀ > PM_{2.5} > SO₂ بود. میزان تأثیر SO₂ و PM_{2.5}

بر عدد مولد نسلی در ضرایب همبستگی و تحلیل رگرسیون، بسیار به هم نزدیک بود؛ این مقدار با اندکی اختلاف، در آزمون همبستگی به صورت $SO_2 < PM_{2.5}$ و در آزمون رگرسیون به صورت $SO_2 > PM_{2.5}$ بود. آزمون‌های رگرسیون، رابطه متغیرهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد، ولی همیشه به معنای برقراری رابطه علت و معلولی نیست. البته در برخی مطالعات می‌توان از رگرسیون، علت را برداشت نمود. با این حال در علوم طبیعی و زیستی نمی‌توان معنی‌داری آماری را نشان از رابطه علت دانست، بلکه نیاز به بررسی‌های تخصصی در آن حیطه دارد (مصدیقی، ۱۴۰۰؛ استیل^۱، ۱۹۹۷؛ زر^۲، ۲۰۱۰).

جدول ۴- آماره مدل‌های برازش شده

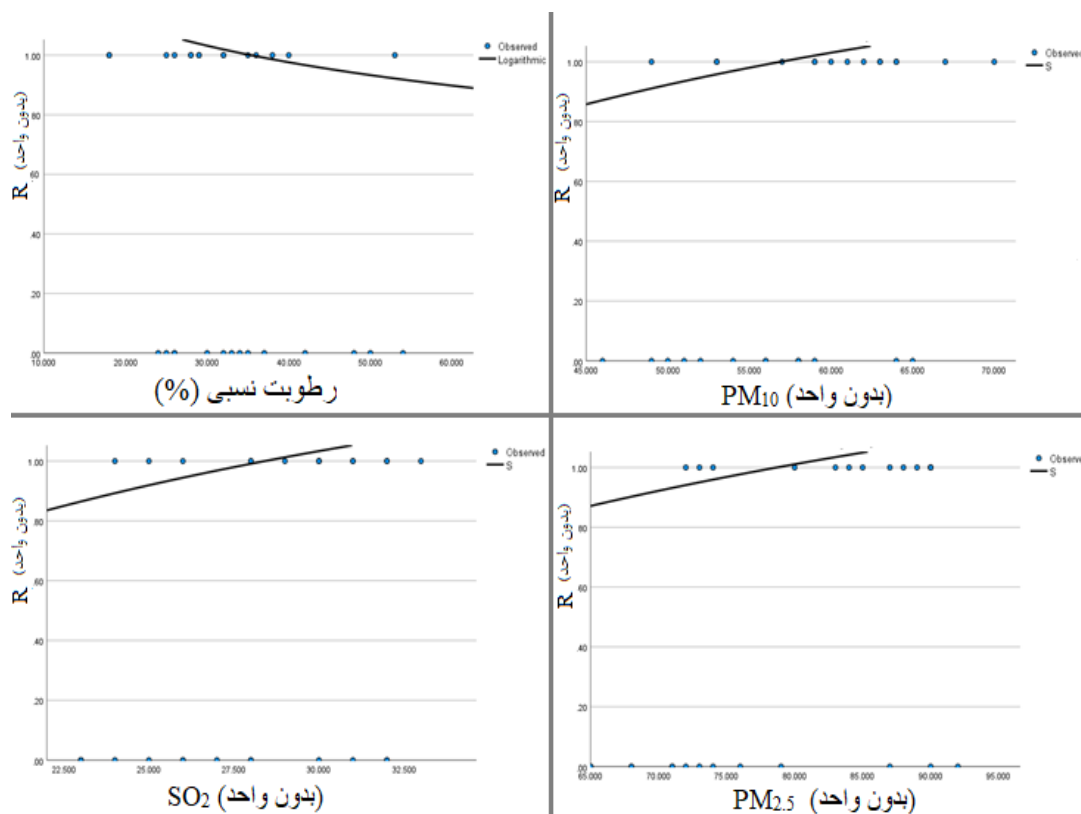
متغیر مستقل	مدل	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد	درجه آزادی: (رگرسیون باقی مانده کل)	مقدار احتمال	آماره F	ضریب ثابت معادله	ضریب متغیر مستقل
رطوبت نسبی	لگاریتمی	۰/۲۱۳	۰/۱۰۴	۱ ۲۷ ۲۸	۰/۰۱۲	۷/۳۱۳	۱/۶۸۹	-۰/۱۹۳
PM ₁₀	منحنی S	۰/۲۷۴	۰/۰۹۹	۱ ۲۷ ۲۸	۰/۰۰۴	۱۰/۱۷۷	۰/۵۷۹	-۳۲/۹۵۲
SO ₂	منحنی S	۰/۳۵۹	۰/۰۹۶	۱ ۲۶ ۲۷	۰/۰۰۱>	۱۴/۵۴۵	۰/۶۱۸	-۱۷/۵۵۵
PM _{2.5}	منحنی S	۰/۳۵۸	۰/۱	۱ ۲۵ ۲۶	۰/۰۰۱>	۱۳/۹۳۳	۰/۶۵۴	-۵۱/۴۴۵

شکل (۲)، رابطه مثبت عدد مولد نسلی با SO_2 ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} را بیان کرد و رابطه منفی عدد مولد نسلی با رطوبت نسبی را نشان داد؛ یعنی افزایش میزان آلاینده‌های SO_2 ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} موجب افزایش شیوع کووید-۱۹ شد و افزایش رطوبت نسبی موجب کاهش شیوع کووید-۱۹ شد. با این که شکل مدل‌های برازش شده با Curve Estimation به صورت غیرخطی بود (شکل ۲)، لکن در علم آمار با عنوان مدل‌های خطی شناخته می‌شوند؛ چراکه در

1 Steel

2 Zar

این مدل، متغیر وابسته با تابعی از متغیر مستقل در ارتباط است؛ در واقع در این مدل، متغیرهای مستقل به صورت غیرخطی در معادله قرار دارند و پارامترها (ضرایب رگرسیون) به صورت خطی؛ حال آنکه در مدل‌های غیرخطی، پارامترها به صورت غیرخطی در رگرسیون حضور دارند (قودجانی، ۱۳۹۴).



شکل ۲- رابطه عدد مولد نسلی با هر یک از متغیرهای PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و رطوبت نسبی

رابطه $PM_{2.5}$ با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه سه مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوگان و همکاران، ۲۰۲۰) و بر خلاف مطالعه سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، مثبت بود. رابطه PM_{10} و شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه دو مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا، ۲۰۲۰) و بر خلاف مطالعه سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، مثبت بود. رابطه SO_2 با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، بر خلاف سه مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱)، مثبت بود. در مطالعه حاضر، رابطه CO ، O_3 ، NO_2 و آلاینده معیار با شیوع کووید-۱۹ تأیید نشد؛ در حالی که برخی مطالعات (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا، ۲۰۲۰)، روابط مذکور را تأیید کردند. رابطه رطوبت نسبی با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه سه مطالعه پیشین (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا

لارا، ۲۰۲۰؛ زو و همکاران، ۲۰۲۰ الف؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰) و بر خلاف پنج مطالعه پیشین (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ کومار و کومار، ۲۰۲۰؛ پین و همکاران، ۲۰۲۰)، منفی بود. رابطه دما، بارش، فشار هوا و سرعت باد با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر تأیید نشد؛ اما در برخی مطالعات پیشین (زوران و همکاران، ۲۰۲۰؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ پین و همکاران، ۲۰۲۰) تأیید شد.

آلاینده‌های هوا به‌عنوان عامل تضعیف‌کننده سیستم ایمنی بدن و نیز انتقال‌دهنده عوامل بیماری‌زا، می‌تواند خطر بیماری‌های تنفسی مانند کووید-۱۹ را افزایش دهند (بیکر و سوکوپ، ۱۹۹۹؛ کای و همکاران، ۲۰۰۷؛ زی و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۰). باین‌وجود، برخی مطالعات رابطه منفی برخی آلاینده‌ها با شیوع کووید-۱۹ را گزارش نمودند (لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین برخی مطالعات مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰)، برای روشن شدن علت رابطه منفی آلاینده هوا با شیوع کووید-۱۹، انجام آزمایش‌های زیست‌شناسی را پیشنهاد دادند. لذا علامت رابطه متغیرهای کیفیت هوا با شیوع کووید-۱۹، هنوز بحث‌برانگیز است.

بررسی اثر کیفیت هوا در سطح فردی کار دشواری است و همین عامل، موجب تحقیق نمونه‌های گروهی (مثلاً شهر یا استان یا منطقه) در این زمینه می‌شود. تحلیل در سطح گروه، می‌تواند موجب مغالطه بوم‌شناختی شود؛ یعنی نتایج تحلیل گروهی را نمی‌توان، همیشه برای تمام افراد یک گروه، صحیح دانست. باین‌حال مطالعات در سطح گروه، می‌تواند در درک بیماری کووید-۱۹ کمک کند (لین و همکاران، ۲۰۲۰). لذا نتایج مطالعه حاضر ممکن است در سطح فردی، صحیح نباشد؛ اما معنی‌داری آن‌ها در سطح استان تهران تأیید شد.

۴- جمع‌بندی

مطالعه حاضر، ارتباط مثبت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و SO_2 و ارتباط منفی رطوبت نسبی با عدد مولد نسلی کووید-۱۹ را در استان تهران تأیید کرد. متغیرهای SO_2 و $PM_{2.5}$ بهترین پیش‌بینی‌کننده شیوع کووید-۱۹ در این استان بودند. ارتباط برخی آلاینده‌های هوا و عوامل هواشناسی با یکدیگر نیز آشکار شد. تأثیر کوتاه‌مدت PM_{10} ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ و رطوبت نسبی بر شیوع کووید-۱۹ در این مطالعه گزارش شد، اما نتایج مذکور نشانه رابطه علت و معلولی نیست. باین‌حال، نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در کنترل همه‌گیری کووید-۱۹ مفید باشد. مطالعه حاضر با محدودیت دسترسی به داده‌های کووید-۱۹ مواجه بود. اگر در عوض «داده‌های هفتگی و استانی عدد مولد نسلی کووید-۱۹»، از داده‌های روزانه و شهرستانی نرخ شیوع کووید-۱۹ استفاده می‌شد، احتمالاً برازش رابطه متغیرهای کیفیت هوا با کووید-۱۹، در یک مدل میسر می‌شد. توصیه می‌شود که در مطالعات آینده، از داده‌هایی با مقیاس مکانی

1 Becker & Soukup

2 Cai

3 Xie

و زمانی کوچک‌تر و محدوده مکانی و زمانی بزرگ‌تر استفاده شود و مداخله‌گرهایی مانند جمعیت نیز بررسی شود. همچنین به طراحان اقدامات مقابله با کووید-۱۹ پیشنهاد می‌شود که تأثیر متغیرهای کیفیت هوا را در ارتباط با یکدیگر، مورد توجه قرار دهند.

کتابنامه

- توکلی، احمد؛ وحدت، کتایون؛ کشاورز، محسن؛ ۱۳۹۸. کرونا ویروس جدید ۲۰۱۹ (COVID-19): بیماری عفونی نوظهور در قرن ۲۱. دو ماهنامه طب جنوب. دوره ۲۲، شماره ۶، ۴۳۲-۴۵۰. <https://dx.doi.org/10.29252/ismj.22.6.432>
- فرهادی، راضیه؛ کارگر، مهدی؛ ذوالفقاری، قاسم؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی آلاینده‌های هوا (PM₁₀ و CO، O₃) و پارامترهای هواشناسی، مطالعه موردی شهرستان بیرجند. فصلنامه علمی محیط‌زیست و توسعه فرابخشی. شماره ۷۱، ۶۴-۷۵. <https://doi.org/10.22034/envj.2021.94016>
- قودجانی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۴. روش‌های پیشرفته آماری و کاربردهای آن. چاپ اول. انتشارات جامعه‌نگر. تهران.
- کیانی، بهمن؛ ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های پیشرفته آماری در منابع طبیعی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه یزد. یزد.
- مرکز آمار ایران؛ ۱۴۰۰. سالنامه آماری کشور ۱۳۹۸. دفتر ریاست-روابط عمومی و همکاری‌های بین‌الملل.
- مصداقی، منصور؛ ۱۴۰۰. روش‌های آماری با رویکرد کاربردی در علوم طبیعی. ویرایش دوم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.


- Arias Velásquez R M, Mejía Lara J V., 2020. Gaussian approach for probability and correlation between the number of COVID-19 cases and the air pollution in Lima. Urban Climate. Urban Climate. 33, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100664>.
- Bashir M F, Ma B, Bilal D, Komal B, Bashir M A, Tan D, Bashir M., 2020. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York , USA. Science of the Total Environment. 728, 138835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>.
- Becker S, Soukup J M., 1999. Exposure to urban air particulates alters the macrophagemediated inflammatory response to respiratory viral infection. Toxicol. Environ. Health Part A. 57, 445-457. <https://doi.org/10.1080/009841099157539>.
- Brace N, Snelgar R, Kemp R., 2012. SPSS for psychologists. Palgrave macmillan.
- Cai Q C, Lu J, Xu Q F, Guo Q, Xu D Z, Sun Q W, Yang H, Zhao G M, Jiang Q W. 2007. Influence of meteorological factors and air pollution on the outbreak of severe acute respiratory syndrome. Publ. Health 121, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.09.023>.
- Chakrabarty R K, Beeler P, Liu P, Goswami S, Harvey R D, Pervez S, Donkelaar A V, Martin R V., 2020. Ambient PM_{2.5} exposure and rapid spread of COVID-19 in the United States. Science of the total environment. 760, 143391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143391>.
- Dogan B, Jebli M B, Shahzad K, Farooq T H, Shahzad U., 2020. Investigating the Effects of Meteorological Parameters on COVID - 19: Case Study of New Jersey , United States. Environmental Research. 191, 110148. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110148>.

- Dutta A, Dutta G., 2021. Association of air pollution and meteorological variables with the two waves of COVID-19 pandemic in Delhi: A critical analysis. *Heliyon*. 7, e08468. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08468>.
- Faridi S, Niazi S, Sadeghi K., Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, Shafiei Jandaghi N Z, Sadeghniaat K, Nabizadeh R, Yunesian M, Momeniha F, Mokamel A, Hassanvand M S, MokhtariAzad T., 2020. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Science of the Total Environment*. 725, 138401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138401>.
- Gilbert M, Pullano G, Pinotti F, Valdano E, Poletto C, Boëlle P Y, d'Ortenzio E, Yazdanpanah, Y, Eholie S P, Altmann M., 2020. Preparedness and vulnerability of African countries against importations of COVID-19: a modelling study. *Lancet* 395, 871-877. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30411-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30411-6).
- Golder M, Golder S., 2010. Multiple regression: multicollinearity, department of political science, pennsylvania state university.
- Gorbalenya A E, Baker S C, Baric R S, de Groot R J, Drosten C, Gulyaeva A A, Haagmans B L, Lauber C, Leontovich A M, Neuman B W, Penzar D, Perlman S, Poon L M, amborskiy D, Sidorov I A, Sola I, Ziebuhr J., 2020. The species Severe acute respiratory syndromerelated coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*. 5(4), 536-544. <https://doi.org/10.1101/2020.02.07.937862>.
- Green S B., 1991. How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis? *Multivariate Behavioral Research*, 26 (3), 499-510. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr2603_7.
- Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X, Cheng Z, Yu T, Xia J, Wei Y, Wu W, Xie X, Yin W, Li H. Liu M, Xiao Y, Gao H, Guo L, Xie, J, Wang G, Jiang R, Gao Z, Jin Q, Wang J, Cao B., 2020. Clinical Features Of Patients Infected With 2019 Novel Coronavirus In Wuhan, China. *Lancet*. 395(10223), 497-506. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2930183-5>.
- Kraemer, M. U., Yang, C. H., Gutierrez, B., Wu, C. H., Klein, B., Pigott, D. M., du Plessis, L., Faria, N. R., Li, R., Hanage, W. P., 2020. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*. 368 (6490), 493-497. <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>.
- Kumar G, Kumar R. R., 2020. A correlation study between meteorological parameters and COVID-19 pandemic in Mumbai, India. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 14, 1735-1742. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.09.002>.
- Lin S, Wei D, Sun Y, Chen K, Yang L, Liu B, Huang Q, Paoliello M M B, Li H, Wu S., 2020. Region-specific air pollutants and meteorological parameters influence COVID-19: A study from mainland China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 204, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111035>.
- Lu H. Stratton C W, Tang Y W., 2020. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan China: the Mystery and the Miracle. *J. Med. Virol*. 4(92), 401-402. <https://doi.org/10.1002/jmv.25678>.
- Pani S K, Lin N H, RavindraBabu S., 2020. Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Science of the Total Environment*. 740, 140112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>.
- Runkle J D, Sugg M M, Leeper R D, Rao Y, Matthews J L, Rennie J J., 2020. Short-term effects of specific humidity and temperature on COVID-19 morbidity in select US cities. *Science of the Total Environment*, 740, 140093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140093>.

- Sangkham S, Thongtip S, Vongruang P., 2021. Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. *Environmental Research*, 197, 111104.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111104>.
- Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, Iosifidis C, Agha R., 2020. World Health Organization declares global emergency: a review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*. 76, 71-76.
<https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.02.034>.
- Steel R G D, Torrie J H, Dicky D A., 1997. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. 3rd edition, McGraw Hill, Inc. New York. USA.
- United Nations (UN). 2020. The Social Impact of COVID-19. Retrieved from:
<https://www.un.org/development/desa/dspd/2020/04/social-impact-of-covid-19/>.
- World Health Organization (WHO). 2020. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions.
<https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>.
- Wu X, Nethery R C, Sabath M B, Braun D, Dominici F., 2020. Air pollution and COVID - 19 mortality in the United States : Strengths and limitations of a n ecological regression analysis. *Science Advances*. 6 (45).
<https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>.
- Xie J, Teng J, Fan Y, Xie R, Shen A., 2019. The short-term effects of air pollutants on hospitalizations for respiratory disease in Hefei, China. *International Journal of Biometeorology*. 63, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01665-y>.
- Xie J, Zhu Y. 2020. Association between ambient temperature and COVID 19 infection in 122 cities from China. *Science of The Total Environment*. 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>.
- Xu H, Yan C, Fu Q, Xiao K, Yu Y, Han D, Wang W, Cheng J., 2020 a. Possible environmental effects on the spread of COVID-19 in China. *Science of the Total Environment*, 731, 139211.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139211>.
- Xu Z, Shi L, Wang Y, Zhang J, Huang L, Zhang C, Liu S, Zhao P, Liu H, Zhu L., 2020 b. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med*. 8(4), 420-422. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X).
- Yang Z, Hao J, Huang S, Yang W, Zhu Z, Tian L, Lu Y, Xiang H, Liu S., 2020. Acute effects of air pollution on the incidence of hand, foot, and mouth disease in Wuhan, China. *Atmospheric Environment*. 225, 117358. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117358>.
- Yousefi S, Shahsavani A, Hadei M., 2019. Applying EPA's instruction to calculate air quality index (AQI) in Tehran. *Journal of Air Pollution and Health*. 4(2), 81-86.
<https://doi.org/10.18502/japh.v4i2.1232>.
- Zar J H., 2010. Biostatistical analysis. 5th edition, Prentice-Hall. USA.
- Zhu y, Xie j, Huang f, Cao l., 2020. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment*. 727, 138704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>.
- Zoran M A, Savastru R S, Savastru D M, Tautan M N., 2020. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O3) and nitrogen dioxide (NO2) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*. 740, 140005.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140005>.



Development of Machine Learning Algorithms to Predict Urban Air Quality Index (Study Area: Tehran City)

Peyman Karami^a, Seyed Ahmad Eslaminezhad^b, Mobin Eftekhari^c, Faraz boroumand^d,
Mohammad Akbari^{e*} 

^a MA., Faculty of Surveying and Geomatics Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

^b MA, Faculty of Surveying and Geomatics Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

^c Researcher, Young Researchers and Elite Club, Mashhad Branch of Islamic Azad University, Mashhad, Iran

^d MA, Faculty of Surveying Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

^e Research Group of Drought and Climate Change, University of Birjand

Received: 8 April 2022

Revised: 7 May 2022

Accepted: 29 May 2022

Abstract

Considering the harms of air pollution on human health and the environment, it seems necessary to reduce and solve this problem based on accurate knowledge of pollutants and criteria affecting it and identifying polluted areas. Therefore, using mathematical models in the form of machine learning is an optimal and cost-efficient approach to air pollution modeling. This research is applied in terms of purpose and its method is descriptive-analytical. The novelty of this research is presenting a new combination approach to determine the effective criteria for predicting the amount of air pollution. Therefore, the purpose of this study was to evaluate and compare the capabilities of two machine learning models, namely Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) in combination with Genetic Algorithm (GA) to predict air pollution in Tehran. The data used in this research include particulate matter and gaseous pollutants in Tehran in 2020, which was obtained from Tehran Traffic Control Company. MATLAB and ArcMap software were used to analyze the data. The value of coefficient of determination (R^2) obtained from the combined RF-GA method was 0.997, which indicates the high compatibility of this model with the data of this study. Moreover, the Root Mean Square Error (RMSE) value from the combined RF-GA method was 0.153, which indicates high accuracy of this model. Based on the data obtained from Tehran Traffic Control Company, the results of the RF method indicate the appropriateness of selecting the model to estimate the amount of air pollution in Tehran.

Keywords: Air Pollution, Machine Learning, Random Forest, Support Vector Machine, Genetic Algorithm

* Corresponding author: Mohammad Akbari

E-mail: Moakbari@birjand.ac.ir

Tel: +98 9153616696

How to cite this Article: Karami, P., Eslaminezhad, S. A., Eftekhari, M., Boroumand, F., & Akbari, M. (2023). Development of machine learning algorithms to predict urban air quality index (Study area: Tehran city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 165-186.

DOI:10.22067/geoeh.2022.76121.1212



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



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76121.1212>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۸۶-۱۶۵

مقاله پژوهشی

توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی شاخص کیفیت هوای شهری (منطقه مطالعاتی: شهر تهران)

پیمان کرمی - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سید احمد اسلامی نژاد - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مبین افتخاری - پژوهشگر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران
فراز برومند - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
محمد اکبری^۱ - گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

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

چکیده

با توجه به مضرات آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها و محیط، کاهش و حل این معضل براساس شناخت دقیق آلاینده‌ها و عوامل تأثیرگذار بر آن و مشخص نمودن پهنه‌های آلوده ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین استفاده از مدل‌های ریاضی در قالب یادگیری ماشینی رویکردی بهینه و مقرون به صرفه برای مدل‌سازی آلودگی هواست. این تحقیق به لحاظ هدف کاربردی بوده و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. نوآوری تحقیق حاضر ارائه یک رویکرد ترکیبی جدید جهت تعیین معیارهای مؤثر در پیش‌بینی میزان آلودگی هوا می‌باشد. لذا هدف از تحقیق حاضر ارزیابی و مقایسه قابلیت دو مدل یادگیری ماشین، یعنی هاشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی (RF) در ترکیب با الگوریتم ژنتیک (GA) جهت پیش‌بینی میزان آلودگی هوا در شهرستان تهران است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل ذرات معلق و آلاینده‌های گازی شهر تهران مرتبط با سال ۱۳۹۹ می‌باشد که از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران اخذ گردیده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Matlab و ArcMap استفاده شد. مقدار

Email: Moakbari@birjand.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۶۱۶۶۹۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

کرمی، پیمان؛ اسلامی نژاد، سید احمد؛ افتخاری، مبین؛ برومند، فراز؛ اکبری، محمد؛ ۱۴۰۲. توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی شاخص کیفیت هوای شهری (منطقه مطالعاتی: شهر تهران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲) صص ۱۸۶-۱۶۵
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76121.1212>

ضریب تشخیص (R^2) حاصل از روش ترکیبی RF-GA برابر ۰/۹۹۷ به دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری بالای این مدل با داده‌های این تحقیق است. همچنین مقدار ریشه میانگین خطای مربعات (RMSE) برابر ۰/۱۵۳ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل می‌باشد. بر اساس اطلاعات گرفته شده از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران، نتایج حاصل از روش RF بیانگر مناسب بودن انتخاب مدل مذکور جهت برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران بوده است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، یادگیری ماشین، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، الگوریتم ژنتیک.

۱- مقدمه

آلودگی هوا زمانی اتفاق می‌افتد که حجم زیادی از ذرات یا مواد مضر از قبیل گازها، ذرات و مولکول‌های بیولوژیکی وارد اتمسفر کره زمین شود. آلودگی هوا مخلوطی از ذرات معلق و گازهایی است که غلظت آن به محدوده مضر برای انسان رسیده است که می‌تواند هم در داخل ساختمان و هم در خارج ساختمان باشد (اکبری و همکاران^۱، ۲۰۲۱). شاخص کیفیت هوا^۲ (AQI) یا شاخص آلودگی هوا، شاخصی عددی است که توسط سازمان‌های دولتی برای سنجش آلودگی هوای یک منطقه و پیش‌بینی آینده آن به کار می‌رود (ژو و همکاران^۳، ۲۰۱۹). با افزایش عدد این شاخص، احتمال در خطر قرار گرفتن سلامت عمومی بالاتر می‌رود. با افزایش عدد شاخص کیفیت هوا، درصد بیشتری از مردم احتمالاً دچار پیامدهای بهداشتی نابخوابی شدید ناشی از آلودگی هوا می‌شوند (اکبری و همکاران^۴، ۲۰۲۱). کشورهای متفاوت بر حسب استانداردهای ملی متفاوتی که دارند شاخص‌های کیفیت هوای خاص خودشان را دارند. مقادیر شاخص کیفیت هوا معمولاً به صورت طیف‌هایی گروه‌بندی می‌شوند. هر طیف با یک نام توصیف‌کننده، یک کدرنگی و توصیه‌های استاندارد شده بهداشت عمومی مشخص می‌شود. محاسبه AQI نیاز به اندازه‌گیری غلظت یک ماده آلاینده در طول یک دوره میانگین مشخص دارد که به وسیله ایستگاه‌های پایش هوا یا مدل‌ها به دست می‌آید (کومار^۵، ۲۰۱۸). غلظت یک ماده آلاینده و مدت زمان حضور آن بیانگر دوز یک آلاینده هوا است. شاخص کیفیت هوا بر اساس ذرات معلق (PM₁₀، PM_{2.5})، اوزون (O₃)، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂) و انتشار کربن مونوکسید (CO) محاسبه می‌شود (لیو و همکاران^۶، ۲۰۱۹). در حال حاضر یکی از مشکلات عظیم کلان‌شهرهایی مثل تهران، وجود حجم زیادی از آلاینده‌های مختلف می‌باشد که مهمترین این آلاینده‌ها، ذرات معلق (PM₁₀، PM_{2.5}) و آلاینده‌های گازی اوزون (O₃)، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂) و انتشار کربن مونوکسید (CO) است. عدم استفاده از سیستم‌های تحلیل مکانی و توصیفی آلاینده‌های

1 Akbari et al.

2 Air quality index

3 Xue et al.

4 Akbari et al.

5 Kumar

6 Liu et al.

فوق بصورت توأم و همچنین عدم وجود یک سیستم منسجم در ذخیره سازی، بازیابی، به‌هنگام‌سازی، مدیریت، پردازش، نمایش، کاربرد و تبادل داده‌های زیست‌محیطی، لزوم استفاده از آخرین علوم و فناوری‌ها را در این زمینه مشخص می‌سازد. لذا هدف این تحقیق برآورد مکانی میزان آلودگی هوا شهر تهران بر پایه ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین و الگوریتم ژنتیک جهت شناسایی آلاینده‌های گازی مؤثر می‌باشد. با توجه به تحقیقات پیشین، برآورد میزان تراکم آلودگی هوا (پهنه‌بندی آلودگی هوا) توسط روش‌های ادغام در دو دسته کلی رویکرد دانش‌محور و رویکرد داده‌محور قابل دسته‌بندی می‌باشند (وانگ و لیو^۱، ۲۰۱۹؛ گواوارا و همکاران^۲، ۲۰۱۹). رویکرد داده‌محور در مناطق شناخته شده یا مناطقی که از لحاظ آماری تعداد شواهد شناخته شده کافی می‌باشند، کارایی بالایی دارد. در این روش‌ها هدف مشخص کردن مکان‌های جدید برای کارهای تفصیلی تر است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی^۳ (RF)، ماشین بردار پشتیبان^۴ (SVM) و ... اشاره کرد. در حالی که رویکرد دانش‌محور در محیط‌های که کمتر شناخته شده‌اند و یا تعداد کمی از اهداف موردنظر در محدوده وجود دارند کارآمد هستند. تخمین وزن‌ها برای نقشه‌های شاهد و تخمین کلاس‌ها در هر نقشه شاهد بر اساس قضاوت کارشناس و با توجه به ویژگی‌های نشانه‌ها است؛ بنابراین در روش‌های دانش‌محور پارامترهای تابع برای ترکیب داده‌ها بر اساس دانش تجربی تخمین زده می‌شود (گواوارا و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات متعددی در خصوص برآورد میزان تراکم آلودگی هوا (پهنه‌بندی آلودگی هوا) توسط دو رویکرد دانش‌محور و داده‌محور انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

خزایی و همکاران (۱۳۹۱) غلظت آلاینده مونواکسیدکربن را با تلفیق روش شبکه عصبی - فازی با GIS مدلسازی کردند؛ به عبارت دیگر در این مقاله با به‌کارگیری شبکه عصبی - فازی و GIS، دانش حاکم بر محیط در قالب قوانین فازی، از داده‌ها استخراج شده و با استفاده از این قوانین غلظت آلاینده مونواکسیدکربن مدلسازی شده است. منطقه مورد مطالعه در این کار تحقیقی شهر تهران در نظر گرفته شد. جهت پیاده‌سازی، داده‌های هواشناسی شش ایستگاه موجود در سطح شهر تهران در فصل تابستان برای چهار سال متوالی به طور جداگانه بررسی شده و به منظور ورود به فرآیند آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. برای هر ایستگاه قوانین فازی آن استخراج شده و غلظت آلاینده تخمین زده شد. به علت اینکه در این پژوهش پیش‌بینی در ایستگاه‌ها انجام می‌گیرد، برای مدلسازی مکانی غلظت در محدوده مورد مطالعه از روش کریجینگ استفاده شده و میزان خطای مربوطه نیز محاسبه شد. رحیمی و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله خود تداوم روزهای همراه با آلاینده مونواکسیدکربن را در هوای شهر تهران ارزیابی نمودند که این کار با استفاده از مدل ریاضی زنجیره مارکف انجام شده است. برای این کار اطلاعات ۵ ساله پنج ایستگاه

1 Wang and Liu

2 Guevara et al.

3 Random Forest

4 Support vector machine

سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران گردآوری و با استفاده از زنجیره مارکف مدلسازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین احتمال وقوع تداوم آلاینده CO به ترتیب در ایستگاه‌های فاطمی، بازار و اقدسیه وجود دارد و در اکثر ماه‌های سال ایستگاه فاطمی بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO را دارد. **میری و همکاران (۱۳۹۴)** جهت بررسی مکانی آلودگی هوای کلان شهر مشهد از سه مدل درون‌یابی کریجینگ معمولی، کریجینگ عمومی و معکوس فاصله وزنی^۱ (IDW) استفاده کردند. آن‌ها جهت مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل از ریشه میانگین خطای مربعات^۲ (RMSE) و ضریب تعیین (R²) استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل کریجینگ معمولی داری کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار R² نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده می‌باشد. **حق بیان و تشیع (۱۳۹۹)** از مدل رگرسیون کاربری اراضی بهبودیافته جهت مدلسازی آلاینده‌های هوا به منظور مدیریت مواجهه با استفاده از داده‌های حاصل از حسگرهای همراه استفاده کردند. به منظور بهبود دقت مدلسازی روش موردنظر برای تخمین غلظت PM_{2.5} از هفت ایستگاه ثابت شهر اصفهان و چهارده حسگر همراه استفاده گردید. نتایج نشان داد که حتی با افزودن یک حسگر همراه به ایستگاه‌های ثابت میزان RMSE به مقدار ۰/۱۱۳ میکروگرم بر متر مکعب کاهش می‌یابد و با افزودن چهارده حسگر همراه به هفت ایستگاه ثابت میزان RMSE حدود سه برابر کاهش می‌یابد. نجات‌کوری و **باروتیان^۳ (۲۰۱۲)** در تحقیقی بر روی پیش‌بینی حداکثر غلظت PM₁₀ در طی ۲۴ ساعت آبی در شهر تهران پرداختند. از این رو از داده‌های هواشناسی و غلظت آلاینده‌ها به عنوان پارامترهای ورودی شبکه پس‌انتشار خطا استفاده شد. نتایج پیش‌بینی شده با شاخص دقت بالای ۰/۸۳، مطلوب نشان داده شد. از طرف دیگر شبکه با عملکرد مطلوب به خوبی می‌تواند نسبت به سایت‌های سنجش انسانی در شبکه پایش کیفیت هوا برتری داشته باشد. **ویمن و همکاران^۴ (۲۰۱۲)** در تحقیقی به مدلسازی آلودگی هوا در لیلالت Saxony آلمان پرداختند. لذا از مدل IDW برای تخمین غلظت آلاینده‌های PM₁₀ و O₃ در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌کنند. **مک‌کندی^۵ (۲۰۱۵)** از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی^۶ (ANN) و رگرسیون خطی ساده^۷ (MLR) جهت پیش‌بینی حداکثر و متوسط روزانه مقدار O₃ و ذرات معلق (PM_{2.5} و PM₁₀) استفاده کرد. در واقع یکی از محدودیت‌های رگرسیون خطی ساده، خطی بودن این مدل می‌باشد؛ اما ممکن است بین خروجی‌ها و ورودی‌ها رابطه غیرخطی برقرار باشد که می‌توان از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به این منظور استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل ANN توانایی بالاتری در پیش‌بینی حداکثر و متوسط روزانه O₃ و ذرات معلق (PM_{2.5} و PM₁₀) دارد. **آدامز و کلناروگلو^۸ (۲۰۱۶)**، در مطالعه‌ای از

1 Inverse Distance Weighted

2 Root Mean Square Error

3 Nejadkoorki and Baroutian

4 Wiemann et al.

5 McKendry

6 Artificial neural network

7 Multiple linear regression

8 Adams and Kanaroglou

مدل شبکه عصبی برای پیش‌آلودگی هوای ایستگاه‌ها و برآورد مقدار AQI حاصل از دو آلاینده PM2.5 و NO2 در شهر همیلتون کانادا استفاده کردند. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی برای آلاینده PM2.5 و NO2 به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۳۴ محاسبه گردید. مسعودی و گرامی^۱ (۲۰۱۷) کیفیت هوای شهر اصفهان را بر اساس میزان مونوکسید کربن (CO) مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت CO در صبح و ابتدای شب اتفاق می‌افتد. در واقع هدف اصلی تحقیقشان استفاده از مدلی بود که بتواند ارتباط بین غلظت آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی را بررسی نمایند. از این رو از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه و رگرسیون خطی برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های CO و PM10 استفاده کردند و مشخص گردید که شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه با توجه به در نظر گرفتن روابط غیرخطی بین آلاینده‌ها، دقت بالاتری در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های CO و PM10 دارد. پارک و همکاران^۲ (۲۰۱۸) جهت پیش‌بینی غلظت PM10 شهر سئول کشور کره جنوبی از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتیجه نشان داد مدل ANN ضریب همبستگی بالایی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر واقعی غلظت PM10 نشان می‌دهد. فرهادی و همکاران^۳ (۲۰۲۰) از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه جهت پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های PM10 و CO هوای شهر تهران استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار R² برای آلاینده PM10 با مقدار ۰/۸۳ برای فصول گرم بود و هم‌چنین بیشترین مقدار R² برای آلاینده CO با مقدار ۰/۷۶ برای فصول سرد است. سونگ و همکاران^۴ (۲۰۲۱) از مدل‌های RF و رگرسیون کاربری اراضی برای برآورد تغییرات مکانی-زمانی آلاینده‌های PM2.5 و NO2 در شهر شانگهای چین استفاده کردند. جهت پیاده‌سازی مدل‌های مورد نظر، از ۸۰ متغیر پیش‌بینی‌کننده مختلف مرتبط با شرایط جوی و جغرافیایی، حمل و نقل، تراکم جمعیت، کاربری زمین و نقاط مورد علاقه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل RF دقت بالاتری در برآورد تغییرات مکانی-زمانی آلاینده‌های PM2.5 و NO2 نسبت به مدل رگرسیون کاربری اراضی دارد.

بررسی پیشینه تحقیقات نشان داد که با توجه به اهمیت موضوع آلودگی هوا، مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است که هریک تلاش نموده راه‌حل‌ها و راهکارهای پیشنهادی را ارائه نمایند. از آنجایی که آلودگی هوا یک مساله پیچیده و چندوجهی می‌باشد و سازوکار مدلسازی آن خود به تنهایی مسأله بس‌یار پیچیده‌ای می‌باشد، این تحقیق در نظر دارد بدون درگیر شدن با مفاهیم پیچیده آلودگی هوا و معادلات شیمیایی شکل‌دهنده، به پیش‌بینی آلودگی هوا از نقطه نظر مکانی به مسأله پرداخته و روابط آلودگی هوا را تنها با تکیه بر معادلات مکانی مدلسازی نماید. برآورد میزان تراکم آلودگی هوا (پهنه‌بندی آلودگی هوا) موضوعی است که تاکنون زیاد بدان پرداخته شده است؛ اما در میان مطالعات صورت پذیرفته، نکاتی وجود دارد که کم‌تر بدان توجه شده است؛ اول این‌که در هیچ یک

1 Masoudi and Gerami

2 Park et al.

3 Farhadi et al.

4 Song et al.

از مطالعات صورت گرفته، ترکیب مناسب و کافی از آلاینده‌های گازی برای برآورد میزان تراکم آلودگی هوا در نظر گرفته نشده است. دوم این که تحلیل مناسبی برای تعیین ترکیب بهینه معیارهای مؤثر و تهیه نقشه برآورد میزان تراکم آلودگی هوا بر اساس تأثیرات معیارهای مؤثر به کار برده نشده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش‌های نوین یادگیری ماشین مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری ژنتیک^۱ (GA) است. بنابراین، این مطالعه از مطالعات قبلی متمایز است، زیرا در این مطالعه از مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین توسعه یافته یعنی SVM-GA و RF-GA جهت برآورد میزان تراکم آلودگی هوای شهر تهران بر مبنای تعیین ترکیب بهینه آلاینده‌های گازی استفاده شده است که نوآوری تحقیق حاضر نیز می‌باشد. در نهایت، معیار سطح زیر منحنی^۲ (AUC) و معیارهای آماری شامل ضریب تشخیص (R^2) و ریشه میانگین خطای مربعات (RMSE) برای اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

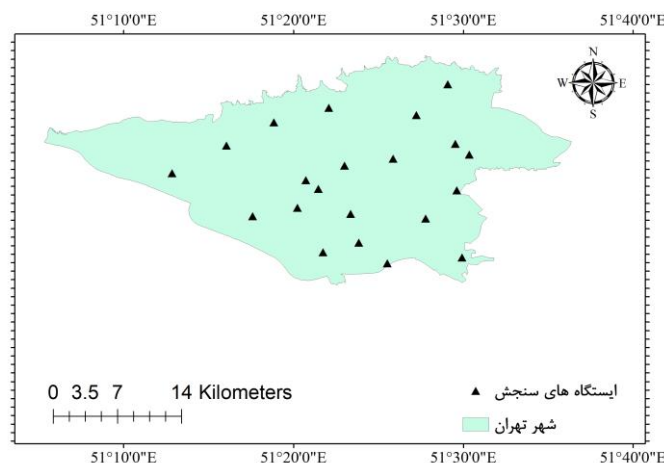
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به عنوان پایتخت کشور، مهم‌ترین کلان‌شهر و مرکز سیاسی و تجاری کشور ایران محسوب می‌شود که بالغ بر ۲۰ درصد جمعیت کشور در آن ساکن هستند. تهران توسط رشته‌کوه‌های البرز از سمت شمال و دشت کویر از سمت جنوب احاطه شده است. آب‌وهوای شهر تهران تأثیر گرفته از موقعیت جغرافیایی آن است. جز مناطق شمالی تهران که تحت تأثیر کوهستان، تا اندازه‌ای معتدل و مرطوب هستند، آب‌وهوای دیگر مناطق شهر تقریباً گرم و خشک و در زمستان اندکی سرد است. رشته‌کوه البرز همچون سدی از نفوذ بسیاری از توده‌های هوا جلوگیری می‌کند، از همین روی سبب گردیده که تهران از آب‌وهوایی نسبتاً خشک برخوردار باشد. محصور بودن در بین کوه‌ها از سه طرف، که مانع خروج آلودگی‌ها از شهر می‌شود، از یک سو و افزایش بی‌رویه استفاده از وسایل نقلیه و گسترش صنایع از عوامل اصلی آلودگی هوا در شهر تهران می‌باشند. آلودگی هوا در شهر تهران عمدتاً مصنوعی و ناشی از فعالیت وسایل نقلیه است که سهم بالایی در آلودگی هوای شهر دارند؛ بنابراین پیش‌بینی و مدل‌سازی آلودگی هوا برای شهر تهران امری ضروری بوده تا اقدامات لازم جهت کنترل آلودگی انجام شده و مکان‌هایی که از نظر آلودگی در وضعیت خطرناکی قرار دارند، شناسایی گردند. برای این منظور جهت پیش‌بینی آلودگی هوا، کل شهر تهران به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است. در شکل ۱ نقشه مناطق شهر تهران به همراه ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا اخذ شده از شرکت کنترل کیفیت شهرداری تهران نشان داده شده است.

1 Genetic algorithm

2 Area under the curve

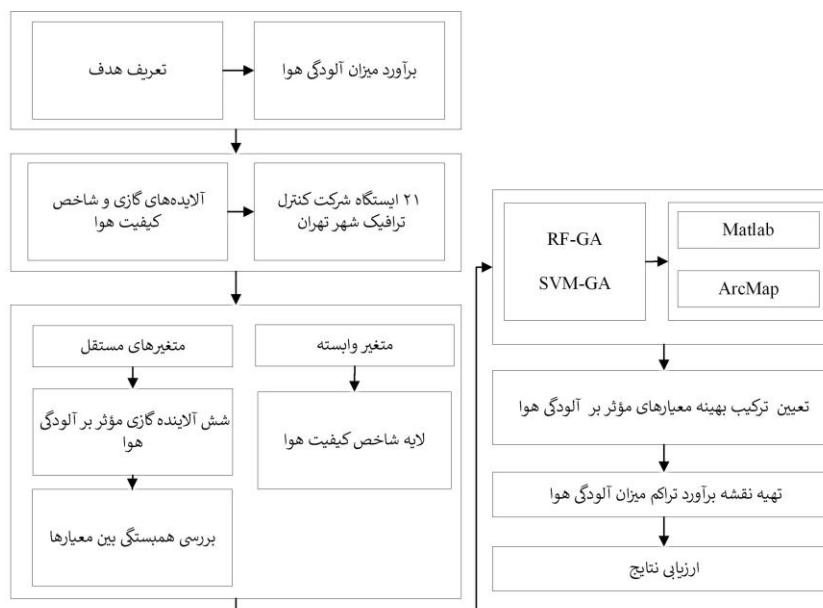


شکل ۱- محدوده منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تهران (مأخذ: نویسندگان)

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل ذرات معلق (PM10، PM2.5)، آلاینده‌های گازی اوزون (O3)، دی اکسید نیتروژن (NO2)، دی اکسید گوگرد (SO2) و کربن مونوکسید (CO) است. این داده‌ها مربوط به سال ۱۳۹۹ شهر تهران می‌باشد که از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران اخذ شده است.

۲-۲- روش انجام پژوهش

روش انجام پژوهش توصیفی-تحلیلی بوده و نوع آن بر اساس هدف کاربردی است. مبانی تئوریک تحقیق بر اساس مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای انجام گرفته است. در راستای رسیدن به هدف این تحقیق که تعیین آلاینده‌های گازی مؤثر در برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران می‌باشد، از داده‌های شرکت کنترل ترافیک شهر تهران در سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. تمامی پردازش‌های مربوط به داده‌ها در محیط نرم‌افزاری ArcMap و محاسبات کمی آن در محیط نرم‌افزاری Matlab انجام گرفته است. در این تحقیق از الگوریتم‌های یادگیری ماشین ترکیبی شامل RF-GA و SVM-GA جهت برآورد میزان آلودگی هوا استفاده شده است. نهایتاً پس از تعیین معیارهای مؤثر در برآورد میزان آلودگی هوا و تهیه نقشه معیارهای مختلف، میزان آلودگی هوای شهر تهران پیش‌بینی شده است. در شکل ۲ روند اجرایی تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۲- روند اجرایی تحقیق (مأخذ: نویسندگان)

۲-۲-۱- الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

الگوریتم جنگل تصادفی یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های به کار رفته برای بررسی مشکلات طبقه‌بندی و پیش‌بینی چندگانه است که حساسیت کمی به چندخطی بودن دارد و نتایج آن از نظر داده‌های از دست رفته و نامتعادل نسبتاً پایدار است (کویروز و همکاران، ۲۰۱۸؛ دی سانتانا و همکاران، ۲۰۱۸، اسلامی نژاد و همکاران، ۱۴۰۰). مدل پیش‌بینی‌کننده RF بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوطه استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی را با صحت بالایی انجام می‌دهد (دی سانتانا و همکاران، ۲۰۱۸). چهار مرحله زیر فرآیند الگوریتم RF را بیان می‌کند: (۱) تعریف و باز نمونه‌گیری داده‌های آموزشی؛ (۲) انتخاب مجموعه ویژگی‌های تصادفی مربوط به هر نمونه مجدد؛ (۳) اختصاص یک درخت تصمیم برای هر کدام از آن‌ها به مجموعه ویژگی‌های تصادفی و گسترده؛ (۴) ایجاد یک درخت تصمیم واحد از طریق تجمیع درخت تصمیم اختصاص داده‌شده به هر مثال.

1 Quiroz et al.

2 De Santana et al.

۲-۲-۲- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان (SVM)، یک روش یادگیری ماشین نسبتاً جدید و یک الگوریتم یادگیری ماشین نظارت شده است (عرب‌گل و همکاران، ۲۰۱۶). الگوریتم SVM یکی از متقاعدکننده‌ترین روش‌های پیش‌بینی است که براساس روش حداقل‌سازی ریسک ساختاری می‌باشد. در مقابل، بیشتر مدل‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، از تکنیک‌های به حداقل رساندن ریسک تجربی استفاده می‌کنند؛ بنابراین، روش SVM می‌تواند خطای تجربی را کاهش دهد، پیچیدگی را مدل کند و احتمال را بیش از حد تنظیم کند (قریان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). هدف SVM پیدا کردن ابر صفحه جداساز بهینه است که بتواند حاشیه را بین کلاس‌های مختلف مشخص کرده و فاصله یک کلاس را به حداقل برساند. در بیشتر شرایط، ابر صفحه توسط یک سطح غیر خطی تعریف خواهد شد. در این مورد، عبارت ریاضیاتی زیر برای طبقه‌بندی مجموعه داده‌ها به کار گرفته خواهد شد (عرب‌گل و همکاران، ۲۰۱۶):

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (a_i - a_i^*) K(x_i, x) + b \quad (1)$$

که در آن α_i و α_i^* ضرایب لاگرانژ، K تابع کرنل و b انحراف ابر صفحه از مبدأ است.

۲-۲-۳- الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک را می‌توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند (میرجلیلی، ۲۰۱۹). به منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی، ابتدا باید یک تابع هدف برای آن مسئله ابداع شود. برای هر کروموزوم، این تابع عددی غیر منفی را برمی‌گرداند که نشان‌دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است. در الگوریتم‌های ژنتیکی، در طی مرحله تولیدمثل از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. با تأثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل بعدی آن جمعیت تولید می‌شود. عملگرهای انتخاب، ترکیب و جهش^۶ معمولاً بیشترین کاربرد را در الگوریتم‌های ژنتیکی دارند (میرجلیلی، ۲۰۱۹). به طور کلی مراحل اجرای یک مدل بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک به شکل زیر می‌باشد (سان و همکاران، ۲۰۲۰):

- ایجاد جمعیت تصادفی و ارزیابی آن‌ها
- انتخاب والدین و ترکیب آن‌ها برای ایجاد جمعیت اولیه فرزندان
- انتخاب اعضای جمعیت برای اعمال جهش و ایجاد جمعیت جهش‌یافتگان

1 Arabgol et al.

2 Ghorbanzadeh et al.

3 Mirjalili

4 Selection

5 Crossover

6 Mutation

7 Sun et al.

- ترکیب یا ادغام جمعیت اصلی، فرزندان و جهش یافتگان و ایجاد جمعیت اصلی جدید
- اگر شرایط خاتمه محقق نشده باشند، از مرحله ۲ تکرار می شود
- پایان

۲-۳- ارزیابی عملکرد و دقت مدلها

۲-۳-۱- شاخص های آماری

خروجی الگوریتم های یادگیری ماشین شامل پارامترهای متعددی است که از آن میان معمولاً پارامتر R^2 برای سنجش مناسبیت برازش مدل و پارامتر RMSE جهت سنجش توزیع باقیمانده های مدل به کار می روند که به ترتیب، طبق روابط (۲) و (۳) محاسبه می شوند (اوشان و همکاران^۱، ۲۰۱۹؛ ویلر^۲، ۲۰۱۴):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

که n تعداد مشاهدات، y_i مشاهده i ام، \hat{y}_i مقدار پیش بینی مشاهده i ام و \bar{y} میانگین مشاهدات است.

۲-۳-۲- منحنی مشخصه عملکرد سامانه (ROC)

در این مطالعه منحنی مشخصه عملکرد سامانه^۳ (ROC) برای ارزیابی عملکرد مدلها به ترتیب با نرخ های مثبت واقعی و نرخ مثبت کاذب بر روی محور Y و محور X استفاده شده است (گورسوسکی و همکاران^۴، ۲۰۰۶). منطقه تحت منحنی ROC یعنی^۵ (AUC) عملکرد مدل را به صورت کمی تعیین می کند (تین بوی و همکاران^۶، ۲۰۱۹). مقادیر بالاتر AUC (نزدیک به ۱) نشان دهنده عملکرد بهتر مدلها می باشد (تین بوی و همکاران، ۲۰۱۹). خوبی تناسب یا قابلیت یادگیری مدل با استفاده از منحنی ROC توسط مجموعه داده های آموزشی مشخص می شود؛ در حالی که مجموعه داده های آزمایشی، مهارت پیش بینی مدل را نشان می دهند (فاوست^۷، ۲۰۰۶).

1 Oshan et al.

2 Wheeler

3 receiver operating characteristics curve

4 Gorsevski et al.

5 Area under the curve

6 Tien Bui et al.

7 Fawcett

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

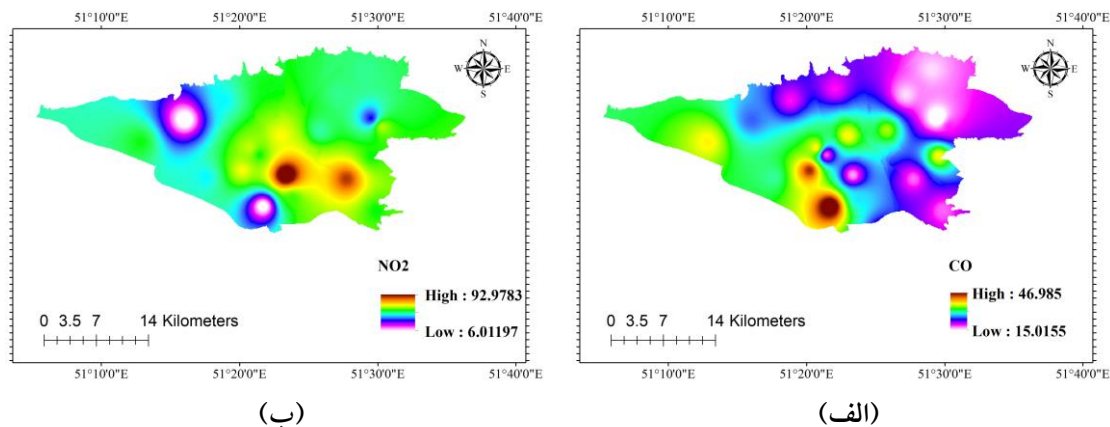
۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

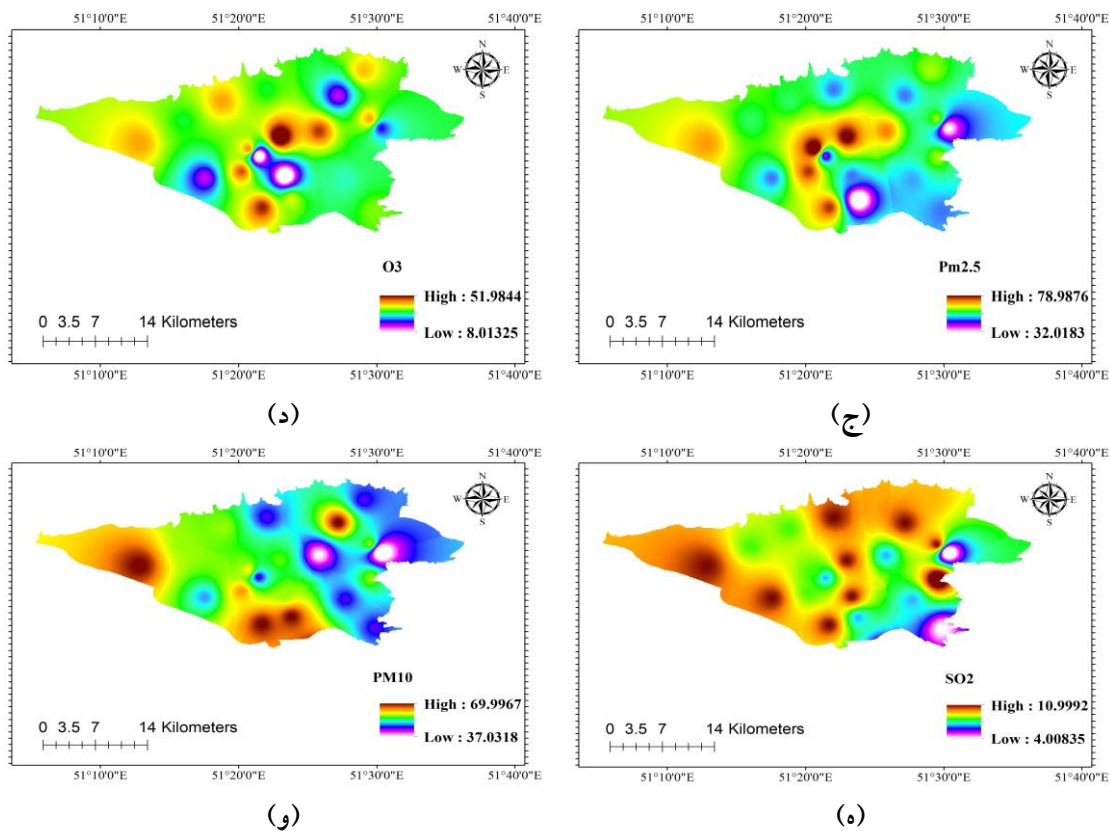
در این تحقیق تأثیر شش معیار مؤثر بر میزان آلودگی هوا در محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است که در **جدول ۱** نشان داده شده است. این معیارها با توجه به مطالعات گذشته و همچنین محدودیت‌های موجود در دسترسی به داده‌ها انتخاب شده است.

جدول ۱- آلاینده‌های گازی مؤثر بر آلودگی هوا (مأخذ: نویسندگان)

شماره	معیارها	شماره	معیارها
۱	SO2	۴	NO2
۲	CO	۵	PM2.5
۳	O3	۶	PM10

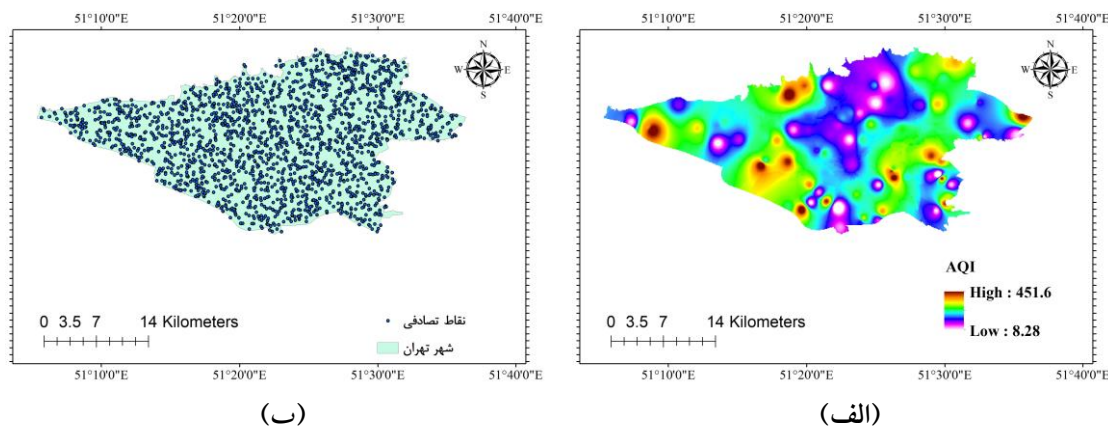
در **شکل ۳** نقشه رستری مربوط به میانگین مقادیر ذرات معلق و آلاینده‌های گازی در سال ۱۳۹۹ نشان داده شده است. برای ایجاد لایه مکانی هر کدام از ذرات معلق و آلاینده‌های گازی، میانگین سالیانه آن‌ها برای ۲۱ ایستگاه محاسبه شده و سپس به کمک روش درونیابی کریجینگ، هر کدام از لایه‌ها در قالب نقشه رستری با اندازه پیکسل ۳۰ متر تولید شد (اسلامی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰ الف، ۱۷۹؛ افتخاری و همکاران، ۲۰۲۱).





شکل ۳- لایه‌های به کار برده شده در منطقه مورد مطالعه (الف) CO (ب) NO2 (ج) PM2.5 (د) O3 (ه) SO2 (و) PM10 (مأخذ: نویسندگان)

جهت تولید لایه آلودگی شهر تهران در بازه زمانی مشخص، میانگین مقدار AQI محاسبه شده برای ۲۱ ایستگاه شرکت کنترل ترافیک شهر تهران در سال ۱۳۹۹ محاسبه و سپس به کمک روش درون‌یابی کریجینگ لایه مکانی آن در قالب نقشه رستری با اندازه پیکسل ۳۰ متر تولید شد (شکل ۴ الف)). هم‌چنین جهت پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی نیاز به تولید نقاط پراکنده در منطقه مورد نظر است. از این رو بر اساس تحلیل Random point در نرم‌افزار Arc Map، ۲۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی و یکنواخت تولید شد که این نقاط در شکل ۴ ب قابل مشاهده است. سپس مقادیر تمامی لایه‌های اطلاعاتی موجود (نرمال شده متغیرهای مستقل و وابسته) برای این نقاط محاسبه شد. از این تعداد نقاط ۷۰٪ برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمایش به صورت تصادفی انتخاب و به صورت یکسان برای تمامی روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۴- (الف) نقشه میزان آلودگی شهر تهران بر اساس میانگین شاخص AQI (ب) نقاط تصادفی تولید شده در منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نویسندگان)

نکته مهمی که باید قبل از پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شود، بررسی مستقل بودن معیارهای موردنظر می‌باشد. به منظور تشخیص هم‌خطی چندگانه در میان عوامل مختلف، آماره تحمل^۱ (TOL) و عامل تورم واریانس^۲ (VIF) دو پارامتر آماری رایج هستند. طبق جدول ۲، هنگامی که مقدار TOL بزرگ‌تر از ۰/۱ و مقدار VIF کوچک‌تر از ۵ باشد، هم‌خطی چندگانه بالایی در میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وجود ندارد (افتخاری و همکاران، ۱۴۰۰)؛ بنابراین از تمام معیارها در الگوریتم‌های پیشنهادی استفاده گردید.

جدول ۲- آلاینده‌های گازی مؤثر بر آلودگی هوا (مأخذ: نویسندگان)

شماره	معیارها	VIF	TOL
۱	SO ₂	۴/۲۲	۰/۱۴۸
۲	CO	۳/۹۸	۰/۱۶۹
۳	O ₃	۲/۲۶	۰/۳۴۵
۴	NO ₂	۲/۷۸	۰/۴۹۲
۵	PM _{2.5}	۱/۹۵	۰/۶۵۸
۶	PM ₁₀	۱/۴۴	۰/۴۵۸

۳-۲- پیش‌بینی آلودگی هوا توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین

با توجه به این که یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی روش‌های چندمعیاره، پارامتر RMSE است، از این‌رو تابع برازش الگوریتم ژنتیک، کمینه کردن مقدار RMSE انتخاب شده است تا میزان سنجش توزیع باقیمانده‌های مدل و در

1 Tolerance

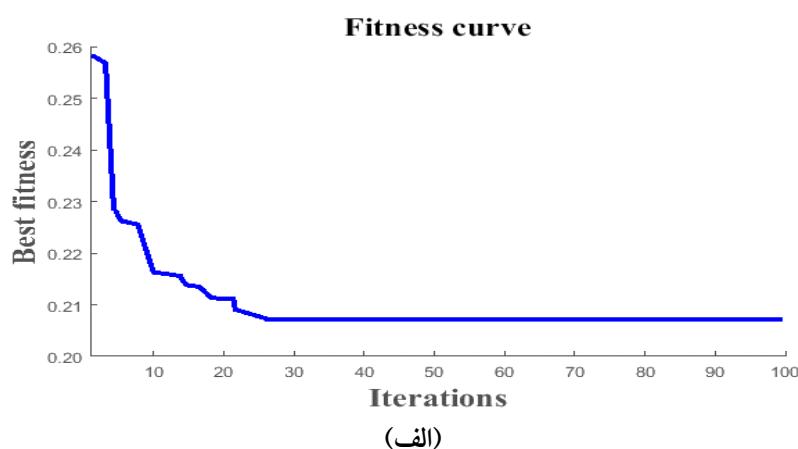
2 Variance Inflation Factor

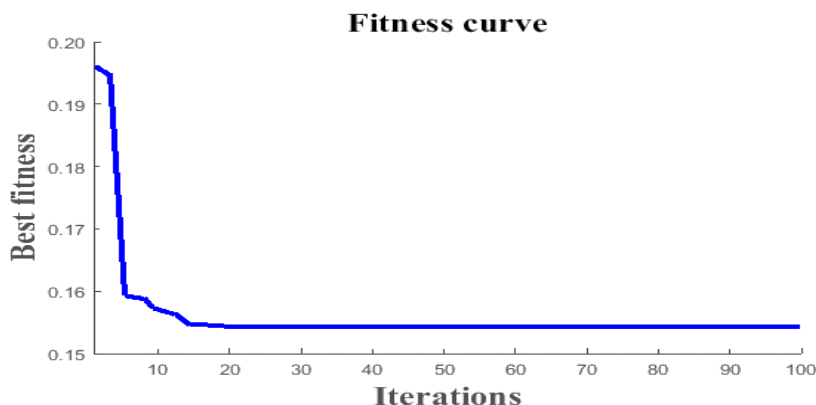
واقع دقت مدل در برآورد میزان آلودگی هوا بررسی شود (اوشان و همکاران، ۲۰۱۹؛ ویلر، ۲۰۱۴). طبق جدول ۳ مقادیر بهینه پارامترهای اولیه الگوریتم ژنتیک، بر اساس روش سعی و خطا انتخاب شد. شرط توقف جهت ساده‌سازی روند پیاده‌سازی، تعداد اجرای خاص در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک (مأخذ: نویسندگان)

پارامتر	مقدار
اندازه جمعیت	۲۰
تعداد نسل‌ها (تکرار)	۱۰۰
نرخ ترکیب	۰/۸
نوع ترکیب	تک نقطه‌ای

معیارها با همان ترتیبی که در جدول ۱ ارائه شده است، کروموزوم‌های الگوریتم ژنتیک را تشکیل داده‌اند. در این تحقیق هر کروموزوم دارای ۶ ژن (معیار) است که به صورت باینری مقداردهی شده است، به گونه‌ای که هر بار تعدادی ژن، جهت ترکیب انتخاب می‌شوند. در این حلت مقدار ۱ به ژن‌های انتخاب شده و مقدار ۰ به ژن‌های انتخاب نشده اختصاص می‌یابد. شکل ۵، نتایج حاصل از ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین RF و SVM با الگوریتم GA را نشان می‌دهد. پس از اجرای الگوریتم SVM-GA، بهترین مقدار تابع برازش برابر با ۰/۲۰۷ به دست آمد و بر این اساس، ۴ معیار PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، O_3 به عنوان معیارهای مؤثر در برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران شناخته شدند. هم‌چنین برای الگوریتم RF-GA بهترین مقدار تابع برازش برابر با ۰/۱۵۳ به دست آمد و بر این اساس ۵ معیار PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، O_3 ، SO_2 به عنوان معیارهای مؤثر در برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران شناخته شدند.

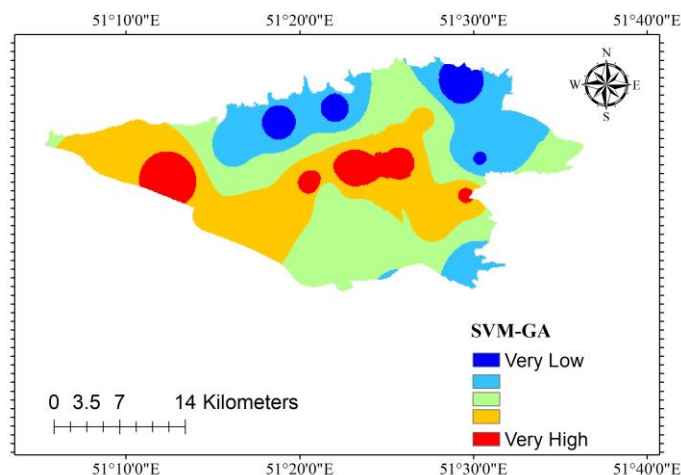




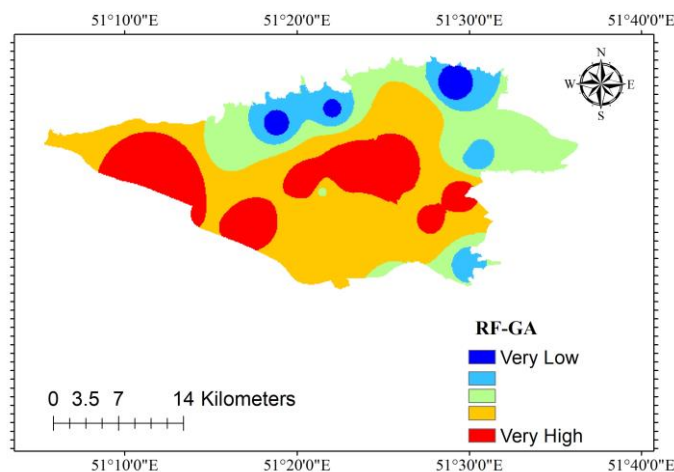
(ب)

شکل ۵- بهترین مقدار و میانگین مقادیر تابع برازش برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین توسعه یافته (الف) SVM-GA (ب) RF-GA (مأخذ: نویسندگان)

جهت ایجاد نقشه‌های برآورد میزان آلودگی شهر تهران، پس از برآورد متغیر وابسته توسط روش‌های یادگیری ماشین توسعه یافته برای نقاط تصادفی تولید شده در محدوده مطالعاتی، سطحی به روش کریجینگ از این نقاط برازش داده می‌شود تا نقشه رستری میزان آلودگی ایجاد گردد. این نقشه‌ها در ۵ کلاس برابر بر اساس روش فاصله مساوی^۱ در محدوده [۰،۱] ایجاد شد. شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه برآورد میزان آلودگی هوا (AQI) در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های SVM-GA و RF-GA در ۵ کلاس برابر می‌باشد.



(الف)

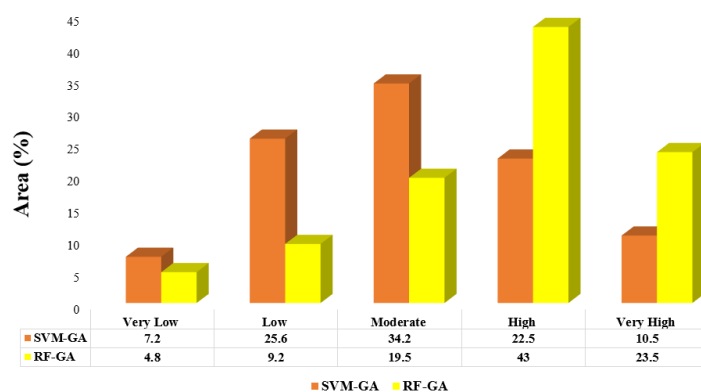


(ب)

شکل ۶- نقشه برآورد میزان آلودگی هوا (AQI) در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین توسعه یافته (الف) SVM-GA (ب) RF-GA (مأخذ: نویسندگان)

۳-۳- ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی آلودگی هوا

شکل ۷، درصد هر یک از کلاس‌های میزان آلودگی هوای پیش‌بینی شده را توسط مدل‌های RF-GA و SVM-GA نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در مدل RF-GA، ۲ کلاس با آلودگی خیلی زیاد و زیاد درصد بیشتری را در منطقه مورد مطالعه نسبت به کلاس‌های مشابه در مدل SVM-GA تحت پوشش قرار می‌دهد. علاوه بر این در مدل SVM-GA، کلاس با آلودگی متوسط، کم و خیلی کم درصد بیشتری را در منطقه مورد مطالعه نسبت به کلاس‌های مشابه در مدل RF-GA دربر گرفته است.



شکل ۷- نمودار میزان درصد کلاس‌های آلودگی هوای پیش‌بینی شده توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین توسعه یافته (مأخذ: نویسندگان)

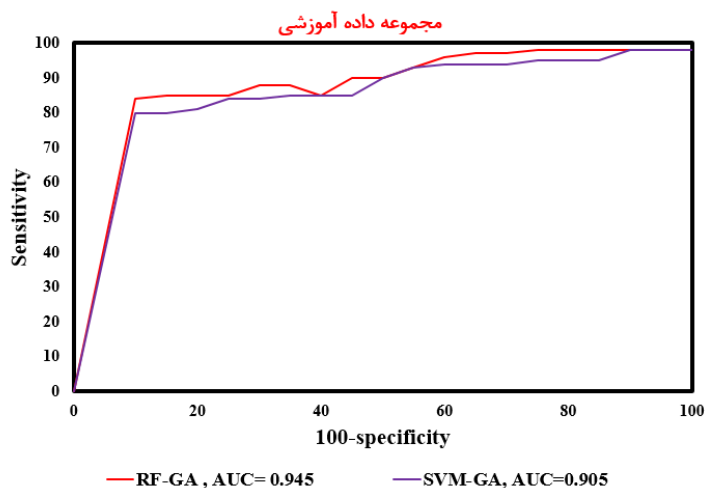
جدول ۴، مقادیر R^2 و RMSE حاصل از الگوریتم‌های یادگیری ماشین SVM-GA و RF-GA را نشان می‌دهد.

جدول ۴- ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین SVM-GA و RF-GA در برآورد میزان آلودگی هوا (مأخذ:

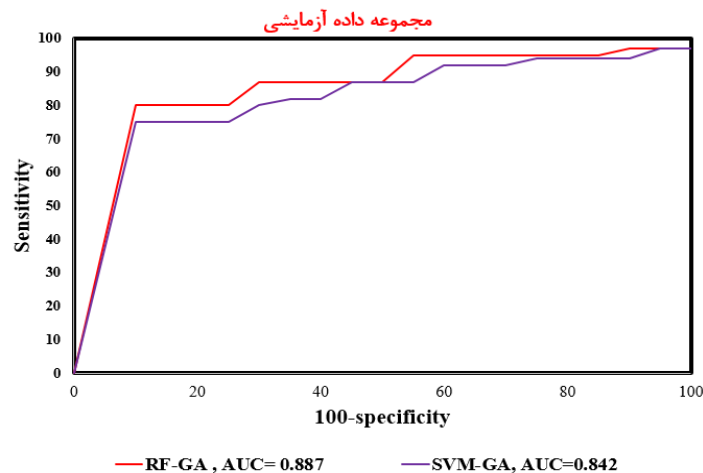
نویسندگان)

نوع روش	R^2	RMSE
SVM-GA	۰/۹۲۵	۰/۲۰۷
RF-GA	۰/۹۹۷	۰/۱۵۳

در نهایت، عملکرد مدل‌های توسعه‌یافته با روش منحنی ROC ارزیابی شد. شکل ۸ منحنی ROC را برای مجموعه داده‌های آموزشی و داده‌های آزمایشی مدل‌ها نشان می‌دهد. شکل ۸ (الف) نشان می‌دهد که برای مجموعه داده آموزشی مدل ترکیبی RF-GA دارای بالاترین مقدار AUC (۰/۹۴۵) و پس از آن مدل SVM-GA (AUC= ۰/۹۰۵) قرار دارند. به طور کلی، قابلیت مدل‌ها برای پیش‌بینی آلودگی هوا توسط مجموعه داده‌های آزمایشی ارزیابی می‌شود. بر این اساس شکل ۸ (ب) نشان می‌دهد که مدل ترکیبی RF-GA قوی‌تر بوده و دارای بالاترین دقت (۰/۸۸۷) نسبت به مدل SVM-GA (AUC= ۰/۸۴۲) می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که اگر چه تمام مدل‌های ترکیبی به کار رفته قدرت پیش‌بینی خوبی دارند، اما عملکرد مدل RF-GA برای پیش‌بینی آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه بهتر است.



(الف)



(ب)

شکل ۸- منحنی ROC و مقدار AUC برای روش‌های پیشنهادی تحقیق (الف) مجموعه داده‌های آموزشی (ب) مجموعه داده‌های آزمایشی (مأخذ: نویسندگان)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی مطالعات صورت پذیرفته مشخص گردید در تحقیقات پیشین، تحلیل مکانی مناسبی برای تعیین ترکیب بهینه آلاینده‌های گازی مؤثر جهت برآورد میزان آلودگی هوا انجام نگرفته است (ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجایی که آلودگی هوا یک مسأله پیچیده و چندوجهی می‌باشد و سازوکار مدلسازی آن خود به تنهایی مسأله بسیار پیچیده‌ای است، این تحقیق در نظر دارد بدون درگیر شدن با مفاهیم پیچیده آلودگی هوا و معادلات شیمیایی شکل‌دهنده، به پیش‌بینی آلودگی هوا از نقطه نظر مکانی به مسأله پرداخته و روابط آلودگی هوا را تنها با تکیه بر معادلات مکانی مدلسازی نماید. لذا هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش‌های نوین یادگیری ماشین مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری ژنتیک (GA) است؛ بنابراین این مطالعه از مطالعات قبلی متمایز است؛ زیرا در این مطالعه از مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین یعنی RF-GA و SVM-GA جهت برآورد میزان تراکم آلودگی هوای شهر تهران بر مبنای تعیین ترکیب بهینه آلاینده‌های گازی استفاده شده است که نوآوری تحقیق حاضر نیز می‌باشد. مهم‌ترین نتایج این تحقیق به شرح ذیل است:

- ترکیب الگوریتم یادگیری ماشین RF با الگوریتم GA نتایج بهتری را نسبت به ترکیب SVM-GA در اختیار قرار داد.
- مقدار R^2 حاصل از ترکیب الگوریتم‌های RF و SVM با الگوریتم GA به ترتیب برابر ۰/۹۲۵ و ۰/۹۹۷ به دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری بالای الگوریتم یادگیری ماشین RF با داده‌های این تحقیق است.

- مقدار RMSE حاصل از ترکیب الگوریتم‌های RF و SVM با الگوریتم GA به ترتیب برابر ۰/۲۰۷ و ۰/۱۵۳ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای الگوریتم یادگیری ماشین RF است.
- مدل ترکیبی RF-GA دارای بالاترین دقت ($AUC = ۰/۸۸۷$) نسبت به مدل SVM-GA ($AUC = ۰/۸۴۲$) می‌باشد.

بر اساس اطلاعات گرفته شده از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران، نتایج حاصل از روش RF بیانگر مناسب بودن انتخاب مدل مذکور جهت برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران بوده است که مطابق با نتایج تحقیق سونگ و همکاران^۱ (۲۰۲۱) است. با برآورد مکانی میزان آلودگی هوا پیشنهادهای زیر مطرح می‌گردد:

- نتایج پژوهش حاضر، قابلیت روش‌های ادغام داده‌محور و GIS را در برآورد میزان آلودگی هوای شهر تهران به خوبی نمایان می‌کند. بدین جهت، پیشنهاد می‌گردد که ارگان‌ها، ادارات و سازمان‌های مربوطه با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی جامع و به روز از تمام جزئیات و عناصر شهری مبتنی بر GIS، همواره آمادگی لازم برای مقابله با پدیده آلودگی هوا را داشته باشند.
- آموزش عمومی، آگاهی و اطلاع‌رسانی دقیق به عموم، در خصوص وجود خطر آلودگی هوا، ابعاد گوناگون آن و همچنین مناطق پرخطر آلودگی هوا.

در این تحقیق از ترکیب الگوریتم ژنتیک با الگوریتم‌های یادگیری ماشین RF و SVM برای شناسایی معیارهای تأثیرگذار در برآورد میزان آلودگی شهر تهران استفاده شد. لذا برای تحقیقات آتی می‌توان توانایی سایر الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم انبوه ذرات، کلونی زنبور و ... را در ترکیب با هر یک از الگوریتم‌های یادگیری ماشین جهت شناسایی معیارهای تأثیرگذار مورد ارزیابی قرار داد. همچنین پیشنهاد می‌گردد با تحقیق بیشتر در خصوص آلودگی هوا به عنوان زمینه کاربردی این تحقیق، پارامترهای مؤثر دیگر با شرایط زمانی مناسب که ممکن است در میزان آلودگی هوای یک نقطه اثرگذار باشند، شناسایی گردیده و به پیش‌بینی زمانی مکانی شاخص کیفیت آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه پردازند.

کتابنامه

اسلامی نژاد، سید احمد؛ افتخاری، مبین؛ محمودی زاده، سعید؛ اکبری، محمد؛ حاجی الیاسی، علی؛ ۱۴۰۰. ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر درخت به منظور پیش‌بینی خطر سیل در بستر GIS. تحقیقات منابع آب ایران.

۱۷(۲)، ۱۷۴-۱۸۹. https://www.iwrr.ir/article_135317.html

اسلامی نژاد، سید احمد؛ افتخاری، مبین؛ اکبری، محمد؛ حاجی الیاسی، علی؛ فرهادیان، هادی؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی مناطق مستعد وقوع سیل با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین (دشت بیرجند). مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۴).

<https://doi.org/10.22059/jwim.2022.332875.934> .۹۰۴-۸۸۵

افتخاری، مبین؛ اسلامی نژاد، سید احمد؛ حاجی الیاسی، علی؛ اکبری، محمد؛ ۱۴۰۰. توسعه مدل DRASTIC با استفاده از هوش مصنوعی در پتانسیل آلودگی آبخوان مناطق نیمه خشک. *اکوهیدرولوژی*. (۳) ۸. ۶۵۱-۶۶۵.

<https://doi.org/10.22059/IJE.2021.323188.1501>

حق بیان، سارا؛ تشیع، بهنام؛ ۱۳۹۹. بهبود دقت مدل سازی غلظت ذرات معلق (PM2.5) از طریق ادغام ایستگاه‌های ثابت و همراه سنجش آلودگی هوا. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر »*. ۲۹ (۱۱۶). ۴۵-۵۸.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.242859>

خزایی، الهه؛ آل شیخ، علی اصغر؛ کریمی، محمد؛ وحیدنیا، محمدحسن؛ ۱۳۹۱. پیش بینی و مدلسازی غلظت آلاینده مونواکسیدکربن با تلفیق شبکه عصبی- فازی تطبیقی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *کاربرد سنجش از دور و GIS*

در علوم منابع طبیعی. ۳ (۳). ۲۱-۳۳. <https://www.sid.ir/paper/189421/fa>

رحیمی، جابر؛ رحیمی، علی؛ بذرافشان، جواد؛ ۱۳۹۲. بررسی تداوم روزهای همراه با آلاینده مونواکسیدکربن (CO) در هوای شهر تهران با استفاده از مدل زنجیره مارکف. *نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست*. ۲ (۱۵). ۷۹-۹۰.

<https://www.sid.ir/paper/87572/fa>

میری، محمد؛ قانعیان، محمد تقی؛ قلیزاده، عبدالمجید؛ یزدانی، اول محسن؛ نیکونهاد، علی؛ ۱۳۹۴. تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی. *مجله مهندسی بهداشت محیط*. (۲) ۳: ۱۵۴-

<http://jehe.abzums.ac.ir/article-1-227-fa.html>. ۱۴

Adams MD, Kanaroglou PS., 2016. Mapping real-time air pollution health risk for environmental management: Combining mobile and stationary air pollution monitoring with neural network models. *Journal of Environmental Management* .168, 133-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.012>

Akbari M, Zahmatkesh H, Eftekhari M., 2021. A GIS-Based System for Real-Time Air Pollution Monitoring and Alerting Based on OGC Sensors Web Enablement Standards. *Pollution*, 7(1), 25-41. <http://dx.doi.org/10.22059/poll.2020.296938.741>

Arabgol R, Sartaj M, Asghari K., 2016. Predicting nitrate concentration and its spatial distribution in groundwater resources using support vector machines (SVMs) model. *Environmental Modeling & Assessment*, 21(1), 71-82. <http://dx.doi.org/10.1007/s10666-015-9468-0>

de Santana FB, de Souza AM, Poppi RJ., 2018. Visible and near infrared spectroscopy coupled to random forest to quantify some soil quality parameters. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 191, 454-462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2017.10.052>

Eftekhari M, Eslaminezhad SA, Akbari M, DadrasAjirlou Y, Elyasi AH., 2021. Assessment of the potential of groundwater quality indicators by geostatistical methods in semi-arid regions. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 52(3), 158-67. [http://dx.doi.org/10.29417/JCSWC.202109_52\(3\).0004](http://dx.doi.org/10.29417/JCSWC.202109_52(3).0004)

Farhadi, R., hadavifar, M., Moeinaddini, M., Amintoosi, M., 2020. Prediction of Air Pollutants Concentration Based on Meteorological Factors in Warm and Cold Season by Artificial

- Neural Network and Linear Regression, Case Study: Tehran. *Journal of Natural Environment*, 73(1), 115-127. <http://dx.doi.org/10.22059/JNE.2020.278331.1681>
- Fawcett T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27, 861-874. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
- Ghorbanzadeh O, Blaschke T, Aryal J, Gholaminia K., 2020. A new GIS-based technique using an adaptive neuro-fuzzy inference system for land subsidence susceptibility mapping. *Journal of Spatial Science*, 65(3), 401-417. <https://doi.org/10.1080/14498596.2018.1505564>
- Gorsevski PV, Gessler PE, Foltz RB, Elliot WJ., 2006. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. *Transactions in GIS*, 10(3), 395-415. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01004.x>
- Guevara J, Zadrozny B, Buoro A, Lu L, Tolle J, Limbeck J, Wu M, Hohl D., 2018. A hybrid data-driven and knowledge-driven methodology for estimating the effect of completion parameters on the cumulative production of horizontal wells. In: *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers (SPE). <https://doi.org/10.2118/191446-MS>
- Kumar D., 2018. Evolving Differential evolution method with random forest for prediction of Air Pollution. *Procedia computer science*, 132, 824-833. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.094>
- Liu H, Li Q, Yu D, Gu Y., 2019. Air quality index and air pollutant concentration prediction based on machine learning algorithms. *Applied Sciences*, 9(19), p.4069. <https://doi.org/10.3390/app9194069>
- Masoudi M, Gerami S., 2017. Status of CO as an air pollutant and its prediction, using meteorological parameters in Esfahan, Iran. *Pollution*. 3 (4), 527-537. <https://doi.org/10.22059/poll.2017.62770>
- McKendry IG., 2015. Evaluation of Artificial Neural Networks for Fine Particulate Pollution (PM10 and PM2.5) Forecasting. *Journal of the Air & Waste Management Association* 52(9): <https://doi.org/1096-1101>. [10.1080/10473289.2002.10470836](https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470836)
- Mirjalili S., 2019. Genetic algorithm. In *Evolutionary algorithms and neural networks* (pp. 43-55). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93025-1>
- Nejadkoorki F., and Baroutian S., 2012. Forecasting Extreme PM10 Concentrations Using Artificial Neural Networks. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1(1), 277-84. <https://doi.org/10.22059/ijer.2011.493>
- Oshan TM, Li Z, Kang W, Wolf LJ, Fotheringham AS., 2019. MGWR: A Python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (6), p. 269. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060269>
- Park S, Kim M, Namgung HG, Kim KT, Cho KH, Kwon SB., 2018. Predicting PM10 concentration in Seoul Metropolitan Subway Stations Using Artificial Neural Network (ANN). *Journal of Hazardous Materials*, 341, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.050>
- Quiroz JC, Mariun N, Mehrjou MR, Izadi M, Misron N, Mohd Radzi MA., 2018. Fault detection of broken rotor bar in LS-PMSM using random forests. *Measurement*, 116, 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.11.004>
- Song XY, Gao Y, Peng Y, Huang S, Liu C, Peng ZR., 2021. A machine learning approach to modelling the spatial variations in the daily fine particulate matter (PM2.5) and nitrogen

- dioxide (NO₂) of Shanghai, China. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(3), 467-483. <https://doi.org/10.1177/2399808320975031>
- Sun Y, Xue B, Zhang M, Yen GG, Lv J., 2020. Automatically designing CNN architectures using the genetic algorithm for image classification. *IEEE transactions on cybernetics*, 50(9), 3840-3854. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2020.2983860>
- Tien Bui D, Shahabi H, Omidvar E, Shirzadi A, Geertsema M, Clague JJ, Lee S., 2019. Shallow landslide prediction using a novel hybrid functional machine learning algorithm. *Remote Sensing*, 11(8), 931. <https://doi.org/10.3390/rs11080931>
- Wang X, Liu H., 2019. A Knowledge-and Data-Driven Soft Sensor Based on Deep Learning for Predicting the Deformation of an Air Preheater Rotor. *IEEE Access* 7:159651–159660. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950661>
- Wheeler DC., 2014. Geographically Weighted Regression. *Handbook of Regional Science*, Springer: 1435-1459. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23430-9_77
- Wiemann S, Richter S, Karrasch P, Brauner J, Pech K, Bernard L., 2012. Classification-driven air pollution mapping as for environment and health analysis. 6th International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2012, Leipzig, Germany. <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2012/Stream-B/353/>
- Xue J, Xu Y, Zhao L, Wang C, Rasool Z, Ni M, Wang Q, Li D., 2019. Air pollution option pricing model based on AQI. *Atmospheric Pollution Research*, 10(3), 665-674. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.10.011>



Investigating the Impacts of Heavy Metals and the Environmental on the Soil Biodiversity (Hexapoda: Collembola)

Ensieh Saberi Pour^a, Fatemeh Tabatabaei Yazdi^{b*}, Morteza Kahrarian^c

^a MA Student in Sciences and Environmental Engineering, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^c Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Kermanshah branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Received: 28 November 2022

Revised: 26 December 2022

Accepted: 12 January 2023

Abstract

The increasing population, the expansion of industrial and urban wastewater, and the lack of proper treatment have significantly contributed to the existence heavy metals in the soil ecosystem. Preventing the impacts of heavy metals on the quality and health of the soil ecosystem requires selecting appropriate bioindicators. Thus, this study aims to investigate the impacts of heavy metals and the effective environmental parameters of the soil on Collembola, at genus level. For this purpose, in two stages, soil samples were taken from the stations around Charmshahr industrial wastewater treatment plant and Khin Arab and Parkandabad municipal wastewater treatment plants in Mashhad, Iran. Twenty-eight soil samples, each obtained by mixing four sub-samples, were collected from 14 stations. Statistical analysis was performed using R software. In the studied area, a total of 15 genera of Collembola were identified. All these genera were reported for the first time from Mashhad. The results of comparing the concentration of chemical parameters and the genera richness in Collembola showed that there is a significant correlation between them. The results show that the number of genera has a negative correlation with two metals, iron and chromium, and among the measured elements in soil, only total carbon has a positive correlation with the number of genera ($p < 0.05$). The results of the canonical correspondence analysis showed that the response of the abundance of each Collembola genera to the concentrations of heavy metals and the environmental parameters is different. Thus, even if Collembola is advising as a proper bioindicator, we should mention that the response of the biodiversity to the abiotic parameters in soil is various, which must be deliberated in the ecosystem management.

Keywords: Biodiversity, Bioindicator, Environment, Heavy Metals, Pollution

*.Corresponding author: Fatemeh Tabatabaei Yazdi Email: f.tabatabaei@um.ac.ir Tel: +989396330571

How to cite this Article: Saberi Pour, E., Tabatabaei Yazdi, F., & Kahrarian, M. (2023). Investigating the impacts of heavy metals and the environmental on the soil biodiversity (Hexapoda: Collembola). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 187-205.

DOI: 10.22067/geoeh.2023.79797.1308



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79797.1308> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۸۷-۲۰۵
مقاله پژوهشی

بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی بر تنوع زیستی خاک (دم‌فنیان؛ Hexapoda: Collembola)

انسبه صابری‌پور- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
فاطمه طباطبائی یزدی^۱ - عضو هیئت‌علمی گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
مرتضی کهراریان- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

رشد روزافزون جمعیت، گسترش فاضلاب‌های صنعتی و شهری و عدم تصفیه صحیح به‌طور قابل‌توجهی منجر به افزایش سطح فلزات سنگین در اکوسیستم خاک گشته است. پیشگیری از اثرات فلزات سنگین بر سلامت اکوسیستم خاک نیازمند انتخاب شاخص‌های زیستی مناسب است. تحقیق حاضر به بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی مؤثر خاک روی جنس‌های دم‌فنیان از بن‌سپیان می‌پردازد. بدین منظور در دو مرحله از ایستگاه‌هایی در محیط پیرامون تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و شهری چرمشهر، خین‌عرب و پرکنندآباد شهرستان مشهد در ایران نمونه‌برداری انجام شد. ۲۸ نمونه خاک که هر نمونه از اختلاط چهار زیر نمونه به دست آمده بودند، از تعداد ۱۴ ایستگاه جمع‌آوری گردیدند. در مجموع ۱۵ جنس از دم‌فنیان از منطقه مطالعاتی شناسایی شد. تمامی این جنس‌ها برای اولین بار از شهرستان مشهد گزارش شده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه غلظت پارامترهای شیمیایی و جنس‌های دم‌فنیان نشان داد بین آن‌ها همبستگی وجود دارد. تعداد جنس با دو فلز آهن و کروم همبستگی منفی داشت و از بین عناصر

Email: F.tabatabaei@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۶۵

نحوه ارجاع به این مقاله:

صابری پور، انسبه؛ طباطبائی یزدی، فاطمه؛ کهراریان، مرتضی؛ ۱۴۰۲. بررسی تأثیرات فلزات سنگین و پارامترهای محیطی بر تنوع زیستی خاک (دم‌فنیان؛ Hexapoda: Collembola). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۱۸۷-۲۰۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79797.1308>

دیگر مورد آنالیز، تنها کربن کل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد جنس دم‌فنیان است. نتایج تحلیل تطابق متعارفی نشان داد که واکنش فراوانی هر یک از جنس‌های دم‌فنیان نسبت به پارامترهای محیطی متفاوت است. بنابراین با وجود اینکه دم‌فنیان به‌عنوان شاخص‌های زیستی مناسب توصیه می‌گردند، باید به این امر توجه داشت که تنوع زیستی به‌طور متفاوتی به عوامل غیر زیستی محیط پاسخ می‌دهد و این مهم باید در مدیریت اکوسیستمی مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، شاخص‌های زیستی، تنوع زیستی، فلزات سنگین، محیط‌زیست.

۱- مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت‌های انسانی و به دنبال آن آلاینده‌های محیط‌زیستی، اثرات منفی بسیاری در محیط ایجاد کرده است که دربرگیرنده انواع خسارات جبران‌ناپذیری برای انسان و محیط‌زیست است (علیزاده اقدم و همکاران، ۲۰۱۷). از مهم‌ترین آلودگی‌های محیط‌زیست می‌توان به آلودگی خاک اشاره نمود. خاک‌ها منابع تجدیدنپذیری هستند که تخریب آن‌ها می‌تواند بسیار سریع‌تر از فرآیندهای تشکیل و اصلاح انجام شود. آلودگی خاک می‌تواند عواقب پایدار محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی داشته باشد (النگبوی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ کویتکووسکا-مالینا^۲، ۲۰۱۸). فلزات سنگین از اصلی‌ترین و عمده‌ترین عوامل آلودگی خاک هستند. هنگامی که این فلزات بیش‌ازحد وارد ماتریکس خاک می‌شوند، باعث پایین آوردن بهره‌وری خاک و کیفیت اکوسیستم آن می‌شوند (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). فلزات سنگین به دلیل اثرات منفی فزاینده آن‌ها در سطوح اکولوژیکی، زیست‌محیطی، تکاملی و تغذیه‌ای به یک مسئله جهانی تبدیل شده‌اند. متأسفانه به دلیل فعالیت‌های انسانی از قبیل تولید فاضلاب، توسعه معادن، کشاورزی و کاربردهای چندگانه‌ای که فلزات سنگین دارند اکوسیستم خاک در معرض آلودگی شدید آن‌ها قرار می‌گیرد (ان. شارما^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

در سطح جهانی، بیش از ۸۰ درصد از فاضلاب‌های تصفیه نشده به محیط‌زیست تخلیه می‌شوند که صنعت ۲۸ درصد از آن را تشکیل می‌دهد (آمانزه^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). تخلیه فاضلاب به آبراهه‌ها، به‌عنوان منبع مهمی از آلودگی فلزی در زندگی آب‌و‌خاک توصیف شده‌اند آن‌ها به‌طور مؤثری به ذرات متصل می‌شوند، در کف رودخانه تجمع می‌یابند، سپس به مناطق دیگر وارد و منبع ثانویه آلودگی می‌شوند و اکوسیستم‌ها را در معرض خطر قرار می‌دهند (پی. شارما^۶، ۲۰۲۱). فلزات سنگین ممکن است علاوه بر تصفیه‌خانه‌های صنعتی در مقادیر قابل توجهی در

1 Alengebawy et al

2 Kwiatkowska-Malina

3 Zhang et al

4 N. Sharma et al

5 Amanze et al

6 P.Sharma

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری^۱ (WWTP) وجود داشته باشند؛ بنابراین به منظور دستیابی به هشدار اولیه، ارزیابی خطرات محیط‌زیستی و جلوگیری از کاهش کیفیت محیط‌زیست، انتخاب شاخص‌های زیستی مناسب برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ضروری است (پارک^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ریخاته^۳ و سریواستاوا، ۲۰۱۹). شاخص‌های زیستی شرایط محیطی تغییر یافته را نشان داده و می‌توانند برای شناسایی و یا تعیین کمیت اثرات آلاینده‌ها بر محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرند (ژانگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

کلان‌شهر مشهد دارای کارخانجات صنعتی و قطب کشاورزی در شرق ایران است. فاضلاب تصفیه‌خانه‌های این شهر چه از نوع صنعتی و چه شهری وارد رودخانه کشف‌رود می‌گردند (حسینی بهلولی و همکاران، ۱۳۹۶). کشف‌رود پرآب‌ترین رودخانه مشهد است که از وسعت زیادی برخوردار می‌باشد. سرشاخه‌های آن از کوه‌های بینالود و سرچشمه آغاز و تا رودخانه تجن ادامه می‌یابد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴) بنابراین می‌تواند بار آلودگی را انتقال داده و تنوع زیستی اکوسیستم خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

دم‌فنیان، بندپلیان کوچکی هستند که در لایه‌های بالایی خاک و در اکثر مناطق روی کره زمین زندگی می‌کنند. آن‌ها متعلق به مزوفونای خاک هستند که شامل بی‌مهرگانی با قطر بدن بین ۰/۱ تا ۲ میلی‌متر می‌شوند (وانگ^۵ و همکاران ۲۰۲۲). این میکروبن‌دپایان نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی، چرخه مواد غذایی، انتقال انرژی در اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند (لی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اسلاوسکی و اسلاوسکا^۷، ۲۰۱۹) مطالعات نشان داده است که وابستگی دم‌فنیان به ویژگی‌ها و فاکتورهای موجود در خاک باعث می‌شود که بتوان از آن‌ها به‌عنوان شاخص‌های ارزشمندی در بررسی کیفیت کلی خاک استفاده نمود و ممکن است زودتر از سایر جانداران نشان‌دهنده اختلال در اکوسیستم باشند (نورسیتا^۸ و همکاران، ۲۰۰۵؛ یلنگ^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). در این پژوهش هدف بر آن است که اثرات غلظت فلزات سنگین و پارامترهای محیطی مؤثر خاک روی جنس‌های رده دم‌فنیان (Hexapoda: Collembola) به‌عنوان یک شاخص زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد.

1 Waste Water Treatment Plant

2 Park et al

3 Rekhate & Srivastava,

4 Zhang et al

5 Wang et al

6 Li et al

7 Sławski & Sławska

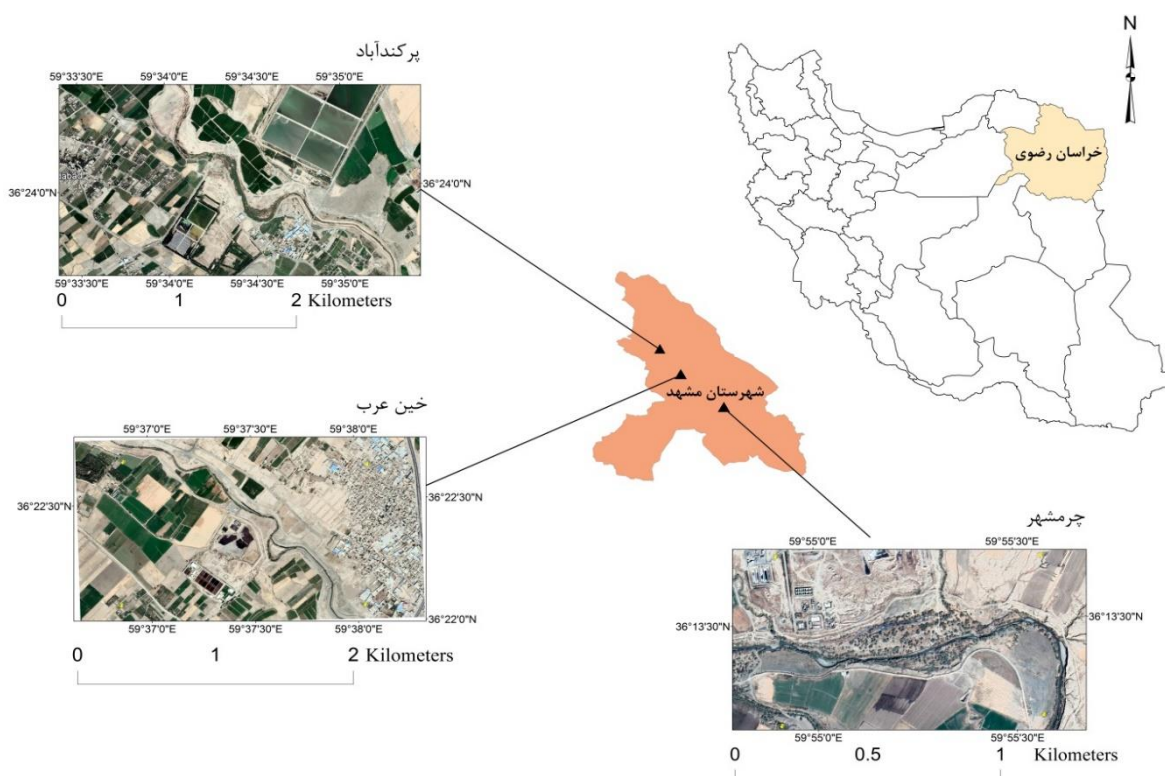
8 Nursita et al

9 Ying et al

۲- مواد و روش

۲-۱- مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد پژوهش تصفیه‌خانه‌های چرمشهر، پرکن‌آباد و خین‌عرب در شهرستان مشهد می‌باشند (شکل ۱). تصفیه‌خانه چرمشهر در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض جغرافیایی بعد از روستای قزقان واقع شده است. فاضلاب کارخانه‌های شهرک صنعتی چرمشهر مشهد، به این تصفیه‌خانه هدایت می‌شوند (برات‌زاده پستچی و همکاران، ۲۰۲۰). تصفیه‌خانه پرکن‌آباد با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه و ۵۷ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض جغرافیایی در روستای پرکن‌آباد، حدفاصل ۱۰ کیلومتری از شهر مشهد قرار گرفته است (مهراوران و همکاران، ۱۳۹۴). تصفیه‌خانه خین‌عرب در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۹ ثانیه عرض جغرافیایی در روستای خین‌عرب و در ۴ کیلومتری جاده خاکی گاز شهر مشهد قرار گرفته است. تصفیه‌خانه‌های پرکن‌آباد و خین‌عرب در برگیرنده فاضلاب شهری می‌باشند (اسماعیلیان و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱- نقشه مناطق مورد مطالعه در شهرستان مشهد

۲-۲- روش‌های جمع‌آوری و شناسایی دم‌فتریان

۲-۲-۱- روش نمونه‌برداری

برای نمونه‌برداری خاک از محیط پیرامون تصفیه‌خانه چرمشهر تعداد ۶ ایستگاه (A1 تا A6) و برای هر کدام از دو تصفیه‌خانه‌های پرکن‌آباد و خین‌عرب تعداد ۴ ایستگاه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد (خین‌عرب B1 تا B4 و پرکن‌آباد C1 تا C4) (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). علت مغایرت تعداد ایستگاه‌ها به این جهت است که پساب تصفیه‌خانه پرکن‌آباد و خین‌عرب مستقیماً به رودخانه کشف‌رود می‌ریزند و برخلاف تصفیه‌خانه چرمشهر مسافتی را از خروجی تصفیه‌خانه تا ورود به رودخانه طی نمی‌کنند. با این تفصیل، تعداد ۲ ایستگاه در حدفاصل خروجی تصفیه‌خانه چرمشهر تا نقطه ورود پساب به رودخانه کشف‌رود در نظر گرفته شد.

نمونه‌برداری در دو سری زمانی اسفند ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰ انجام شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری به صورت تصادفی انتخاب گردید. در هر مرحله از نمونه‌برداری، از هر ایستگاه یک نمونه خاک برای سنجش دم‌فتریان خاک فراهم گردید این نمونه خاک از ادغام ۴ زیر نمونه خاک به دست آمد. باتوجه به اینکه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در هر دو دفعه نمونه‌برداری یکسان بودند برای سنجش مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی محیطی خاک، تنها در مرحله دوم نمونه‌برداری از هر ایستگاه یک نمونه خاک (هر نمونه خاک از ادغام ۴ زیر نمونه به دست آمده بود) جمع‌آوری گردید (ارینگتون^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

روش جمع‌آوری زیر نمونه‌های خاک جهت آنالیز دم‌فتریان بدین صورت بود: هر زیر نمونه در قطر ۱۰ Cm و تا عمق ۱۰ Cm خاک (به وسیله اندازه‌گیری با خط‌کش) با یک بیلچه جمع‌آوری و در داخل کیسه‌های پلاستیکی کددار، قرار داده شدند زیر نمونه‌های خاک به صورت حرکت زیگزاگی جمع‌آوری گردیدند در هنگام نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی با Gps ثبت گردید و با استفاده از نرم‌افزار Handy Gps نقاط نمونه‌برداری شده در سری دوم نمونه‌برداری مکان‌یابی شدند در نهایت ۱۴ نمونه خاک جهت آنالیز شیمیایی (برای هر نمونه سه تکرار انجام شد) جمع‌آوری شد و ۲۸ نمونه خاک جهت شناسایی دم‌فتریان در دو مرحله نمونه‌برداری فراهم گردیدند که نتایج حاصل از شناسایی دم‌فتریان در دو مرحله با یکدیگر تلفیق شدند (کوزتسوا^۳، ۲۰۰۹؛ سانتاماریا^۴ و همکاران، ۲۰۱۲؛ سانتوروفو^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ استرزینسکا^۶ و همکاران، ۲۰۱۸).

1 Liu et al

2 Errington et al

3 Kuznetsova

4 Santamaría et al

5 Santorufo et al

6 Sterzyńska et al

۲-۲-۲- جداسازی دم‌فتریان

نمونه‌های خاک مربوط به دم‌فتریان به مدت ۷ روز داخل قیف‌های برلیز قرار گرفتند تا جداسازی دم‌فتریان انجام شد (کولیبالی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). برای شناسایی دم‌فتریان نیاز به تهیه اسلاید میکروسکوپی است؛ بنابراین ابتدا نمونه‌های دم‌فتری شفاف شدند. برای شفاف‌سازی و بسته به نوع نمونه از ۱- محلول نسبیّت (آب مقطر ۴۰ سی‌سی، کلرال هیدرات ۴۰ گرم، اسید استیک غلیظ ۲/۵ سی‌سی) استفاده شد که بسته به میزان ضخامت کوتیکول و رنگ‌دانه نمونه ممکن است هر نمونه بین چند دقیقه تا چند ساعت در محلول نسبیّت باقی بماند (کهراریان، ۱۳۹۲). ۲- استفاده از KOH برای این منظور نمونه‌ها در KOH ده درصد و به مدت یک یا دو دقیقه قرار داده شدند. پس از آن هر نمونه در آب مقطر قرار داده و به آرامی توسط یک چراغ‌الکلی تا حدودی حرارت داده شدند تا نمونه‌ها متورم شده و از حالت چسبندگی خارج شوند. این روش بیشتر برای دم‌فتریان مختلف خانواده Entomobryidae و برخی از Hypogastridae استفاده گردید (کهراریان، ۱۳۹۲). سپس براساس اشکال ظاهری بدن از قبیل سایز فورکا، تعداد بندهای شکمی و سایز آن‌ها، الگوهای رنگی، شکل سر، خارهای شکمی، وجود یا عدم وجود، موهای حسی، بندها، اندازه قفسه سینه و کلیدهای معتبری از جمله برتفلد^۲ (۱۹۹۹)، پوتاپوف^۳ (۲۰۰۲)، تیپود^۴ (۲۰۰۴)، فیلیبرگ^۵ (۲۰۰۷) و اربی و کهراریان^۶ (۲۰۱۵) شناسایی انجام شد.

۲-۳- ارزیابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه به سه گروه، قابل تقسیم هستند: ۱- ویژگی‌های مربوط به خاک شامل pH، EC، دما^۷ (ST) و رطوبت^۸ (SM) ۲- عناصر اصلی خاک شامل کربن کل، فسفر کل، نیتروژن کل و نسبت غلظت عنصر کربن به فسفر (C/P) و کربن به نیتروژن (C/N) ۳- فلزات متداول خاک شامل آلومینیوم، کروم، مس، آرسنیک، کادمیوم، آهن، نیکل و سرب که غلظت کل هر فلز مدنظر است. غلظت کل فلزات سنگین و عنصر فسفر توسط دستگاه پلاسما جفت شده القائی - طیف‌سنج نشر نوری^۹ و غلظت کل عناصر کربن، نیتروژن توسط دستگاه CHNOS^{۱۰} آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مورد خوانش قرار گرفتند. سنجش pH براساس نسبت انتخابی خاک به آب ۲/۵: ۱ می‌باشد؛ بنابراین در یک بشر ۱۰۰ سی‌سی، مقدار

1 Coulibaly et al

2 Bretfeld

3 Potapov

4 Thibaud

5 Fjellberg

6 Arba & Kahrarian

7 Soil Temperature

8 Soil Moisture

9 ICP- OES, SPECTRO ARCOS- 76004555

10 CHNS- FLASH EA 1112 SERIES

۱۰ گرم خاک ریخته و ۲۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس به وسیله یک دستگاه شیکر مخلوط و بعد از مدت کوتاهی که نمونه خاک ثلثت گردید با دستگاه pH Meter در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرلنت شدند (استرزینسکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). EC نمونه های خاک براساس نسبت ۱:۵ به دست آمد؛ بنابراین در یک ارلن ۲۵۰ سی سی مقدار ۱۰ گرم خاک ریخته و ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد سپس روی یک شیکر قرار داده تا محلول یکدست شود در نهایت از کاغذ صافی عبور داده و در دمای ۲۲ درجه سانتی گراد با دستگاه EC Meter خوانش شدند (یان و مارشنر^۲، ۲۰۱۳). مقادیر پارامترهای دما و رطوبت در مناطق نمونه برداری با دستگاه های رطوبت سنج و دماسنج اندازه گیری شدند.

۲-۴- آنالیزهای آماری

آنالیزهای آماری در نرم افزار R انجام شد. بررسی توزیع نرمال بودن داده ها براساس آزمون شاپیرو ویلک^۳ صورت گرفت (استرزینسکا^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). براساس این آزمون از بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی تنها آلومینیوم، آهن و دما و از بین داده های مربوط به دم فزنیان تعداد جنس از توزیع نرمال برخوردار بودند. بررسی اختلاف معنی داری میانگین تعداد جنس دم فزنیان و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی براساس آنالیز آنوا یک طرفه^۵ و کروسکال والیس^۶ در مناطق مورد مطالعه انجام گرفت. بدین منظور برای پارامترهایی که وضعیت نرمالی داشتند از آنوا یک طرفه و در صورت وجود اختلاف معنی داری ($P\text{-value} < 0/05$)، برای مقایسه میانگین هایشان از آزمون تعقیبی فیشر^۷ به کار گرفته شد و برای پارامترهایی که وضعیت غیر نرمالی داشتند از آزمون کروسکال والیس که معادل آنوا یک طرفه است استفاده گردید (تیدون^۸ و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه در سه ایستگاه متعلق به منطقه چرم شهر هیچ دم فزنی مشاهده نگردید اطلاعات متعلق به این ایستگاه ها در محاسبات همبستگی و بررسی روابط دم فزنیان استفاده نشد (آستروی^۹ و همکاران، ۲۰۱۶). به کمک ضرایب همبستگی اسپرمن^{۱۰} و پیرسون^{۱۱} میزان همبستگی بین پارامترهای محیطی شیمیایی و فیزیکی با تعداد جنس دم فزنیان به دست آمد. همچنین از تحلیل تطابق متعارفی^{۱۲} (CCA) برای به دست آوردن روابط فراوانی هر جنس با عوامل محیطی استفاده گردید (وینکلر^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۸)

1 Sterzyńska et al

2 Yan & Marschner

3 Shapiro_Wilk Test

4 Sterzyńska et al

5 One-Way ANOVA

6 Kruskal-Wallis test

7 LSD

8 Tidona et al

9 Austruy et al

10 Spearman rank-order correlation coefficient

11 Pearson Correlation Coefficient

12 Canonical correspondence analysis

13 Winkler

این آزمون به کمک فراخوانی پکیج Library vegan انجام گردید. آزمون کروسکال والیس به کمک agricolae Library و دستورات مربوطه انجام شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج متعلق به شناسایی دم‌فتریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شناسایی دم‌فتریان برای اولین بار در شهرستان مشهد و در اطراف تصفیه‌خانه‌های پرکن‌آباد، خین‌عرب، چرمشهر و در حاشیه رودخانه کشف‌رود صورت گرفت. نتایج حاصل از شناسایی دم‌فتریان نشان داد در ایستگاه‌های اول، دوم و چهارم چرمشهر هیچ دم‌فتری دیده نشده است. در ایستگاه سوم و ششم تعداد ۱ جنس و در ایستگاه پنجم تعداد ۲ جنس وجود داشت. در ایستگاه اول خین‌عرب تعداد ۴ جنس، در ایستگاه دوم و سوم آن تعداد ۲ جنس و در ایستگاه چهارم آن تعداد ۳ جنس دیده شد. در ایستگاه اول پرکن‌آباد تعداد ۸ جنس، ایستگاه دوم آن تعداد ۶ جنس، ایستگاه سوم آن تعداد ۱۰ جنس و در ایستگاه چهارم آن تعداد ۵ جنس مشاهده شد (جدول ۱). جنس‌های *Ceratophysella*، *Friesea*، *Entomobrya*، *Hypogastrura* بین مناطق پرکن‌آباد و خین‌عرب و جنس *Hemisitoma* بین پرکن‌آباد و چرمشهر مشترک بودند و *Proisotoma* تنها جنسی بود که در هر سه منطقه مشاهده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- فراوانی هر یک از جنس‌های دم‌فتریان در نمونه‌های خاک برداشت‌شده از ایستگاه‌های مورد مطالعه A۱

تا C۴ (حجم نمونه خاک برای هر ایستگاه ۲۰۰۰ سانتی‌متر مکعب می‌باشد)

ایستگاه / جنس	A۱	A۲	A۳	A۴	A۵	A۶	B۱	B۲	B۳	B۴	C۱	C۲	C۳	C۴
Desoria	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
Proisotoma	۰	۰	۳	۰	۳۱	۱۳۶	۳۶۳	۱۰	۴۸	۴۲۲	۶۲۸	۶۶۷	۳۵۹	۵۲۹
Hypogastrura	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۱	۱۷	۰	۱۲۵	۰
Ceratophysella	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۴	۰	۰	۵۵	۰	۰	۰
Sminthurinus	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳	۰	۱	۰
Entomobrya	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰	۸	۷	۳۰	۷
Folsomides	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۱۱	۱۰
Pseudosinella	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶	۰	۱	۰
Friesea	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۰	۴	۰	۱۵
Orthonychiurus	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۴	۰
Hemisitoma	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰
Brachystomella	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹	۵	۴

ایستگاه/جنس	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴	A _۵	A _۶	B _۱	B _۲	B _۳	B _۴	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴
Heteraphorura	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰
Isotomurus	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۰
Orchesella	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰

۳-۲- بررسی اختلاف معنی داری میانگین غلظت فلزات سنگین در سطح ایستگاه‌ها و مناطق مورد مطالعه

نتایج میانگین غلظت فلزات سنگین نشان داد تمام فلزات به جز فلزات مس و آلومینیوم در بین مناطق چرمشهر، خین‌عرب و پرکندآباد دارای اختلاف معنی دار هستند ($P\text{-value} < 0/05$) همچنین تمام فلزات در سطح ایستگاه‌های این مناطق، دارای تفاوت معنی دار می‌باشند ($P\text{-value} < 0/05$)؛ بنابراین مقایسه میانگین غلظت فلزات بین مناطق و ایستگاه‌ها انجام گردید (جداول ۲ و ۳).

۳-۲-۱- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در بین مناطق چرمشهر، خین‌عرب و پرکندآباد

نتایج حاصل از مقایسه میانگین فلزات در سطح مناطق نشان داد فلزات کروم و نیکل بیشترین میانگین غلظت را در منطقه چرمشهر دارند و بین مناطق پرکندآباد و خین‌عرب از نظر این دو فلز تفاوت معنی داری مشاهده نشد. منطقه خین‌عرب دربرگیرنده بیشترین میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم می‌باشد که از لحاظ آماری میزان این دو فلز تفاوت معنی داری با منطقه پرکندآباد ندارد. فلز آرسنیک بیشترین میانگین غلظت را در خین‌عرب دارد و منطقه پرکندآباد با مناطق چرمشهر و خین‌عرب تفاوت معنی داری ندارد. بیشترین میانگین غلظت فلز آهن در چرمشهر مشاهده شد که خین‌عرب از لحاظ میانگین غلظت آهن با دو منطقه تفاوت معنی داری نشان نداد (جداول ۲).

۳-۳- بررسی اختلاف معنی داری میانگین پارامترهای ویژگی‌های خاک و عناصر اصلی در بین ایستگاه‌ها و مناطق

مورد مطالعه

طبق نتایج میانگین پارامترهای pH، EC و کربن در بین مناطق و ایستگاه‌ها دارای اختلاف معنی داری ($P < 0/05$) هستند؛ اما عناصر فسفر و نیتروژن تنها در سطح ایستگاه اختلاف معنی دار ($P\text{-value} < 0/05$) نشان دادند. پارامترهای دما و رطوبت در هیچ‌کدام از سطوح مطالعاتی (ایستگاه و منطقه) اختلاف معنی داری نداشتند ($P > 0/05$) (value) بنابراین مقایسه میانگین پارامترها بین مناطق و ایستگاه‌ها انجام گردید (جداول ۲ و ۳).

۳-۳-۱- مقایسه میانگین غلظت کل عناصر اصلی و پارامترهای ویژگی‌های خاک در بین مناطق چرمشهر، خین‌عرب

و پرکندآباد

بیشترین میانگین غلظت کربن متعلق به منطقه پرکندآباد و کمترین آن متعلق به خین‌عرب می‌باشد که منطقه خین‌عرب اختلاف معنی داری با چرمشهر ندارد. بیشترین میانگین رتبه‌ای میزان pH متعلق به چرمشهر است که از نظر

آماري با پرکندآباد اختلافی ندارد و کمترین میزان متعلق به خین عرب است. همچنین بیشترین میانگین رتبه‌ای EC متعلق به چرمشهر و کمترین آن در خین عرب مشاهده گردید (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)، کربن کل (میلی گرم بر کیلوگرم)، EC (میکروزیمنس بر سانتی متر) و pH در بین مناطق مورد مطالعه. مقادیر با حرف یکسان تفاوت معناداری ندارند.

(تجزیه و تحلیل واریانس، $P < 0/05$ بین مناطق نمونه برداری)

پارامتر	چرمشهر	خین عرب	پرکندآباد
آرسنیک	b _{5/02}	a _{7/40}	ab _{5/82}
کادمیوم	b _{0/12}	a _{0/22}	a _{0/18}
سرب	b _{15/982}	a _{30/79}	a _{28/08}
نیکل	a ₁₆₆₇₅	b _{45/87}	b ₄₇₉₇
کروم	a _{723/00}	b _{49/21}	c _{37/90}
آهن	a ₁₈₈₂₃	ab ₁₇₃₈₃	b ₁₅₆₆₃
کربن	b ₃₁₇₄	b ₃₁₆₈₀	a ₄₆₀₁₄
pH	a _{8/19}	b _{7/90}	a _{8/33}
EC	a _{5967/0}	c ₉₉₈₃	b _{1150/0}

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)، کربن کل (میلی گرم بر کیلوگرم)، EC (میکروزیمنس بر سانتی متر) و pH در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه A1 تا C4. مقادیر با حرف یکسان تفاوت معناداری ندارند.

(تجزیه و تحلیل واریانس، $P < 0/05$ بین ایستگاه‌های نمونه برداری)

پارامتر	A1	A2	A3	A4	A5	A6
آرسنیک	h _{2/28}	g _{4/45}	bc _{7/09}	f _{5/61}	gh _{4/34}	cd _{6/33}
کادمیوم	f _{0/30}	cd _{0/16}	cd _{0/16}	de _{0/12}	ef _{0/10}	bc _{0/18}
سرب	ij _{33/74}	j _{11/93}	i _{13/88}	de _{21/03}	h _{17/10}	g _{18/21}
نیکل	d _{147/39}	a _{196/41}	d _{145/27}	c _{164/11}	c _{169/24}	b _{178/08}
کروم	a _{2584/20}	b _{498/45}	c _{227/46}	c _{385/30}	e _{240/41}	d _{254/15}
آهن	i _{13189/1}	b _{2124/86}	a _{2273/77}	d _{1892/69}	e _{17683/8}	c _{1922/26}
مس	d _{36/13}	i _{23/13}	g _{25/51}	e _{2/59}	e _{22/93}	cd _{42/12}
آلومینیوم	a _{5784/1}	c _{871/18}	a _{966/3}	d _{1237/9}	h _{455/0}	e _{1165/4}
کربن	a ₆₄₈₇₀	e ₂₆₈₆₉	d ₃₂₆₉₉	d ₃₁₀₈₄	cd ₄₄₄₃₄	d ₃₃₀₈₈
فسفر	b _{1148/5}	c _{910/79}	f _{758/34}	i _{535/75}	i _{468/24}	h _{555/02}
نیترژن	f ₈₃₉₀	b ₁₇₄₇₀	d ₁₁₆₁₆	a ₃₄₃₀₀	i ₄₁₉₆	de ₁₀₄₆₂

پارامتر	A1	A2	A3	A4	A5	A6
pH	fgv/۹۲	cdef/۱۰۸	cdef/۱۰۷	bcd/۱۲۱	ab/۱۵۵	bc/۱۲۹
EC	b۹۵۳۷/۰	a۱۰۷۱۱/۰	d۶۲۹۷/۰	c۶۹۵۹/۳	k۶۴۵/۷	f۱۶۵۲/۷

ادامه جدول ۳

پارامتر	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
آرسنیک	abv/۵۶	f۵/۷۳	f۵/۷۲	a۱۰/۶۰	e۵/۹۵	de۶/۰۳	e۵/۹۱	f۵/۴۰
کادمیوم	ab۰/۲۱	cd۰/۱۵	de۰/۱۳	a۰/۴۲	a۰/۲۵	cd۰/۱۵	de۰/۱۲	ab۰/۲۲
سرب	bc۳/۵۵	cd۲۳/۸۷	g۱/۴۸	ab۴۲/۲۵	a۵۶۳۲	ef۲۰/۱۷	f۱۹/۵۴	h۱۶۳۰
نیکل	h۴۷/۴۶	f۱۱/۶۶	k۳۰/۷۱	i۴۳/۶۳	j۳۲/۵۸	k۳۰/۱۱	g۵۰/۹۶	e۷۴/۲۴
کروم	f۶۱/۳۴	h۵۶/۰۵	m۲۵/۳۵	i۵۴/۱۰	k۲/۸۸	l۲/۱۰	j۳۷/۲۳	g۵۷/۳۶
آهن	ef۱۷۴۷۹/۲	cd۱۹۱۹۴/۹	f۱۷۲۴۹/۹	g۱۵۶۰/۸	h۱۵۰۴۸/۱	h۱۵۱۵۰/۶	i۱۳۳۹۸/۷	cd۱۹۰۵۳/۴
مس	bc۶۶/۱۳	f۳۰/۶۱	f۳۰/۴۵	ab۷۲/۶۶	a۹۵/۳۴	h۲۴/۲۴	h۲۳/۹۳	f۳۰/۸۳
آلومینیوم	h۷۵۸۷/۳	b۸۷۹۳/۴	g۷۷۶۰/۴	k۶۷۶۱/۳	f۸۰۷۱/۱	i۷۴۲۵/۷	m۶۰۲۴/۲	j۷۰۹۰/۷
کربن	de۳۰۱۵۸	e۲۶۸۳۰	e۲۷۲۵۲	bc۴۲۴۷۹	b۴۵۰۴۰	ab۴۷۴۴۱	ab۴۶۰۴۳	b۴۵۵۳۲
فسفر	g۷۲۰/۶۱	m۴۵۵/۷۵	n۴۴۷/۴۳	d۸۴۱/۱۰	a۱۲۶۴/۲	k۴۸۰/۵۸	j۴۹۰/۷۵	e۷۳/۲۴
نیترژن	cd۱۲۵۱۵	h۵۹۹۹	f۳۷۷۶۲	ab۲۲۹۰۹	bc۱۶۸۰۷	gh۶۵۰۱	hi۵۰/۶۹	۹۲۲۲
pH	cde/۱۰۷	cdef/۱۰۸	efg/۹۷	g/۷۸	cde/۱۱۳	ab/۱۵۹	a/۱۶۹	fgv/۹۱
EC	n۵۱۷/۳	l۶۰/۸۷	m۵۴۲/۷	h۱۱۲۴/۳	e۱۷۵۲/۰	j۷۵۲/۳	i۹۰/۷۰	g۱۸۷/۷

۳-۴- بررسی اختلاف معنی داری میانگین تعداد جنس دم‌فتریان در بین مناطق چرمشهر، خین عرب و پرکنندآباد

نتایج آزمون آنوایک طرفه نشان داد بین مناطق مورد مطالعه از نظر میانگین تعداد جنس دم‌فتریان با یکدیگر اختلاف معنی داری ($P\text{-value} < ۰/۰۵$) وجود دارد. بیشترین میانگین تعداد جنس در منطقه پرکنندآباد و کمترین میانگین در منطقه چرمشهر مشاهده گردید (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسات میانگین تعداد جنس در بین مناطق مورد مطالعه براساس آزمون فیشر

P-value	انحراف معیار \pm میانگین	تعداد	منطقه	
۰/۰۰۰	$c \pm ۶۶۷/۰۰۸۱۶$	۶	چرمشهر	تعداد جنس
	$b \pm ۷۵۰/۲۰۹۵۷$	۴	خین عرب	
	$a \pm ۲۵۷/۲۰۲۲$	۴	پرکنندآباد	

(حروف غیرمشترک نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی دار پارامتر مورد مطالعه در مناطق، در سطح ۰/۰۵ است)

۳-۵- مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه با مقادیر حد مجاز آن‌ها در خاک

بیشترین میانگین غلظت کروم و نیکل متعلق به منطقه چرمشهر بود که ایستگاه اول چرمشهر، بیشترین میانگین فلز کروم ($2584/20 \text{ mg kg}^{-1}$) و ایستگاه دوم چرمشهر، بیشترین میانگین فلز نیکل ($1967/41 \text{ mg kg}^{-1}$) را در بین ایستگاه‌ها داشتند. غلظت این دو فلز بسیار بیشتر از مقادیر حد مجازشان در خاک (به ترتیب 150 و 50 mg kg^{-1}) ثبت گردید (جدول ۵)؛ بنابراین منطقه چرمشهر از قوی‌ترین منابع آلوده به فلزات کروم و نیکل بود. در بین ایستگاه‌های متعلق به تصفیه‌خانه‌های شهری، بیشترین میانگین فلزات کروم و نیکل به ترتیب متعلق به ایستگاه اول خین‌عرب ($61/34 \text{ mg kg}^{-1}$) و ایستگاه چهارم پرکندآباد ($74/24 \text{ mg kg}^{-1}$) بود. غلظت کروم ایستگاه اول خین‌عرب کمتر از حد مجاز ولی غلظت نیکل ایستگاه چهارم پرکندآباد بیشتر از حد مجاز در خاک بود (جدول ۵). حداکثر میانگین غلظت آلومینیوم در تمام ایستگاه‌ها کمتر از میانگین جهانی (71000) ثبت گردید (صابری کهرودی و همکاران ۲۰۲۰) همچنین بیشترین میانگین فلزات آهن، سرب، کادمیوم، آرسنیک و مس در تمام ایستگاه‌ها، کمتر از مقادیر حد مجازشان در خاک بود (جدول ۵).

جدول ۵- حداکثر مقادیر مجاز فلزات سنگین در خاک (Ashraf et al., 2019)

غلظت (mg kg^{-1})	فلزات سنگین
۳۰۰	سرب (Pb)
۳	کادمیوم (Cd)
۱۵۰	کروم (Cr)
۲۰	آرسنیک (Ar)
۵۰	نیکل (Ni)
۱۴۰	مس (Cu)
۵۰۰۰۰	آهن (Fe)

۳-۶- بررسی همبستگی بین تعداد جنس دم‌فتریان با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

نتایج بررسی میزان همبستگی نشان داد در سطح معنی‌داری $0/05$ ضریب همبستگی بین تعداد جنس دم‌فتریان با غلظت فلز کروم $0/611$ - و با آهن $0/776$ - می‌باشد که همبستگی منفی با یکدیگر دارند. باتوجه‌به نتایج این پژوهش، عناصر کروم و آهن (حتی پایین‌تر از غلظت مجاز) باعث ایجاد سمیت بر روی دم‌فتریان شدند مطالعات پژوهشگرانی مانند کوزنتسوا^۱ (۲۰۰۹)، لیو^۲ (۲۰۱۸)، سانتوروفو^۳ و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند رده دم‌فتریان شاخص زیستی

1 Kuznetsova

2 Liu

3 Sterzyńska et al

مناسب برای بررسی کیفیت خاک است و در خاک‌هایی با غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین سرب و مس تنوع رده دم‌فتریان کاهش می‌یابد. در این مطالعات تنها غلظت فلزات مس و سرب اندازه‌گیری شده‌است به دلیل اینکه مطالعات پیشین آن‌ها نشان داده بود که در مکان‌های مورد مطالعه آن‌ها (پارک‌های شهری و معادن) غلظت مس و سرب زیاد بوده و احتمال اینکه باعث تفاوت در رده دم‌فتریان شوند وجود داشته است. برخلاف این پژوهش‌ها، در این مطالعه بین فلزات سرب و مس با تنوع دم‌فتریان همبستگی مشاهده نگردید که دلیل آن را می‌توان غلظت‌های بسیار پایین فلزات (حداکثر میزان سرب $56/317 \text{ mg kg}^{-1}$ و مس $95/340 \text{ mg kg}^{-1}$ می‌باشد)، بالابودن محدوده تحمل دم‌فتریان و یا سازگار شدن نسبت به این فلزات دانست (استرزینسکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۶- بررسی همبستگی بین تعداد جنس‌های دم‌فتریان با فلزات

فلزات	آلومینیوم	کروم	مس	آرسنیک	کادمیوم	آهن	نیکل	سرب
ضریب همبستگی	-۰/۵۱۰	-۰/۶۱۱	-۰/۰۵۰	-۰/۰۷۸	۰/۱۲۹	-۰/۷۷۶	-۰/۵۷۰	۰/۴۹۲
P-value	۰/۱۰۹	*۰/۰۴۵	۰/۸۸۲	۰/۸۱۹	۰/۷۰۵	*۰/۰۰۵	۰/۰۶۷	۰/۱۲۴

(* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵)

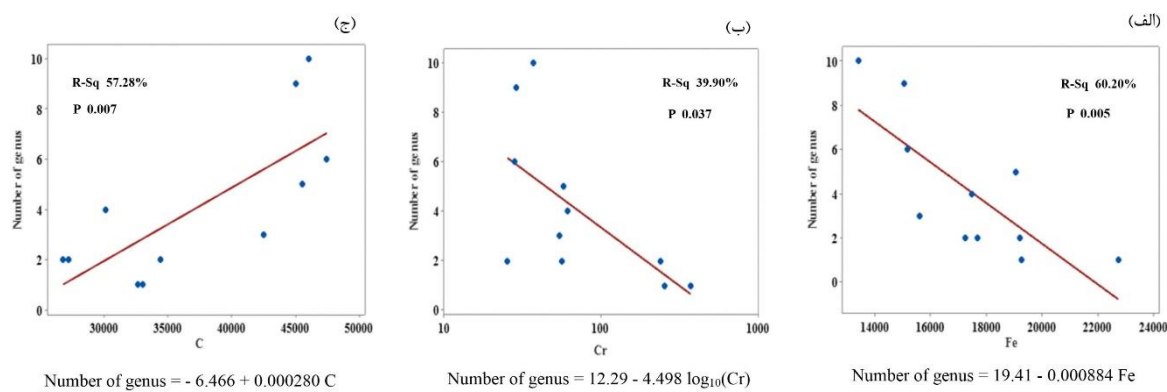
جدول ۷- بررسی همبستگی بین تعداد جنس‌های دم‌فتریان با عناصر و پارامترهای ویژگی‌های خاک

پارامتر	دما	pH	EC	رطوبت	فسفر	کربن	نیتروژن	C/N	C/P
ضریب همبستگی	۰/۲۰۳	۰/۱۹۵	-۰/۰۷۳	۰/۰۵۰	۰/۲۸۵	۰/۷۵۷	-۰/۰۳۱	۰/۴۳۸	۰/۳۵۹
P-value	۰/۵۵۰	۰/۵۶۵	۰/۸۳۰	۰/۸۸۳	۰/۳۹۵	*۰/۰۰۷	۰/۹۲۷	۰/۱۷۸	۰/۲۷۷

(* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵)

۳-۷- بررسی ارتباط و نحوه تأثیرگذاری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی با تعداد جنس‌های دم‌فتریان

نتایج رگرسیون خطی نشان داد در میان پارامترهای مورد مطالعه تنها فلزات آهن، کروم و عنصر کربن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ دارای ارتباط معنی‌دار با تعداد جنس دم‌فتریان می‌باشند و سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با تعداد جنس ارتباط مؤثری ندارند. در شکل ۲ روابط خطی، معادلات رگرسیونی، اختلاف معنی‌داری (P-value) و ضریب تعیین (R-Sqr) نشان داده شده است. بیشترین ضریب تعیین متعلق به فلز آهن (۶۰/۲ درصد) و کمترین مقدار متعلق به کروم (۳۹/۹ درصد) می‌باشد.



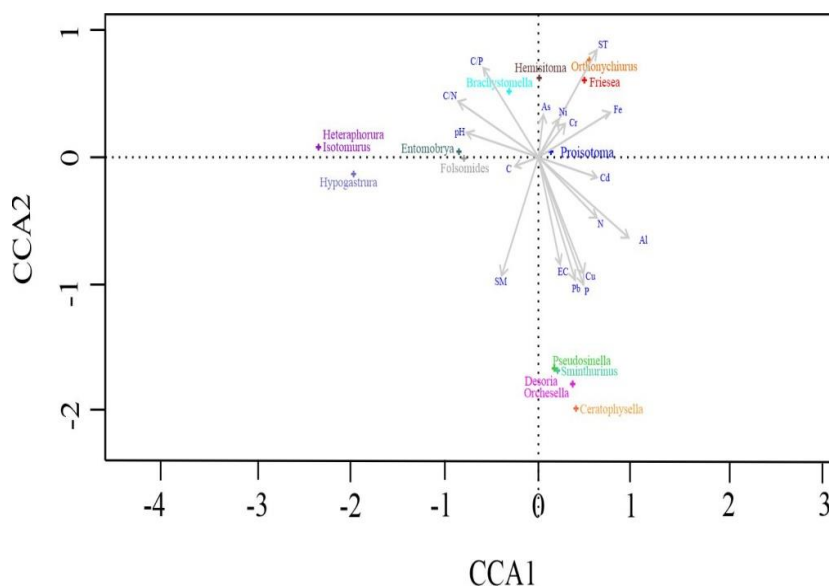
شکل ۲- بررسی ارتباط و معادلات رگرسیونی فلزات الف) آهن، ب) کروم و ج) عنصر کربن (محور طولها) با تعداد جنس‌های^۱ دم‌فتریان (محور عرضها)

۳-۸- بررسی ارتباط فراوانی هر یک از جنس‌های دم‌فتریان با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی براساس تحلیل تطابق

متعارفی

نتایج CCA نشان داد که Pb و Fe ، P, Cu ، $ST, C/P$ ، C/N ، Al مؤثرترین عوامل تعیین‌کننده در تحلیل تطابق متعارفی هستند. فراوانی جنس *Proisotoma* بیشترین ارتباط را با عنصر آهن دارد. با وجود اینکه *Proisotoma* در نمونه‌های خاک‌های آلوده به فلز آهن نیز مشاهده شدند؛ فراوانی این جنس‌ها در مناطق آلوده کاهش یافته و به عبارتی به آلودگی آهن حساسیت نشان دادند. فراوانی جنس *Hemisotoma* با غلظت فلز آرسنیک، افزایش یافته است. نتایج به دست آمده با مطالعه انجام شده توسط کرواو و کازز^۲ (۲۰۰۵) بر روی فراوانی گونه *Folsomia Candida* مطابقت دارد. ممکن است اثر هورمیتیک^۳ اتفاق افتاده باشد و افزایش غلظت آرسنیک تاحدی که *Hemisotoma* تحمل کند محرکی برای افزایش فراوانی این جنس بوده و در مقادیر بیشتر از تحمل اثر سمیت نشان دهد (کالابرس و بالدوین^۴، ۲۰۰۳). فراوانی *Brachystomella* با نسبت کربن به فسفر ارتباط مثبت دارد همچنین ارتباط مثبت بین فراوانی *Orthonychiurus* و *Friesea* با غلظت نیکل و دما خاک مشاهده گردید. فراوانی سایر جنس‌ها ارتباط معنی‌داری با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی ندارند (شکل ۳).

- 1 Number of genus
- 2 Crouau and Cazes
- 3 Hormetic
- 4 Calabrese & Baldwin



شکل ۳- نتایج CCA و نمودارهای ارتباط فراوانی هر یک از جنس‌های دم‌فزیان با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

۴- جمع‌بندی

به دلیل تنوع بسیار زیاد، اندازه بسیار کوچک و سختی پژوهش‌های مرتبط با دم‌فزیان مطالعات کمی در سطح جهان روی آن‌ها انجام شده است. مطالعه حاضر برای اولین بار حساسیت جنس‌های دم‌فزیان را به فلزات سنگین و پارامترهای محیطی در خاک‌های آغشته به فاضلاب‌های شهری و صنعتی مورد بررسی قرار داد نتایج نشان داد خاک‌هایی که میزان غلظت کربن کل آن‌ها زیاد است دارای تعداد جنس بیشتری از دم‌فزیان هستند و خاک‌هایی که آلوده به فلزات سنگین آهن و کروم می‌باشند تعداد جنس کمتری دارند. تعداد جنس با این فلزات همبستگی منفی نشان داد. با توجه به اهمیت دم‌فزیان در حفاظت از تنوع زیستی و نقش آن‌ها به عنوان یک شاخص زیستی در بررسی کیفیت محیط زیست پیشنهاد می‌گردد مطالعات بیشتری در رابطه با بوم‌سم‌شناسی جمعیت‌های مختلف این بندپایان صورت گیرد.

کتابنامه

- اسماعیلیان، حسین؛ تفضلی، سید محمد؛ قاسمی‌زاده آزر می، سید علیرضا؛ خاتمی، فرزانه؛ رجب‌زاده، ناهید؛ ۱۳۹۹.
 واگذاری بهره‌برداری بلندمدت و نتیجه محور تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به بخش خصوصی مطالعه موردی
 تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خین‌عرب و التیمور مشهد. هشتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، مشهد،
<https://civilica.com/doc/1171954>
 جعفری، فاطمه؛ مهرنادر، حمید؛ حافظی مقدس، ناصر؛ قزی، اعظم؛ ۱۳۹۴. بررسی تغییرات جانبی رودخانه کشف‌رود.

- کنگره بین‌المللی تخصصی علوم و زمین، ۳۴، SID. <https://sid.ir/paper/840405/fa>.
- حسینی بهلولی، مهدیه؛ قشلاقی، افشین؛ محمودی، محمدحسین؛ ۱۳۹۶. بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده در منطقه التیمور مشهد. پنجمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، <https://civilica.com/doc/760154>.
- صابری کهرودی، ه؛ گلچین، ا؛ و علمداری، پ؛ ۲۰۲۰. ارزیابی آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه آلومینیوم‌سازی اراک به عناصر آلومینیوم، آهن، منگنز و سرب. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیطزیست، ۲۲(۲)، ۳۱۵-۳۳۲. <https://doi.rg/10.22034/jest.2020.9340>
- علیزاده اقدم، محمدباقر؛ بنی‌فاطمه، حسین؛ عباس‌زاده، محمد؛ سلطانی بهرام، سعید؛ ۲۰۱۷. شهروندی بوم‌شناختی و هوش معنوی (مورد مطالعه: شهروندان شهر تبریز). جامعه‌شناسی کاربردی، ۲۸(۳)، ۷۹-۹۸. <https://doi.org/10.22108/jas.2017.21715>
- کهراریان، مرتضی؛ ۱۳۹۲. جمع‌آوری و شناسایی حشرات بی‌بال راسته Collembola در استان کرمانشاه (شهرستان‌های کرمانشاه، صحنه، هرسین). گزارش نهایی طرح پژوهشی. دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه.
- مهرآوران، بابک؛ انصاری، حسین؛ بهشتی، علی‌اصغر؛ اسماعیلی، کاظم؛ ۱۳۹۴. بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۳)، ۴۴۰-۴۴۷. SID. <https://sid.ir/paper/131692/fa>.

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M.-Q., 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42, <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
- Amanze, C., Zheng, X., Man, M., Yu, Z., Ai, C., Wu, X., Xiao, S., Xia, M., Yu, R., & Wu, X., 2022. Recovery of heavy metals from industrial wastewater using bioelectrochemical system inoculated with novel Castellaniella species. *Environmental Research*, 205, 112467, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112467>.
- Arbea, J., & Kahrarian, M., 2015. The genus Folsomides Stach (Collembola, Isotomidae) in Kermanshah Province (W Iran) with the description of two new species. *Zootaxa*, 3925(2), 281-290, <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3925.2.9>.
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z. A., Ashraf, S., & Asghar, H. N., 2019. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 714-727, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
- Austruy, A., Laplanche, C., Mombo, S., Dumat, C., Deola, F., & Gers, C., 2016. Ecological changes in historically polluted soils: Metal (loid) bioaccumulation in microarthropods and their impact on community structure. *Geoderma*, 271, 181-190, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.011>
- Baratzadeh Poustchi, F., Yazdi, F. T., Heidari, A., & Moosavi, Z., 2020. Evaluation of chromium accumulation and resulting histopathological changes in Libyan jirds (Mammals, Rodentia), affected by effluent from Ghazghan leather industrial town, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(31), 39343-39353, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09801-1>.
- Bretfeld, G., 1999. Synopses on palaeartic collembola: symphypleona. *Abhandlungen Und Berichte Des Naturkundemuseums Gorlitz*, 71, 1-318.

- <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571980074212653696>.
- Calabrese, E. J., & Baldwin, L. A., 2003. Toxicology rethinks its central belief. *Nature*, 421(6924), 691–692, <https://doi.org/10.1038/421691a>.
- Coulibaly, S. F. M., Coudrain, V., Hedde, M., Brunet, N., Mary, B., Recous, S., & Chauvat, M., 2017. Effect of different crop management practices on soil Collembola assemblages: A 4-year follow-up. *Applied Soil Ecology*, 119, 354–366. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.013>.
- Crouau, Y., & Cazes, L., 2005. Unexpected reduction in reproduction of collembola exposed to an arsenic-contaminated soil. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 24(7), 1716–1720, <https://doi.org/10.1897/04-265R.1>.
- Errington, I., King, C. K., Houlahan, S., George, S. C., Michie, A., & Hose, G. C., 2018. The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 619, 1098–1104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186>.
- Farias, D. R., Hurd, C. L., Eriksen, R. S., & Macleod, C. K., 2018. Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 175–184, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.023>.
- Fiera, C., 2009. Biodiversity of Collembola in urban soils and their use as bioindicators for pollution. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 868–873, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800010>.
- Fjellberg, A., 2007. *The Collembola of Fennoscandia and Denmark, Part II: Entomobryomorpha and Symphypleona*. Brill. [https://books.google.com/books?id=28ewCQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=8cuWolrdDU&dq=Fjellberg%2C%20A.%20\(2007\).%20The%20Collembola%20of%20Fennoscandia%20and%20Denmark%2C%20Part%20II%3A%20Entomobryomorpha%20and%20Symphypleona.%20Brill.&lr&pg=PA1#v=onepage&q=Fjellberg,%20A.%20\(2007\).%20The%20Collembola%20of%20Fennoscandia%20and%20Denmark,%20Part%20II:%20Entomobryomorpha%20and%20Symphypleona.%20Brill.&f=false](https://books.google.com/books?id=28ewCQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=8cuWolrdDU&dq=Fjellberg%2C%20A.%20(2007).%20The%20Collembola%20of%20Fennoscandia%20and%20Denmark%2C%20Part%20II%3A%20Entomobryomorpha%20and%20Symphypleona.%20Brill.&lr&pg=PA1#v=onepage&q=Fjellberg,%20A.%20(2007).%20The%20Collembola%20of%20Fennoscandia%20and%20Denmark,%20Part%20II:%20Entomobryomorpha%20and%20Symphypleona.%20Brill.&f=false).
- Kuznetsova, N. A., 2009. Soil-dwelling Collembola in coniferous forests along the gradient of pollution with emissions from the Middle Ural Copper Smelter. *Russian Journal of Ecology*, 40(6), 415–423, <https://doi.org/10.1134/S106741360906006X>.
- Kwiatkowska-Malina, J., 2018. Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*, 123, 542–545, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.021>.
- Li, S., Li, J., Li, Z., Ke, X., Wu, L., & Christie, P., 2021. Toxic effects of norfloxacin in soil on fed and unfed *Folsomia candida* (Isotomidae: Collembola) and on gut and soil microbiota. *Science of The Total Environment*, 788, 147793, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147793>.
- Liu, M., Xu, J., Krogh, P. H., Song, J., Wu, L., Luo, Y., & Ke, X., 2018. Assessment of toxicity of heavy metal-contaminated soils toward Collembola in the paddy fields supported by laboratory tests. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 16969–16978, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1864-y>.
- Manickavasagam, S., Sudhan, C., & Aanand, S., 2019. Bioindicators in aquatic environment and their significance. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 34(1/2), 73–79, <http://doi.org/10.32381/JAT.2019.34.1-2.6>.
- Mirsal, I. A., 2008. *Soil pollution*. Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70777-6>.
- Nursita, A. I., Singh, B., & Lees, E., 2005. The effects of cadmium, copper, lead, and zinc on the growth and reproduction of *Proisotoma minuta* Tullberg (Collembola). *Ecotoxicology and*

- Environmental Safety*, 60(3), 306–314, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.05.001>.
- Park, J., Lee, S., Lee, E., Noh, H., Seo, Y., Lim, H., Shin, H., Lee, I., Jung, H., & Na, T., 2019. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals using the sensitivity of resident organisms in four Korean rivers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 183, 109483, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109483>
- Potapov, M., 2002. Synopses on Palaearctic Collembola. Volume 3, Isotomidae. In: Dunger, W. (Ed). *Staatliches Museum Fur Naturkunde Gorlitz*, https://www.researchgate.net/publication/284409981_Synopses_on_Palaearctic_Collembola_Isotomidae.
- Rekhate, C. V., & Srivastava, J. K., 2021. Effectiveness of O₃/Fe²⁺/H₂O₂ process for detoxification of heavy metals in municipal wastewater by using RSM. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 165, 108442, <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108442>.
- Rocheffort, S., Therrien, F., Shetlar, D. J., & Brodeur, J., 2006. Species diversity and seasonal abundance of Collembola in turfgrass ecosystems of North America. *Pedobiologia*, 50(1), 61–68, <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.10.007>.
- Santamaría, J. M., Moraza, M. L., Elustondo, D., Baquero, E., Jordana, R., Lasheras, E., Bermejo, R., & Ariño, A. H., 2012. Diversity of Acari and Collembola along a pollution gradient in soils of a pre-Pyrenean forest ecosystem. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 11(6), <https://dadun.unav.edu/handle/10171/27602>.
- Santorufu, L., Van Gestel, C. A. M., Rocco, A., & Maisto, G., 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, 161, 57–63, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.09.042>.
- Sharma, N., Sodhi, K. K., Kumar, M., & Singh, D. K., 2021. Heavy metal pollution: Insights into chromium eco-toxicity and recent advancement in its remediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100388, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100388>.
- Sharma, P., Pandey, A. K., Kim, S.-H., Singh, S. P., Chaturvedi, P., & Varjani, S., 2021. Critical review on microbial community during in-situ bioremediation of heavy metals from industrial wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 101826, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101826>.
- Sheikh, M. M., Rezaei, M. R., & Nasser, M. A., 2013. Heavy metals (Hg, Cr and Pb) concentrations in water and sediment of Kashaf Rood River. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 5(2), 65–70, <https://doi.org/10.1007/s13530-013-0159-4>.
- Sławski, M., & Sławska, M., 2019. Seven decades of spontaneous forest regeneration after large-scale clear-cutting in Białowieża forest do not ensure the complete recovery of collembolan assemblages. *Forests*, 10(11), 948, <https://doi.org/10.3390/f10110948>.
- Sterzyńska, M., Nicia, P., Zadrozny, P., Fiera, C., Shrubovych, J., & Ulrich, W., 2018. Urban springtail species richness decreases with increasing air pollution. *Ecological Indicators*, 94, 328–335, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.063>.
- Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., Yang, Y., Peng, Q., Huang, H., & Chen, A., 2019. Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. *Journal of Environmental Management*, 242, 121–130, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.061>.
- Thibaud, J.-M., 2004. Synopses on palaearctic collembola: hypogastruridae. *Abhandlungen Und Berichte Des Naturkundemuseums Gorlitz*, 75, 1–287, https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543025726348544# Citations_container.
- Tidona, S., Van Gestel, C. A. M., Morais, P. V., & Sousa, J. P., 2009. The use of Collembola

- avoidance tests to characterize sewage sludges as soil amendments. *Chemosphere*, 77(11), 1526–1533, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.056>.
- Wang, Y., Slotsbo, S., & Holmstrup, M., 2022. Soil dwelling springtails are resilient to extreme drought in soil, but their reproduction is highly sensitive to small decreases in soil water potential. *Geoderma*, 421, 115913, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115913>.
- Winkler, D., Bidló, A., Bolodár-Varga, B., Erdő, Á., & Horváth, A., 2018. Long-term ecological effects of the red mud disaster in Hungary: Regeneration of red mud flooded areas in a contaminated industrial region. *Science of The Total Environment*, 644, 1292–1303, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.059>.
- Xu, J., Ke, X., Krogh, P. H., Wang, Y., Luo, Y., & Song, J., 2009. Evaluation of growth and reproduction as indicators of soil metal toxicity to the Collembolan, *Sinella curviseta*. *Insect Science*, 16(1), 57–63. [file:///C:/Users/Pardis/32623410/Documents/mendpay/j.1744-7917.2009.00254.x\(1\).pdf](file:///C:/Users/Pardis/32623410/Documents/mendpay/j.1744-7917.2009.00254.x(1).pdf), <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2009.00254.x>.
- Yan, N., & Marschner, P., 2013. Response of soil respiration and microbial biomass to changing EC in saline soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 322–328, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.008>.
- Ying, D., Zhu, L. I., Xin, K. E., Longhua, W. U., & Shengpeng, Z. U. O., 2021. Toxicity of lead pollution to the collembolan *Folsomia candida* in Ferri-Udic Cambosols. *Pedosphere*, 31(4), 627–637, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60008-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60008-5).
- Zhang, H., Zhang, F., Song, J., Tan, M. L., & Johnson, V. C., 2021. Pollutant source, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils from coal mining areas in Xinjiang, China. *Environmental Research*, 202, 111702, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111702>.



Factors Affecting the Fragility of Metropolises using Structural Analysis Approach (Case Study: Tehran Metropolitan)

Neda Eskandari^a, Zahra Sadat Saeideh Zarabadi^{b*}, Farah Habib^c

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

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

^c Professor, Department of Urban Development, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 3 July 2022

Revised: 29 August 2022

Accepted: 5 September 2022

Abstract

Like any other complex system, cities fragment when they are not properly managed. Thus, the fragility conditions should be understood to calculate the effective strategies in responses. This study aims to explain the factors of fragility in the metropolitan city of Tehran using structural approach. This field study seeks to identify the factors effective in the fragility of Tehran using a descriptive-analytical approach. In order to formulate the theoretical framework, the related literature was reviewed using the documentation method. Then, experimental data were extracted based on the environmental scanning technique. The population included 14 experts and specialists in the field of urban planning, who were selected based on purposive sampling. To this aim, 91 factors were extracted as primary indicators of urban fragility based on the theoretical literature. Then, 51 factors with a lower percentage of consensus were eliminated and 40 ones remained based on experts' opinions taken through a questionnaire. In the next step, the answers were analyzed and evaluated applying structural mutual effects analysis in MicMac software, resulting in determining the degree of direct and indirect influence of the factors on each other and on the fragility process of Tehran. According to the results, 20 factors play a significant role in the fragility of Tehran among 40 primary influencing ones. The above-mentioned factors are rapid growth of urbanization, concentrated poverty, widespread financial corruption, social and gender inequality, unemployment rate, political instability, epidemic diseases, informal settlements, urban violence, economic security, people's participation, lack of basic urban services, exposure to natural disasters, social security, income inequality, improper distribution of security-development capacities, sanctions, global economic shocks, real insecurity, and sudden price shocks.

Keywords: Fragility, Fragile City, Tehran Metropolitan, Structural Analysis

*.Corresponding author: Zahra Sadat Saeideh Zarabadi E-mail: z.zarabadi@srbiau.ac.ir Tel: +989121078853

How to cite this Article: Eskandari, N., Zarabadi, Z. S. S., & Habib, F. (2023). Factors affecting the fragility of metropolises using structural analysis approach (Case study: Tehran metropolitan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 207-231.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.78066.1263



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023


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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78066.1263> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۳۱-۲۰۷
مقاله پژوهشی

تبیین محرک‌های مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهرها با رویکرد تحلیل ساختاری

(مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)

ندا اسکندری - دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
زهرا سادات سعیده زرآبادی^۱ - دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران 
فرح حبیب - استاد، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۴

چکیده

شهرها مانند هر سیستم پیچیده‌ای، اگر مدیریت درست نداشته باشند، شکسته می‌شوند؛ بنابراین درک شرایط شکنندگی برای احصای استراتژی‌های مؤثر در پاسخ‌ها، بسیار مهم است. این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد ساختاری به تبیین عوامل شکنندگی در کلان‌شهر تهران می‌پردازد. همچنین پژوهش حاضر تحقیقی میدانی با رویکرد توصیفی-تحلیلی بوده و به دنبال پاسخ به این سؤال است که عوامل مؤثر در شکنندگی شهر تهران کدام‌اند؟ برای تدوین چارچوب نظری، ابتدا با استفاده از روش اسنادی، ادبیات موضوع بیان شده و سپس بر اساس تکنیک پویا محیطی، داده‌های تجربی استخراج گردیده است. جامعه آماری این پژوهش شامل ۱۴ نفر از خبرگان و متخصصین حوزه شهرسازی بوده و روش نمونه‌گیری، هدفمند است. ابتدا بر پایه ادبیات نظری، ۹۱ محرک به‌عنوان شاخص‌های اولیه شکنندگی شهری استخراج شدند، سپس بر اساس نظرات خبرگان از طریق پرسشنامه ۵۱ محرک که درصد اجماع کمتری داشتند حذف و ۴۰ محرک باقی ماند. در گام بعدی پاسخ‌ها با استفاده از روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری در

Email: z.zarabadi@srbiau.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۰۷۸۸۵۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

اسکندری، ندا، زرآبادی، زهرا سادات سعیده، حبیب، فرح. (۱۴۰۲). تبیین محرک‌های مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهرها با رویکرد تحلیل ساختاری (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، صص ۲۳۱-۲۰۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78066.1263>

نرم‌افزار MicMac مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. در این تحلیل میزان تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم محرک‌ها بر یکدیگر و بر روند شکنندگی شهر تهران مشخص شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که از بین ۴۰ محرک اولیه تأثیرگذار، تعداد ۲۰ محرک در شکنندگی کلان‌شهر تهران نقش کلیدی دارند. این محرک‌ها عبارتند از: رشد سریع شهرنشینی؛ فقر متمرکز؛ فساد مالی گسترده؛ نابرابری اجتماعی و جنسیتی؛ درصد بیکاری؛ بی‌ثباتی سیاسی؛ بیماری‌های همه‌گیر؛ سکونتگاه‌های غیررسمی؛ خشونت شهری؛ امنیت اقتصادی؛ میزان مشارکت مردم؛ کمبود خدمات شهری اساسی؛ قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی؛ میزان امنیت اجتماعی؛ نابرابری درآمد؛ توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای؛ تحریم‌ها؛ شوک‌های اقتصادی جهانی؛ ناامنی واقعی؛ شوک‌های ناگهانی قیمت.

کلیدواژه‌ها: شهر شکننده، شکنندگی، کلان‌شهر تهران، تحلیل ساختاری.

۱- مقدمه

شهرها در مقابله با چالش‌های جهانی قرن بیست‌ویکم (مهاجرت به دلیل تغییرات اقلیمی، نابرابری در برابر بیماری‌های پاندمی، خشونت، جنگ) قرار دارند. با توجه به روند جمعیت‌شناسی، شهرها به شدت تحت فشار هستند و تنها تعداد کمی از آن‌ها به اندازه کافی مجهز به ابزاری برای مقابله با تهدیدات هستند که با آن مواجه خواهند شد (دبوئر، موگا و پاتل، ۲۰۱۶). برخلاف فرآیندهای تاریخی قبلی که شهرنشینی باعث افزایش فرصت‌ها، رفاه و امنیت ساکنین جدید شهر شده است، شهرنشینی فعلی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه، فقرا را در معرض بسیاری از خطرات قرار می‌دهد و آن‌ها را مجبور به زندگی در شرایط دائمی در معرض خطر و آسیب‌پذیری می‌کند (نوگوا، ۲۰۱۷). دغدغه جهانی با شهرنشینی سریع و به دنبال آن افزایش سکونتگاه‌های غیررسمی رو به افزایش است. شهرها به سرعت در حال تبدیل شدن به مناطقی برای درگیری و خشونت هستند. به اعتقاد موگا و ساوچ شهرها مدت‌هاست که در مسیر توسعه دچار مشکل شده‌اند و در نتیجه از غفلت رنج می‌برند (موگا و ساوچ، ۲۰۱۲). بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و این رقم در عرض پنجاه سال آینده به دو سوم افزایش می‌یابد. درعین حال، مناطق شهری به‌عنوان عاملان خشونت، تغییرات اقلیمی، فقر شدید و نرخ مرگ‌ومیر بالا، آسیب‌پذیری شهر را بالا می‌برند (دبوئر و همکاران، ۲۰۱۶). جایگاه حیاتی که شهرها در اقتصاد یک کشور دارند، به لزوم درک آسیب‌پذیری شهرها در برابر چالش‌هایی از جمله رشد جمعیت، بحران اقتصادی جهان، تغییر سریع جمعیتی و فجایع زیست‌محیطی و بلایای طبیعی اشاره می‌کند (دسوزا و فلانری، ۲۰۱۳)؛ (موگا، ۲۰۱۵ الف). این چالش‌ها به‌طور فزاینده‌ای بر ساکنین تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود که شهرها بیش‌ازپیش شکننده باشند؛ به همین دلیل شهرها

1 De Boer, Muggah, & Patel

2 Nogueira

3 Muggah & Savage

4 Desouza & Flanery

همواره در جستجوی راه‌هایی برای مقابله، انطباق و گریز از شکنندگی هستند (بوستی، ایوانوویک و مونشی، ۲۰۱۶). شایان توجه است شهرها از نظر تاریخی جایی بوده‌اند که بیشترین فرصت‌های اشتغال در آن واقع شده است. آن‌ها اغلب موتورهای خلاقیت و ثروت هستند و به‌عنوان قطب‌های مهم فناوری و حمل‌ونقل خدمت کرده‌اند. جایی که دولت و تجارت در آن متمرکز بوده و با سطح سواد بالاتر، سلامتی بهتر، مشارکت سیلیمی پیشرفته و دسترسی بیشتر به خدمات اجتماعی، در ارتباط بوده‌اند. با این حال، شهرنشینی سریع تهدیدکننده این احتمال است. طی چهل سال گذشته، جمعیت شهری در کشورهای در حال توسعه ۳۲۶ درصد افزایش یافته است. این رشد بدون برنامه‌ریزی صورت گرفته است و در نتیجه، اکثر ساکنان شهری در کشورهای شکننده در سکونتگاه‌های غیررسمی زندگی می‌کنند که با مسکن ضعیف، عدم دسترسی به سرویس‌های بهداشتی و خدمات عمومی، جرم و شکنجه گسترده و خشونت، زندگی می‌کنند (وب سایت دانشگاه سازمان ملل متحد، ۲۵ مارس ۲۰۱۵).

همچنین به دنبال رشد سریع شهرنشینی خصوصاً در کلان‌شهرها، خطرات منفرد دیگری نیز در حال ظهور است که باعث ایجاد آتش‌باری از خطرات می‌شود و چالش‌هایی را برای مسئولین ملی و محلی ایجاد کرده که این شروع شکنندگی در شهر است (وب سایت دانشگاه سازمان ملل متحد، ۱۰ فوریه ۲۰۱۶). در این میان کلان‌شهر تهران نیز از این قاعده مستثنی نیست. با توجه به سرعت رشد و توسعه در این شهر، به دنبال آن مسائل و چالش‌های متعدد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در ساختار فضایی شهر به وجود آمده است. از آنجاکه این چالش‌ها و مشکلات می‌تواند شهر را شکننده سازد، بنابراین ضروری است قبل از هر اقدامی ابتدا شکنندگی تعریف شود و سپس محرک‌های مؤثر در ایجاد شکنندگی شهر مشخص شود تا به دنبال آن راهکارهایی در راستای رفع شکنندگی و ایجاد شهری تاب‌آور اتخاذ گردد. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی محرک‌های تأثیرگذار در ایجاد و افزایش شکنندگی و تعیین میزان اهمیت این عوامل در کلان‌شهر تهران است. از این‌رو پژوهش حاضر در راستای پاسخ به این سؤال انجام گرفته است که: محرک‌های مؤثر بر وضعیت آینده شکنندگی کلان‌شهر تهران کدامند؟

شکنندگی چالشی است که به‌عنوان مانعی برای توسعه پایدار و رشد عادلانه، ایجاد بی‌ثباتی منطقه‌ای، خطرات امنیتی در سطح جهانی، جریان مهاجرت کنترل نشده و غیره ظاهر می‌شود. شکنندگی به‌عنوان ترکیبی از عوامل خطر مانند تغییرات اقلیمی، فقر، بی‌عدالتی، مخاطرات طبیعی به همراه ظرفیت ناکافی دولت، سیستم و یا جوامع برای مقابله با این خطرات، جذب یا کاهش آن‌ها تعریف می‌شود (گزارش ایالات شکننده، ۲۰۱۶). ساخت مفهوم ایده شکنندگی شهری، با هماهنگی مؤسسات تحقیقاتی، سازمان‌های کمک‌های بشردوستانه، اهداکنندگان بین‌المللی و بخش‌هایی از جامعه علمی دانشگاهی ایجاد شده است (واینر، ۲۰۱۴). این مفهوم بخشی از پدیده وسیع‌تر یک کشور شکننده است

1 Bosetti, Ivanovic & Munshey

2 Weforum

3 Vainer

(فاسین^۱، ۲۰۱۱)؛ بنابراین ذکر این نکته حائز اهمیت است که مفهوم شهر شکننده اتخاذ شده از مفهوم کشور شکننده است (میکلوس و پائولیو^۲، ۲۰۱۷). همان‌طور که دویسنز هم در پژوهش خود به این نکته اشاره دارد که شکنندگی کشور در مقیاس محلی بازتولید شده و باعث ایجاد شهرهای شکننده می‌شود (دویسنز^۳، ۲۰۱۰). همه شهرها با هر اندازه‌ای باید نیازهای روزانه ساکنان شهری را تأمین کنند (نیاز به حداقل سطوح غذا، آب، بهداشت و امنیت برای زنده ماندن). بدون دستیابی به این نیازهای اسلسی، شهرها به سرعت شکسته می‌شوند (برایسن^۴، ۲۰۰۶). همچنین زمانی شهر شکنندگی را تجربه خواهد کرد که به علت وجود خطرات داخلی و خارجی اعم از سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی قادر به انجام وظایف اصلی خود نباشد. وقتی این خطرات برطرف نشوند، در شهر جمع شده و باعث ظهور شکنندگی می‌شوند (موگا، ۲۰۱۴). این خطرات همچنین عملکرد شهری را در طول زمان و طولانی مدت تهدید کرده و می‌توانند تأثیر شوک‌ها و حوادث ناگهانی را تشدید نمایند. باین‌وجود شهرها تلاش می‌کنند از طریق افزایش تاب‌آوری (توانایی یک شهر برای پیش‌بینی، جذب و انطباق با شوک‌های غیرقابل اجتناب) در برابر تأثیرات شوک‌ها مقابله کنند. البته شایان توجه است تلاش در جهت ارتقاء تاب‌آوری شهرها بدون پرداختن به شکنندگی، بی‌فایده است (سلبی و دسوزا^۵، ۲۰۱۹). از آنجاکه شهرها ماهیت به‌هم‌پیوسته‌ای دارند، شکنندگی در یک شهر به‌طور بالقوه می‌تواند باعث شکستگی در شهرهای اطراف شود. به همین دلیل، اهمیت مقابله با شکنندگی شهر دوچندان می‌شود. در این راستا شهرها باید با شکنندگی‌های ناشی از مسائل پیچیده اجتماعی و اقتصادی، تضعیف نهادها و کاهش حمایت و بودجه برای بخش دولتی مقابله کنند. البته پیچیدگی شهرها می‌تولند علت و تأثیر این مسائل را پنهان سازد (پلگاتا و ممولی^۶، ۲۰۱۶). حال ذکر این نکته حائز اهمیت است که شکنندگی شهر به‌طور گسترده‌ای توزیع شده است. در واقع هیچ شهری کاملاً تاب‌آور نیست. همه شهرها به‌اندازه‌ای کمتر یا بیشتر شکننده هستند. با اینکه اکثر شهرهای شکننده در کشورهای درحال توسعه هستند، اما این بدین معنی نیست که شکنندگی تنها محدود به شهرهای با درآمد پایین و یا حتی متوسط می‌باشد. در حقیقت، شهرهای دیگر هم درجه‌ای از شکنندگی را تجربه می‌کنند (دبوئر و همکاران، ۲۰۱۶). لازم به تذکر است که ایجاد شاخص‌های قابل تعمیم شکنندگی برای شهرها کاری نادرست است و نادیده گرفتن خصوصیات و فرهنگ یک شهر را به همراه دارد. به فرض مثال در شهرهای توسعه‌یافته قتل‌های تروریستی به ندرت یکی از دلایل اصلی شکنندگی می‌باشد حال آنکه اعتراضات مدنی می‌تواند دلیل پررنگ‌تری در این شهرها باشد. مطالعات موردی می‌تواند اثبات کند که بومی کردن شاخص‌ها بس‌یار حائز اهمیت است؛ زیرا این امر به محققان این امکان را می‌دهد تا زمینه منحصر به فرد هر شهر را حفظ نموده (سلبی و

1 Fassin

2 Miklos & Paoliello

3 Duijsens

4 Bryceson

5 Selby & Desouza

6 Pellegata & Memoli

دسوزا، ۲۰۱۹) و دریابند که پاسخ به شکنندگی شهری در زمان و مکان، متفاوت خواهد بود (موگا و جوترسونکه، ۲۰۱۲). شایان توجه است میزان شکنندگی شهرها به دو عامل مهم بستگی دارد: میزان قرار گرفتن در معرض خطرات و مستعد بودن آن؛ و درجه‌ای از ظرفیت‌های مقابله‌ای و انطباقی که دولت‌ها، نهادها و ساکنان، برای کاهش این خطرات ایجاد می‌کنند (وب سایت دانشگاه سازمان ملل متحد، ۲۵ مارس ۲۰۱۵). همانطور که قبلاً بیان شد شهرهای شکننده به دلیل رکود اقتصادی و یا ناتوانی در تأمین خدمات اسلسی، مستعد شکست هستند؛ حال آنکه شهرهایی که عناصر اصلی شکنندگی را شناسایی کرده و در صدد رفع آن برآیند می‌توانند خود را بازیابی کنند (وب سایت دانشگاه کارلتون، ۲۷ ژانویه ۲۰۱۶).

اولین مقاله در ارتباط با واژه شهر شکننده در سال ۲۰۰۶ توسط برایشسون تحت عنوان شهرهای شکننده: مبانی زندگی شهری در شرق و جنوب آفریقا به اصول زندگی شهری در شرق و جنوب آفریقا پرداخته است. او در این مقاله مشکلاتی که باعث بروز شکنندگی در آفریقا شده است را مربوط به سیاست‌ها و شیوه‌های غلط نخبگان سیاسی شهری دانست (برایشسون، ۲۰۰۶). بعد از آن موگا^۳ در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ مطالعات و پژوهش‌های بسیاری در مورد شهرهای شکننده انجام داد. او سه عامل اساسی در سرعت بخشیدن به شکنندگی شهر را رشد سریع و غیرقابل کنترل شهرنشینی، شکست در مدیریت ملی و محلی و توانمندسازی دیجیتال بیان کرده و سپس بر دایمی نبودن شکنندگی شهرها تأکید دارد، همچنین به نمونه‌هایی از شهرهای شکننده اشاره کرده است که توانسته‌اند با برنامه‌ای روشن و رهبری روشنفکرانه خود را از شکنندگی نجات دهند (موگا، ۲۰۱۴ الف)؛ (موگا، ۲۰۱۶ الف). دبوئر^۴ نیز در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ مفاهیم شکنندگی و شهر شکننده را مورد بررسی قرار داد و شکنندگی و تاب‌آوری را در ۲۱۰۰ شهر بررسی کرد. او اذعان دارد که شکنندگی و تاب‌آوری نه تنها دو واژه متضاد نیستند بلکه با هم همپوشانی دارند و نمی‌توان یک شهر را شکننده مطلق یا تاب‌آور کامل دانست، بلکه شهر تلفیقی از این دو واژه با درجاتی متفاوت می‌باشد. او همچنین به هفت عامل شکنندگی (شهرنشینی سریع و غیرقابل پیش‌بینی، فقر متمرکز، بیکاری، کمبود پلیس و عدالت، ناامنی واقعی و قرار گرفتن در معرض بلایای طبیعی) اشاره کرده است (دبوئر، ۲۰۱۶).

شهر شکننده یک مبحث جدید در حوزه شهرسازی است که پرداختن به آن می‌تواند به درک مسائل شهری و اتخاذ تدابیر مؤثر، کمک شایانی نماید. نظر به اینکه پیش از این در ایران مطالعاتی در این زمینه صورت نگرفته است، این پژوهش مبنایی برای مطالعات آتی در این باب خواهد بود و این نوآوری نوشتار محسوب می‌شود. در این راستا با بررسی مفاهیم و نتایج حاصل از ادبیات تحقیق و مبانی نظری در ارتباط با موضوع مورد مطالعه، پژوهش به سمت

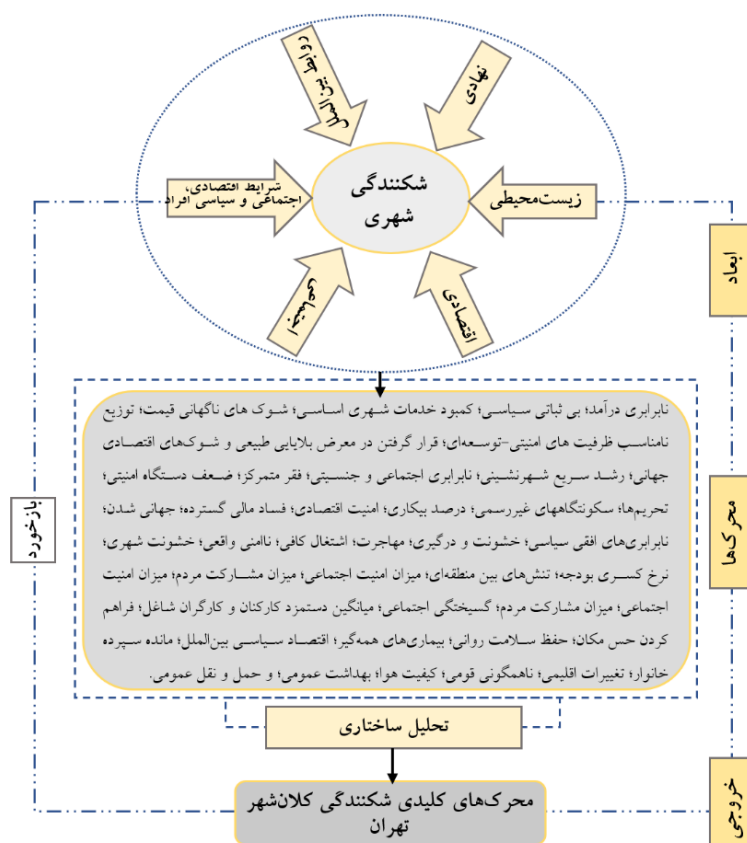
1 Muggah & Jutersonke

2 Bryceson

3 Muggah

4 De Boer

تبیین محرک‌های مؤثر بر شکندگی شهر هدایت می‌شود. در شکل ۱ به ارائه‌ی چارچوب مفهومی پژوهش پرداخته می‌شود.



شکل ۱- چارچوب مفهومی پژوهش

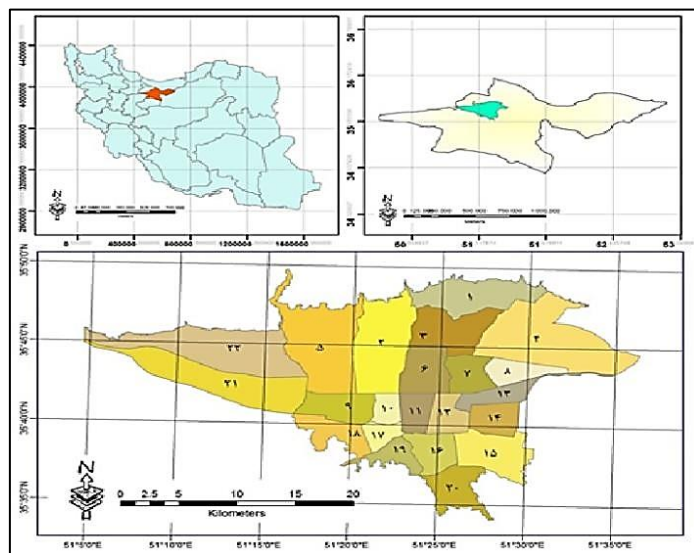
منبع: مطالعات و پردازش نگارندگان، ۱۴۰۱

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران با ارتفاع متفاوت از شمال به جنوب (۸۰۰ متر اختلاف ارتفاع) در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی گسترده شده است (شکل ۲). بر طبق سرشماری عمومی و نفوس مسکن سال ۱۳۹۵ جمعیت کلان‌شهر تهران در مناطق ۲۲ گانه ۸۶۹۳۷۰۶ با مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). تهران امروزه نه تنها یک مرکز سیاسی بلکه یک قطب اقتصادی و جمعیتی است که با مسائل و مشکلات متعددی در عرصه‌های مختلف

اجتماعی، اقتصادی و فضایی مواجه است؛ بنابراین ضرورت پرداختن به مسائل شهر در راستای کاهش شکنندگی آن بیش از پیش احساس می‌شود.



شکل ۲- موقعیت کلان‌شهر تهران

۲-۲- روش انجام پژوهش

رویکرد پژوهش حاضر تحلیل ساختاری است که به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای نظم بخشیدن به ایده‌های متعدد کاربرد دارد. با استفاده از این روش می‌توان آن گروه از محرک‌های اصلی یک سیستم که بیشترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بر دیگر محرک‌ها را دارند شناسایی کرد. تحلیل اثرات متقابل یکی از روش‌های تحلیل ساختاری است که به‌عنوان روش‌هایی چون دلفی در آینده‌پژوهی به کار می‌رود. در این روش تلاش می‌شود تا تأثیر یا احتمال تأثیر یک رویداد بر رویدادهای دیگر پیش‌نگری شود (گوردون و پیاس، ۲۰۰۶). این روش در گروه روش‌های نیمه کمی و اکتشافی قرار دارد که بیشتر بر تعامل و شواهد متکی است (مولایی، ۱۳۹۳). روش تحلیل ساختاری روشی است که برای تحلیل روابط بین محرک‌ها خصوصاً در سیستم‌های گسترده و دارای ابعاد متعدد بکار می‌رود. پتانسیل این روش در استفاده از داده‌های کیفی در کنار داده‌های کمی سبب شده است که این روش تبدیل به یکی از روش‌های پرکاربرد در آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری شود. در این روش محرک‌های مؤثر بر سیستم در یک ماتریس $n \times n$ و بر اساس نظرات گروه کارشناسان در قالب اعداد صفر تا سه ارزش‌گذاری می‌شوند. این ماتریس مبنای تحلیل‌های بعدی را تشکیل داده و خروجی‌های متعددی از این روابط به دست می‌آید. در نهایت محرک‌ها بر اساس تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در

یک محور مختصات پراکنده می‌شوند. بر اساس پراکنش محرک‌ها در محور مختصات ویژگی‌های آن‌ها مشخص شده و مبنای تحلیل برنامه‌ریزان در مراحل بعدی برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد. نرم‌افزار MicMac از جمله بهترین نرم‌افزارهایی است که به منظور پیاده‌سازی تحلیل ساختاری طراحی شده و توسعه یافته است. خروجی‌های این نرم‌افزار به صورت جداول و نمودارهای متنوع می‌توانند کمک بسزایی به درک ابعاد و روابط سیستم و چگونگی عمل سیستم در آینده داشته باشند. این روش رویکردی تحلیلی برای بررسی تأثیر وقوع یک رویداد در یک مجموعه آینده‌نگاری است (گوردون و پیاس، ۲۰۰۶). در پژوهش حاضر که بر اساس ماهیت از نوع ترکیبی (کمی و کیفی) با رویکرد توصیفی-تحلیلی و از حیث هدف از نوع کاربردی است، از روش‌های تحلیل ساختاری و پویای محیطی جهت تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش شکنندگی در کلان‌شهر تهران استفاده شده است. به این ترتیب که برای تدوین داده‌های نظری ابتدا از روش اسنادی و سپس در بخش اصلی پژوهش به منظور تهیه داده‌های تجربی بر مبنای دلفی، از روش پیمایشی استفاده شده است. انتخاب تیم خبرگان با روش نمونه‌گیری هدفمند و تعداد ۱۴ خبره بوده است. در تعیین تعداد خبرگان، کسب اطمینان از جامعیت دیدگاه‌ها ملاک عمل بوده است.

یافته‌های حاصل از مرور ادبیات نظری و مستندات، در جدول ۱ مشخص شده است که نشان‌دهنده‌ی ابعاد، فاکتورها و شاخص‌های شکنندگی می‌باشد؛ تعداد ۹۱ عامل اولیه اثرگذار بر شکنندگی شهر در ۵ دسته دولتی-نهادی (۲۴ عامل)، اقتصادی (۱۶ عامل)، اجتماعی (۱۹ عامل)، زیست‌محیطی (۱۴ عامل)، شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی افراد (۴ عامل)، روابط بین‌الملل (۴ عامل) و زیرساختی (۱۰ عامل). شایان توجه است که مناطق شکننده گاه‌ها در چند بعد از این ابعاد و درجات مختلف دچار شکنندگی می‌شوند که بر این اساس سطح شکنندگی در شهرها و مناطق مختلف متمایز می‌شود.

جدول ۱- ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های شکنندگی

Author(s)	Indicators	Factors	Dimensions	
(Safran & Sugiyarto, 2014); (Abel et al., 2016); (Kaberuka, 2015); (Rice & Patrick, 2008); (Grävingsholt et al., 2012); (Selby & Desouza, 2019); (De Siqueira, 2014); (Bosetti et al., 2016); (Bosetti et al., 2016); (Marshall & Cole, 2013); (Rice & Patrick, 2008); (Rotberg, 2010); (Mcloughlin, 2016); (OECD, 2015); (OECD, 2010); Weforum, 2015; (De Boer, 2016); (DFID, 2005); (Muggah, 2016b); (ICM, 2015); (Grävingsholt et al., 2015); (Ganson & Wennmann, 2018); (Selby & Desouza, 2019); (Bosetti et al., 2016); (Chawla, 2017); (De Boer et al., 2016); (Kruijt, 2007); (Laniran, 2018); (Arimah, 2010); (Raleigh, 2015); (Siegle, 2011) (Mosaic, 2018) (Weforum, 2016a) (FSI, 2017) (Ivleva, 2019)	سرانه تولید ناخالص داخلی PPP (سطح ثروت کشور را با توجه به سطح توسعه اقتصادی و اندازه جمعیت و همچنین تقریبی درآمد سرانه اندازه‌گیری می‌کند)؛ متوسط رشد ۵ ساله سرانه تولید ناخالص داخلی (توانایی رشد یک کشور در سطح درآمد بالاتر را نشان می‌دهد)؛	افت شدید اقتصادی	اقتصادی	
	تجارت به‌عنوان درصد تولید ناخالص داخلی (مجموع صادرات و واردات کالاها و خدمات به‌عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی که همچنین باز بودن یک کشور را نشان می‌دهد)؛	بیکاری و عدم وجود فرصت- های شغلی مناسب		
	(درصد ساکنین مرد در اشتغال تمام‌وقت. درصد بیکاری در شهرها)	نابرابری درآمد		
	(ضریب جینی: فاصله درآمدی بین بالاترین و پائین-ترین محدوده جمعیت شهری)	فقر متمرکز شهری		
	(نرخ جمعیت زیر خط فقر)	فساد مالی گسترده		
	کیفیت نظارتی (برداشت از توانایی دولت در تدوین و اجرای سیاست‌ها و مقررات جامع برای ارتقاء و توسعه بخش خصوصی).	سرمایه‌گذاری در مقیاس بزرگ		
	-	شوک‌های ناگهانی اقتصادی		
	افزایش قیمت؛ رشد ۵ ساله نرخ تورم (نشان می‌دهد که چگونه یک کشور ثبات قیمت کلی خود را به‌عنوان بخشی از ثبات کلی مدیریت می‌کند)			
(Abel et al., 2016); (Kaberuka, 2015); (Rice & Patrick, 2008); (Selby & Desouza, 2019); (Bosetti et al., 2016); (Marshall & Cole, 2013); (Mcloughlin, 2016); (Ganson & Wennmann, 2018); (Muggah, 2014); (Beall et al., 2011); (Chawla, 2017); (Beall et	درگیری‌های قومی یا مذهبی	ناهمگونی قومی؛	اجتماعی	
	نرخ خالص مهاجرت	مهاجرت مزمن و پایدار؛		
	میزان درگیری‌های خشونت‌آمیز؛ میزان قتل‌های عمدی؛ جرم سازمان‌یافته؛ شورش.	خشونت شهری		
	اندازه سکونتگاه‌های غیررسمی به نسبت (%) مساحت شهر	سکونتگاه‌های غیررسمی		
	رشد جمعیت (%) طی ۱۰ سال	رشد سریع شهرنشینی		
	شکاف طبقاتی	گسیختگی اجتماعی		

Author(s)	Indicators	Factors	Dimensions
al., 2013); (Muggah, 2013); (Nogueira, 2017); (Beall, 2007); (Muggah & Savage, 2012); (Miklos & Paoliello, 2017); (Abhyankar et al., 2013); (Muggah, 2012); (Muggah & Jutersonke, 2012); (Archer & Dodman, 2017); (Raleigh, 2015); (Raleigh, 2015); (OECD, 2012); (Rodgers, 2010); (Commins, 2011); (Safran & Sugiyarto, 2014); (Grävingsholt et al., 2015); (De Boer, 2015); (McAuliffe & Ruhs, 2017); (Cattaneo & Peri, 2015); (FDFA, 2007); (United Nations, 2016); (Habitat, 2016); (Landry & Burke, 2014); (Toly & Tabory, 2016); (De Boer et al., 2016); (ICM, 2015); (Okeke et al., 2020); (Kaplan, 2014); (Kaberuka, 2015); (Rice & Patrick, 2008); (Abhyankar et al., 2013); (Ivleva, 2019); (Weforum, 2016b); (Vivekananda, 2020); (Muggah, 2016a); (FSI, 2017); (Muggah, 2017); (Demographia, 2020)	(نسبت جمعیت فاقد دسترسی به خدمات اساسی؛ نسبت جمعیت بدون عنوان قانونی ثبت شده) (نرخ مشارکت نیروی کار زنان ۱۵ سال و بالاتر)	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	
(Safran & Sugiyarto, 2014) (Stewart & Brown, 2010) (Grävingsholt et al., 2012) (USAID, 2005) (Carment et al., 2010) (Grävingsholt et al., 2015)	خشونت؛ قتل؛ جرم سازمان یافته؛ شورش؛ نابرابری- های افقی سیاسی؛ دستگاه ضعیف امنیتی (حضور پلیس مؤثر و قضایی) (به ازای هر ۱۰۰۰ ساکن، میزان اعتماد عمومی به نیروهای پلیس محلی و سیستم های قضایی)؛ ناامنی واقعی و فرضی (میزان قتل در شهر (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر ساکن)	اقتدار: شامل مواردی است که دولت فاقد صلاحیت محافظت از شهروندان خود در برابر انواع خشونت ها است.	دولتی و نهادی

Author(s)	Indicators	Factors	Dimensions
(Stewart & Brown, 2010) (Call, 2011) (Carment et al., 2015) (Bosetti et al., 2016) (Abel et al., 2016) (Kaberuka, 2015) (Rice & Patrick, 2008) (Selby & Desouza, 2019) (De Siqueira, 2014) (Marshall & Cole, 2013) (Rotberg, 2010) (Mcloughlin, 2016) (Ganson & Wennmann, 2018) (OECD, 2015) (Safran & Sugiyarto, 2014a) (Collier, 2019) (Muggah, 2014) (Beall, 2007) (Commins, 2011) (De Boer et al., 2016) (Vivekananda, 2020) (FSI, 2017)	میزان دسترسی به خدمات بهداشتی؛ آموزش مقدماتی؛ حمل و نقل اساسی و زیرساخت‌های انرژی؛ میزان مرگ و میر زیر ۵ سال؛ دسترسی به منبع آب سالم (درصد جمعیتی که به آب دسترسی دارند)؛ بهداشت عمومی؛ کمبود خدمات اساسی (تراکم جاده در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت) دسترسی به جاده را به‌عنوان بخشی از خدمات اساسی اندازه گیری می‌کند.	ظرفیت: شامل مواردی است که دولت نتواند اطمینان حاصل کند که همه شهروندان به خدمات اساسی دسترسی دارند.	
	سرکوب؛ ترور سیاسی؛ درصد رأی دهندگان؛ میزان سلطه نظامی؛ عدم وجود ساختارهای دموکراتیک؛ کنترل مطبوعات توسط دولت (شاخص آزادی مطبوعات)؛ میزان بالای فساد؛ صدا و پاسخگویی؛ تعلیق یا اجرای خودسرانه قانون؛ نقض گسترده حقوق بشر؛ ظهور نخبگان جناحی؛ مداخله عوامل سیاسی خارجی؛ رقابت قومی یا مذهبی؛ دولت‌های محلی فاسد؛ شکست نهادی و مدیریت شهری؛ وجود نهادهای مجرمانه؛ بی‌ثباتی؛ تنش‌های بین- منطقه‌ای یا منطقه‌ای	مشروعیت: شکست‌های مشروعیت در جایی رخ می‌دهد که دولت فاقد مشروعیت باشد و از حمایت حداقلی مردم برخوردار باشد.	
(De Boer et al., 2016) (Nogueira, 2017) (Abel et al., 2016) (Kaberuka, 2015) (Collier, 2019) (Chawla, 2017) (De Boer, 2015) (Habitat, 2016) (Cattaneo & Peri, 2015) (Rüttinger et al., 2015) (OECD, 2015) (Vivekananda, 2020) (Muggah, 2016c)	نسبت جمعیت ساکن در دشت‌های سیلاب ساحلی؛ نسبت جمعیت متأثر از بلایای مرتبط با آب و هوا؛ خسارات اقتصادی به‌عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی شهر و تلفات ناشی از بلایای طبیعی به‌عنوان درصد جمعیت شهر میانگین غلظت سالانه کیفیت هوا؛ میزان انتشار CO2 درصد جمعیتی که به آب دسترسی دارند - - به‌عنوان درصدی از قلمرو ملی تخریب لایه ازن، میزان آلودگی سالانه، ضایعات سمی، باران‌های اسیدی، نابودی جنگل‌ها	قرار گرفتن در معرض بلایای طبیعی کیفیت هوا آب سالم بهداشت مناسب شیوع بیماری همه‌گیر نسبت مناطق حفاظت‌شده تغییرات اقلیمی	زیست‌محیطی
(Okeke et al., 2020) (Mcloughlin, 2016) (ICT, 2020)	درصد سکونتگاه‌های غیررسمی نسبت به کل شهر (میانگین سال‌های تحصیل افراد ۲۵ سال به بالا)؛	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی، توسعه‌ای و حکمرانی سکونتگاه‌های غیررسمی آموزش و سن مدرسه	شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی افراد جامعه

Author(s)	Indicators	Factors	Dimensions
	میزان دسترسی به اینترنت، سرعت و کیفیت اینترنت	شکاف دیجیتالی	
(Mcloughlin, 2016)	میزان دخالت کشورهای بیگانه در امور داخلی	میراث استعمار	روابط بین‌المللی
	تجارت بین‌الملل، وجود شرکت‌های چندملیتی،	اقتصاد سیاسی بین‌الملل	
	تخریب لایه ازن، میزان آلودگی سالانه، ضایعات سمی، باران‌های اسیدی، نابودی جنگل‌ها.	تغییر اقلیم	
	(قیمت مواد غذایی، تحریم‌ها).	شوکه‌های اقتصادی جهانی	

منبع: اسکندری و همکاران، ۲۰۲۱

یکی از رایج‌ترین روش‌ها، پویش محیطی از طریق گروه متخصصان می‌باشد. در این روش ابتدا به جست‌وجوی انتخاب گروه متخصصان و کارشناسان و مجریان دخیل در حوزه موضوع مورد مطالعه پرداخته شد و سپس با طرح پرسشنامه توسط پژوهشگران در زمینه موضوع مورد مطالعه و قضاوت کارشناسان، انجام پرسشگری و استخراج نظرات آن‌ها در حوزه مورد مطالعه در مرحله نخست انجام گرفت (نعیمی و پورمحمدی، ۱۳۹۵: ۵۷).

پس از شناسایی و استخراج این اصول اولیه بایستی با نگاهی پویایی شناختی (نگاه کل‌نگر و سیستمی)، جایگاه و ارتباطات این مؤلفه‌ها با یکدیگر تا حد امکان ترسیم شود؛ بنابراین از طریق برگزاری نخستین پنل خبرگی، اقدام به یافتن نظرات خبرگان نسبت به عوامل شکنندگی و پالایش آن‌ها برای کلان‌شهر تهران با استفاده از روش دلفی فازی گردید. در طراحی و تدوین سؤال‌های پرسشنامه از پرسش‌های بسته (لیکرت) استفاده شد. در این رابطه در دور اول از روش دلفی برای طراحی پرسشنامه استفاده و با مرور بر ادبیات تحقیق و مصاحبه با خبرگان سؤالات مشخص شد و در ادامه در دور دوم به بعد سؤالات پرسشنامه بر اساس اطلاعات بدست آمده از نتایج پرسشنامه دور قبل طراحی شده است. به دلیل وجود تجانس میان گروه دلفی، اندازه گروه شرکت‌کنندگان در دلفی ۱۴ خبره انتخاب شد. ملاک انتخاب خبرگان در این پژوهش داشتن دانش و تجربه مرتبط با موضوع پژوهش، توانایی و تمایل به مشارکت، داشتن زمان کافی و مهارت‌های ارتباطی مؤثر بود (جدول ۲).

جدول ۲- اطلاعات مربوط به خبرگان مورد استفاده در پژوهش

حوزه فعالیت		تخصص	تحصیلات	جنس		سابقه (سال)	خبره
دانشگاهی	سازمانی			زن	مرد		
*	*	مدیریت شهری	دکترای شهرسازی	*		۲۱	۱
*	*	بازآفرینی شهری	دکترای شهرسازی	*		۱۴	۲
*	*	بازآفرینی شهری	دکترای شهرسازی	*		۱۲	۳
*	*	تاب‌آوری شهری	دکترای شهرسازی		*	۹	۴

حوزه فعالیت		تخصص	تحصیلات	جنس		سابقه (سال)	خبره
سازمانی	دانشگاهی			مرد	زن		
*		بازآفرینی شهری	دکترای شهرسازی	*		۶	۵
	*	مطالعات شهری	دکترای شهرسازی	*		۲۴	۶
	*	طرح‌های شهری	دکترای شهرسازی	*		۱۳	۷
	*	طرح‌های شهری	دکترای شهرسازی	*		۱۱	۸
	*	بازآفرینی شهری	دکترای شهرسازی	*		۸	۹
	*	تاب آوری شهری	دکترای شهرسازی	*		۸	۱۰
*	*	توسعه پایدار شهری	دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری	*		۱۲	۱۱
*		توسعه پایدار شهری	دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری	*		۹	۱۲
	*	توسعه پایدار شهری	دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری	*		۹	۱۳
*	*	بازآفرینی شهری	دکترای طراحی شهری	*		۱۶	۱۴

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

در نتیجه پایش محرک‌ها، ۴۰ عامل شکنندگی در کلان‌شهر تهران شناسایی شدند. با استفاده از روش تحلیل ساختاری و نرم‌افزار MicMac محرک‌های تأثیرگذار بر افزایش شکنندگی به شرح زیر مستخرج گردیدند:

نابرابری درآمد؛ بی‌ثباتی سیاسی؛ کمبود خدمات شهری اساسی؛ شوک‌های ناگهانی قیمت؛ توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای؛ قرار گرفتن در معرض بلایای طبیعی و شوک‌های اقتصادی جهانی؛ رشد سریع شهرنشینی؛ نابرابری اجتماعی و جنسیتی؛ فقر متمرکز؛ ضعف دستگاه امنیتی؛ تحریم‌ها؛ سکونتگاه‌های غیررسمی؛ درصد بیکاری؛ امنیت اقتصادی؛ فساد مالی گسترده؛ جهانی شدن؛ نابرابری‌های افقی سیاسی؛ خشونت و درگیری؛ مهاجرت؛ اشتغال کافی؛ ناامنی واقعی؛ خشونت شهری؛ نرخ کسری بودجه؛ تنش‌های بین منطقه‌ای؛ میزان امنیت اجتماعی؛ میزان مشارکت مردم؛ میزان امنیت اجتماعی؛ میزان مشارکت مردم؛ میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل؛ فراهم کردن حس مکان؛ حفظ سلامت روانی؛ بیماری‌های همه‌گیر؛ اقتصاد سیاسی بین‌الملل؛ مانده سپرده خانوار؛ تغییرات اقلیمی؛ ناهمگونی قومی؛ کیفیت هوا؛ بهداشت عمومی؛ و حمل‌ونقل عمومی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل اولیه ویژگی داده‌های ماتریس و تأثیرات متقاطع

همانگونه که مطرح شد ۴۰ عامل اولیه مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران با نرم‌افزار میک مک (MicMac) استخراج و مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که درجه پرشدگی ماتریس ۹۶/۵۶ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد عوامل انتخاب شده تأثیر زیاد و پراکنده‌ای بر همدیگر داشته‌اند و در واقع سیستم از وضعیت

ناپایداری برخوردار بوده است. از مجموع ۱۳۴۱ عامل قابل ارزیابی در این ماتریس، ۲۵۹ رابطه عدد صفر بوده که به این معنی است عوامل بر همدیگر تأثیر نداشته یا از همدیگر تأثیر نپذیرفته‌اند. ۶۰۲ رابطه با مقدار یک دارای تأثیر ضعیف نسبت به هم و ۵۱۰ رابطه با عدد ۲ دارای روابط اثرگذاری نسبتاً قوی است. افزون بر آن، ۲۲۹ رابطه عدد ۳ دارد و این به معنای آن است که روابط عامل‌ها بسیار زیاد بوده و از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری زیادی برخوردارند. ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ای از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۹۶ درصد برخوردار بوده که حاکی از روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است (جدول ۳).

جدول ۳- تحلیل اولیه داده‌های ماتریس و تأثیرات متقاطع

شاخص	ابعاد ماتریس	تعداد تکرار	تعداد صفر	تعداد یک	تعداد دو	تعداد سه	مجموع	درجه پرشدگی
مقدار	۴۰	۲	۲۵۹	۶۰۲	۵۱۰	۲۲۹	۱۳۴۱	۹۶/۲۴

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

۲-۲- میزان سازگاری تأثیرات مستقیم عامل‌های مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران

با هر بار تکرار ارتباط بین عامل‌ها، نرم‌افزار میک مک شکل جدیدی از سلسله‌مراتب عامل‌ها را ارائه می‌دهد. مقایسه بین تعداد تکرار جایگشت‌های عامل I و تکرار I-I نشان‌دهنده پایداری در قالب درصد است. برای نمونه ۱۰۰ درصد به معنی این است که تعداد جایگشت‌های ضروری برای دسته‌بندی تکرار عامل I در تکرار عامل I-I ضروری است و این به معنی این است که کاربرد آن پایدار است. نتایج می‌تواند در حدود صد درصد باشد. ماتریس این پژوهش بر اساس عامل‌های آماری با ۲ بار چرخش از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار بوده که حاکی از روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است (جدول ۴).

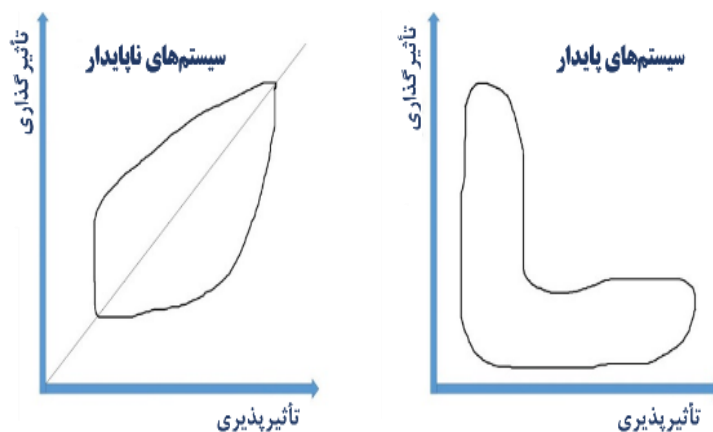
جدول ۴- درجه مطلوبیت و بهینه‌شدگی ماتریس

چرخش	درصد تأثیرگذاری	درصد تأثیرپذیری
۱	۱۰۰	۹۷
۲	۱۰۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

۳-۳- تحلیل عامل‌های مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران در پلان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری

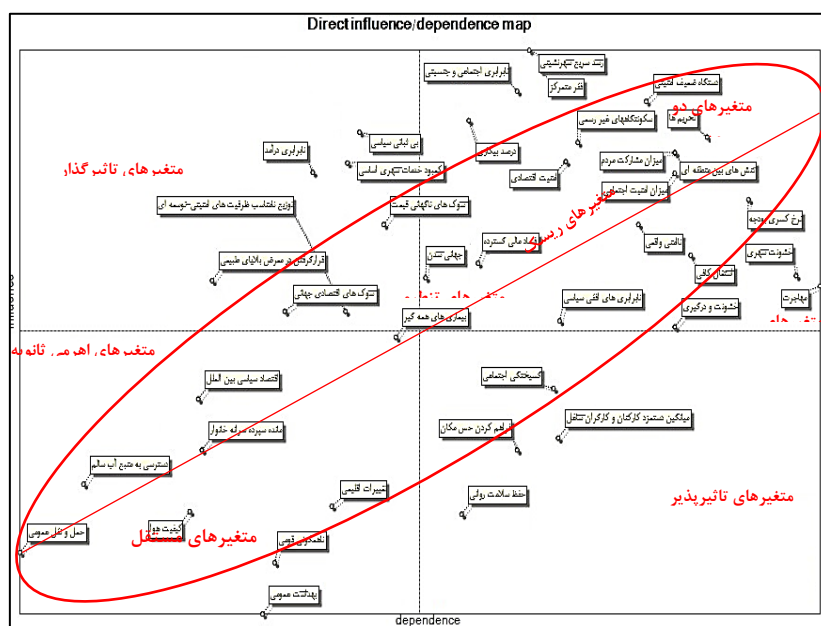
نحوه توزیع و پراکنش عامل‌ها در صفحه پراکنندگی، حاکی از میزان پایداری و ناپایداری سیستم است. در روش‌شناسی میک در مجموع دو نوع پراکنش تعریف شده که به نام‌های سیستم‌های پایدار و سیستم‌های ناپایدار معروف هستند. در سیستم‌های پایدار پراکنش عامل‌ها به صورت L انگلیسی است، یعنی برخی عامل‌ها دارای تأثیرگذاری بالا و برخی دارای تأثیرپذیری بالا هستند؛ اما در سیستم‌های ناپایدار وضعیت پیچیده‌تر است؛ در این سیستم نیروهای توسعه پیرامون محور قطری صفحه پراکنده هستند و در بیشتر مواقع حالت بینابین از اثرگذاری و اثرپذیری دارد که شناسایی پیشران‌های کلیدی را دشوار می‌سازد. نحوه دسته‌بندی عامل در سیستم‌های پایدار و ناپایدار به صورت زیر است (شکل ۳).



شکل ۳- نمای شماتیک سیستم پایدار و ناپایدار

منبع: نعیمی و پورمحمدی، ۱۳۹۵

بر اساس تعریف و تفسیر عوامل در نمودار میک مک، موقعیت و وضعیت هر یک از عوامل مؤثر بر میزان شکنندگی شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در شکل ۴ نشان داده شده است. نحوه توزیع و پراکنش عامل‌ها در صفحه پراکنندگی این سیستم، حاکی از آن است که اکثر عامل‌ها حول محور قطری و در محدوده عامل‌های دووجهی هستند. شیوه پراکنندگی عوامل مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران حاکی از ناپایداری در سیستم است که پراکنش لوزی شکل و ناپایداری سیستم به شکل ۴ می‌باشد.



شکل ۴- نمودار وضعیت پایداری/ ناپایداری سیستم شکنندگی کلان‌شهر تهران

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

چهار نوع عامل از پنج نوع عامل وضعیت ناپایدار (عوامل تأثیرگذار، عوامل دوجویی (ریسک و هدف)، عوامل تنظیمی، عوامل تأثیرپذیر و عوامل مستقل) در بین آن‌ها شناسایی شده است. عوامل به ترتیب اثراتی که گذاشته‌اند آورده شده است. با توجه به پراکنش عوامل در شکل ۴ می‌توان ۵ دسته از آن‌ها را شناسایی کرد که به تفکیک عبارتند از:

عوامل تعیین کننده یا تأثیرگذار

این محرک‌ها به‌عنوان عوامل ورودی که اصلی‌ترین محرک‌های تأثیرگذارند که میزان تأثیرپذیری آن‌ها به نسبت تأثیرگذاری‌شان بسیار کمتر است. آن‌ها در ناحیه شمال غرب صفحه پراکنده‌گی قرار دارند و پایداری سیستم نیز به‌شدت به آن‌ها وابسته است. آن‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی و تعیین‌کننده رفتار سیستم محسوب می‌شوند. از آنجایی که الگوی پراکنده‌گی عوامل مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران حاکی از ناپایداری سیستم دارد؛ بنابراین وجود عوامل تأثیرگذار با درجه بالا در این ناحیه کمتر به نظر می‌رسد. عوامل نابرابری درآمد، بی‌ثباتی سیاسی، کمبود خدمات شهری اساسی، شوک‌های ناگهانی قیمت، توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای، قرار گرفتن در معرض بلایایی طبیعی و شوک‌های اقتصادی جهانی در این ناحیه قرار دارند.

عوامل دوجهی

این عامل‌ها، هم‌زمان به صورت بسیار تأثیرگذار و بسیار تأثیرپذیر، عمل می‌نمایند و در قسمت شمال شرقی نمودار قرار می‌گیرند. طبیعت این عامل‌ها با عدم پایداری آمیخته است، زیرا هر عمل و تغییری بر روی آن‌ها، واکنش و تغییری بر دیگر عامل‌ها را به دنبال دارد. این عامل را می‌توان به دو دسته عامل‌های ریسک و عامل‌های هدف تقسیم‌بندی نمود. از مجموع ۴۰ عامل اولیه مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران، ۱۹ عامل رشد سریع شهرنشینی، نابرابری اجتماعی و جنسیتی، فقر متمرکز، ضعف دستگاه امنیتی، تحریم‌ها، سکونتگاه‌های غیررسمی، درصد بیکاری، امنیت اقتصادی، فساد مالی گسترده، جهانی شدن، نابرابری‌های افقی سیاسی، خشونت و درگیری، مهاجرت، اشتغال کافی، ناامنی واقعی، خشونت شهری، نرخ کسری بودجه، تنش‌های بین منطقه‌ای، میزان امنیت اجتماعی، میزان مشارکت مردم در این ناحیه قرار دارند.

عامل دوجهی از دو بخش عامل‌های ریسک و هدف تشکیل شده است:

- ۱- عامل‌های ریسک: این عامل‌ها چنان‌که در شکل نشان داده شده است، در بالای خط قطری ناحیه شمال شرقی شکل قرار گرفته‌اند و ظرفیت بسیار زیادی برای تبدیل شدن به بازیگران کلیدی سیستم دارد. در این قسمت عامل‌های میزان امنیت اجتماعی و میزان مشارکت مردم در این بخش قرار گرفته است.
- ۲- عامل‌های هدف: این عامل‌ها زیر ناحیه قطری شمال شرقی صفحه قرار می‌گیرند و در واقع نتایج تکاملی سیستم و نمایان‌گر اهداف ممکن در یک سیستم هستند. در این پژوهش عاملی در این بخش قرار نگرفته است.

عوامل تأثیرپذیر یا نتیجه

این عامل‌ها در قسمت جنوب شرقی نمودار قرار دارند. آن‌ها تأثیرگذاری پایین و تأثیرپذیری بسیار بالایی دارند؛ بنابراین آن‌ها نسبت به تکامل عامل‌های تأثیرگذار و دوجهی، بسیار حساس می‌باشند. آن‌ها عامل‌های خروجی می‌باشند. عامل‌های گسیختگی اجتماعی، میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل، فراهم کردن حس مکان و حفظ سلامت روانی در این ناحیه قرار گرفتند.

عوامل مستقل

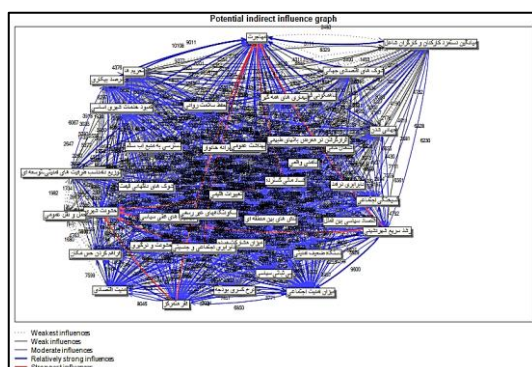
این عامل‌ها دارای میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پایینی هستند که در قسمت جنوب غربی صفحه پراکندگی عامل قرار گرفته‌اند. عامل‌های بیماری‌های همه‌گیر، اقتصاد سیاسی بین‌الملل، مانده سپرده‌خانوار، تغییرات اقلیمی، ناهمگونی قومی، کیفیت هوا، بهداشت عمومی و حمل‌ونقل عمومی در این بخش قرار گرفته‌اند. این عامل‌ها هیچ‌گونه واکنشی در دیگر عامل‌ها ایجاد نمی‌کنند.

با این حال در این دسته نیز باید به دو دسته از عامل‌ها توجه نمود:

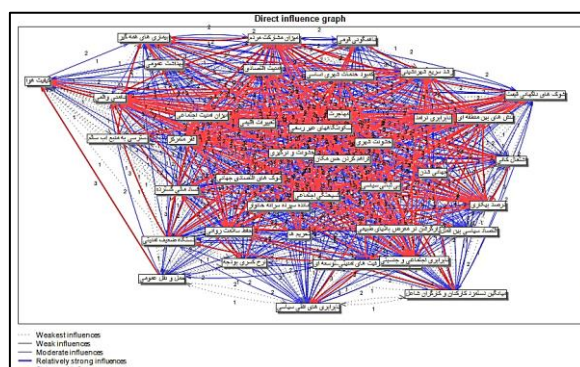
- عوامل «اهرمی ثانویه»: این عامل‌ها از سایر عامل‌های سیستم تأثیر چندانی نمی‌پذیرد و بر آن‌ها نیز تأثیر کمی دارد و یا بی‌تأثیر است. آن‌ها ارتباط کمی با سیستم دارد، زیرا نه باعث توقف عامل‌های اصلی و نه باعث تکامل و پیشرفت یک عامل در سیستم می‌شود. عاملی در این ناحیه قرار نگرفته است.

- عوامل «تنظیم‌کننده»: این عامل‌ها در نزدیکی مرکز ثقل نمودار قرار دارند. آن‌ها می‌توانند به صورت بی‌درپی به عنوان «اهرمی ثانویه»، «اهداف ضعیف» و «عامل‌های ریسک ثانویه» عمل نمایند. عامل بیماری‌های همه‌گیر در این ناحیه قرار گرفته‌اند.

پس از مشخص کردن وضعیت هر یک از عوامل مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران، روابط این عوامل در نرم‌افزار میک مک مورد بررسی قرار گرفت که روابط تأثیرات عوامل به صورت مستقیم و غیرمستقیم در نمودارهای زیر نشان داده شده‌اند. در ادامه بعد از تعیین جایگاه محرک‌ها در نمودار تأثیرگذاری-تأثیرپذیری و همچنین تعیین پایداری و ناپایداری سیستم و انواع محرک‌ها، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم محرک‌ها بر همدیگر در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده می‌شود.



شکل ۶- تأثیرات غیرمستقیم عامل‌ها بر یکدیگر
(تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)



شکل ۵- تأثیرات مستقیم عامل‌ها بر یکدیگر (تأثیرات
بسیار ضعیف تا بسیار قوی)

- رتبه‌بندی عامل‌ها بر اساس تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم

در این مرحله پس از ارزیابی وضعیت سیستم به لحاظ پایداری و ناپایداری و تعیین تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم عامل‌ها، به رتبه‌بندی میزان این تأثیرات پرداخته می‌شود تا در نهایت عامل‌های کلیدی استخراج گردند. جدول ۵، رتبه‌بندی تأثیرات عوامل را بر یکدیگر نشان می‌دهد:

جدول ۵- رتبه‌بندی میزان تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم عامل‌ها بر یکدیگر

رتبه	تأثیرات مستقیم				تأثیرات غیرمستقیم			
	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیرپذیری	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیرپذیری
۱	رشد سریع شهرنشینی	۳۴۲	مهاجرت	۴۰۷	رشد سریع شهرنشینی	۳۳۱	خشونت شهری	۴۰۰
۲	فقر متمرکز	۳۳۳	خشونت شهری	۳۹۸	فساد مالی گسترده	۳۳۰	مهاجرت	۴۰۰
۳	فساد مالی گسترده	۳۲۴	حفظ سلامت روانی	۳۸۱	فقر متمرکز	۳۲۹	حفظ سلامت روانی	۳۷۷
۴	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۳۲۴	خشونت و درگیری	۳۵۵	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۳۲۰	میزان مشارکت مردم	۳۷۰
۵	درصد بیکاری	۲۸۱	بیماری‌های همه‌گیر	۳۵۵	درصد بیکاری	۳۱۵	میزان امنیت اجتماعی	۳۶۳
۶	بی‌ثباتی سیاسی	۳۰۷	میزان امنیت اجتماعی	۳۵۵	بی‌ثباتی سیاسی	۳۱۳	بیماری‌های همه‌گیر	۲۵۷
۷	بیماری‌های همه‌گیر	۳۰۳	میزان مشارکت مردم	۳۵۵	بیماری‌های همه‌گیر	۲۱۹	خشونت و درگیری	۳۶۰
۸	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۳۰۳	نامنی واقعی	۳۴۲	خشونت شهری	۲۵۰	نامنی واقعی	۳۴۵
۹	خشونت شهری	۲۹۸	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۳۲۰	امنیت اقتصادی	۲۹۸	گسیختگی اجتماعی	۳۲۸
۱۰	امنیت اقتصادی	۲۹۸	امنیت اقتصادی	۳۱۱	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۲۹۵	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۳۲۳
۱۱	میزان مشارکت مردم	۲۹۸	گسیختگی اجتماعی	۳۱۱	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۹۳	فراهم کردن حس مکان	۳۱۹
۱۲	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۹۴	فقر متمرکز	۳۰۷	میزان مشارکت مردم	۲۹۱	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۳۱۵
۱۳	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۲۹۴	رشد سریع شهرنشینی	۳۰۳	نابرابری درآمد	۲۹۰	امنیت اقتصادی	۳۰۵
۱۴	میزان امنیت اجتماعی	۲۹۰	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۲۹۸	میزان امنیت اجتماعی	۲۸۱	رشد سریع شهرنشینی	۲۹۹
۱۵	نابرابری درآمد	۲۸۵	فراهم کردن حس مکان	۲۹۸	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۲۸۲	فقر متمرکز	۲۹۷
۱۶	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی - توسعه ای	۲۸۱	درصد بیکاری	۲۷۷	تحریم‌ها	۲۸۲	درصد بیکاری	۲۶۸

ردیف	تأثیرات مستقیم				تأثیرات غیرمستقیم			
	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیر پذیری	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیر پذیری
۱۷	تحریم‌ها	۳۱۶	تنش‌های بین منطقه-ای	۲۵۵	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای	۲۸۱	تنش‌های بین منطقه‌ای	۳۶۳
۱۸	شوک‌های اقتصادی جهانی	۲۸۱	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۵۱	شوک‌های اقتصادی جهانی	۲۷۹	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۴۰
۱۹	نامنی واقعی	۲۶۸	بی‌ثباتی سیاسی	۲۴۲	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۷۸	بی‌ثباتی سیاسی	۲۳۷
۲۰	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۶۸	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۳۸	جهانی شدن	۲۷۳	ناهمگونی قومی	۲۳۰
۲۱	جهانی شدن	۲۵۹	جهانی شدن	۲۳۳	نامنی واقعی	۲۶۷	جهانی شدن	۲۲۸
۲۲	میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل	۲۵۹	نابرابری درآمد	۲۲۹	میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل	۲۶۰	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۲۶
۲۳	اشتغال کافی	۲۵۵	نابرابری‌های افقی سیاسی	۲۱۲	اشتغال کافی	۲۵۸	نابرابری درآمد	۲۲۲
۲۴	تنش‌های بین منطقه‌ای	۲۴۶	ناهمگونی قومی	۲۱۲	تنش‌های بین منطقه‌ای	۳۰۰	دستگاه ضعیف امنیتی	۲۱۲
۲۵	مهاجرت	۲۴۲	دستگاه ضعیف امنیتی	۲۰۷	نرخ کسری بودجه	۲۴۲	بهداشت عمومی	۲۰۸
۲۶	نرخ کسری بودجه	۲۳۸	بهداشت عمومی	۲۰۷	نابرابری‌های افقی سیاسی	۲۴۱	نابرابری‌های افقی سیاسی	۲۰۸
۲۷	نابرابری‌های افقی سیاسی	۲۳۳	فساد مالی گسترده	۱۹۹	مهاجرت	۱۳۲	فساد مالی گسترده	۲۰۳
۲۸	تغییرات اقلیمی	۲۳۳	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای	۱۹۹	خشونت و درگیری	۲۳۱	اشتغال کافی	۲۰۲
۲۹	خشونت و درگیری	۲۲۵	اشتغال کافی	۱۹۴	تغییرات اقلیمی	۲۳۱	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای	۱۹۹
۳۰	دستگاه ضعیف امنیتی	۲۲۰	مانده سپرده سرانه خانوار	۱۸۶	دستگاه ضعیف امنیتی	۳۰۹	مانده سپرده سرانه خانوار	۱۷۸

رتبه	تأثیرات مستقیم				تأثیرات غیرمستقیم			
	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیرپذیری	عامل	تأثیرگذاری	عامل	تأثیرپذیری
۳۱	اقتصاد سیاسی بین-الملل	۲۰۷	کیفیت هوا	۱۸۱	اقتصاد سیاسی بین-الملل	۲۱۸	کیفیت هوا	۱۷۴
۳۲	گسیختگی اجتماعی	۱۹۹	شوک‌های اقتصادی جهانی	۱۷۷	گسیختگی اجتماعی	۲۰۰	تحریم‌ها	۱۷۳
۳۳	دسترسی به منبع آب سالم	۱۷۷	نرخ کسری بودجه	۱۷۳	مانده سپرده سرانه خانوار	۱۷۷	شوک‌های اقتصادی جهانی	۱۶۹
۳۴	فراهم کردن حس مکان	۱۷۳	تحریم‌ها	۱۷۳	فراهم کردن حس مکان	۱۷۷	نرخ کسری بودجه	۱۶۴
۳۵	مانده سپرده سرانه خانوار	۱۷۳	میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل	۱۵۱	دسترسی به منبع آب سالم	۱۷۲	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۱۵۵
۳۶	کیفیت هوا	۱۴۷	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۱۵۱	کیفیت هوا	۱۴۱	تغییرات اقلیمی	۱۴۶
۳۷	حفظ سلامت روانی	۱۳۸	تغییرات اقلیمی	۱۴۲	حفظ سلامت روانی	۱۴۰	میانگین دستمزد کارکنان و کارگران شاغل	۱۳۷
۳۸	حمل و نقل عمومی	۱۲۹	دسترسی به منبع آب سالم	۱۳۸	ناهمگونی قومی	۱۲۹	دسترسی به منبع آب سالم	۱۳۲
۳۹	ناهمگونی قومی	۱۲۵	اقتصاد سیاسی بین-الملل	۱۳۸	حمل و نقل عمومی	۱۲۴	اقتصاد سیاسی بین-الملل	۱۳۰
۴۰	بهداشت عمومی	۱۰۳	حمل و نقل عمومی	۱۲۱	بهداشت عمومی	۹۶	حمل و نقل عمومی	۱۱۸

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

-تبیین عوامل کلیدی مؤثر بر میزان شکنندگی کلان شهر تهران

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، برای شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران از روش تحلیل ساختاری در نرم‌افزار استفاده گردید. در ادامه به تحلیل کلی محیط سیستم پرداخته شد و میزان تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم عامل‌های مؤثر شناسایی شد. در نهایت از مجموع ۴۰ عامل اولیه تأثیرگذار، ۲۰ عامل به‌عنوان عامل‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت شکنندگی کلان‌شهر تهران انتخاب شدند. بررسی مقادیر روابط محرک‌های کلیدی

در جدول ۶ حاکی از آن است که مقادیر رتبه‌ای تأثیرات مستقیم محرک‌های کلیدی، در تأثیرات غیرمستقیم با تغییرات اندک تکرار شده است.

جدول ۶- عامل‌های کلیدی مؤثر بر میزان شکنندگی کلان‌شهر تهران

محرک‌های کلیدی (مستقیم و غیرمستقیم)				
رتبه	محرک	تأثیرگذاری مستقیم	محرک	تأثیرگذاری غیرمستقیم
۱	رشد سریع شهرنشینی	۳۴۲	رشد سریع شهرنشینی	۳۳۱
۲	فقر متمرکز	۳۳۳	فساد مالی گسترده	۳۳۰
۳	فساد مالی گسترده	۳۲۴	فقر متمرکز	۳۲۹
۴	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۳۲۴	نابرابری اجتماعی و جنسیتی	۳۲۰
۵	تحریم‌ها	۳۱۶	درصد بیکاری	۳۱۵
۶	بی‌ثباتی سیاسی	۳۰۷	بی‌ثباتی سیاسی	۳۱۳
۷	بیماری‌های همه‌گیر	۳۰۳	امنیت اقتصادی	۲۹۸
۸	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۳۰۳	سکونتگاه‌های غیر رسمی	۲۹۵
۸	خشونت شهری	۲۹۸	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۹۳
۹	امنیت اقتصادی	۲۹۸	میزان مشارکت مردم	۲۹۱
۱۱	میزان مشارکت مردم	۲۹۸	نابرابری درآمد	۲۹۰
۱۲	کمبود خدمات شهری اساسی	۲۹۴	میزان امنیت اجتماعی	۲۸۸
۱۳	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۲۹۴	تحریم‌ها	۲۸۲
۱۴	میزان امنیت اجتماعی	۲۹۰	قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی	۲۸۲
۱۵	نابرابری درآمد	۲۸۵	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای	۲۸۱
۱۶	توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای	۲۸۱	شوک‌های اقتصادی جهانی	۲۷۹
۱۷	درصد بیکاری	۲۸۱	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۷۸
۱۸	شوک‌های اقتصادی جهانی	۲۸۱	ناامنی واقعی	۲۶۷
۱۹	ناامنی واقعی	۲۶۸	خشونت شهری	۲۵۰
۲۰	شوک‌های ناگهانی قیمت	۲۶۸	بیماری‌های همه‌گیر	۲۱۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

۴- جمع‌بندی

دانش حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که محرک‌های بسیاری در افزایش شکنندگی شهر تهران مؤثرند. با توجه به جایگاه خاص شهر تهران به‌ویژه در میان کلان‌شهرها توجه به این محرک‌ها در راستای اتخاذ تدابیر مربوطه بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه شهرهایی در آینده رشد خواهند کرد که در رفع خطرات کلیدی سرمایه‌گذاری

می‌کنند. شهرها می‌توانند قبل از شکنندگی، شکستگی‌ها را بشناسند و آن‌ها را طبق اولویت تعهدات عمومی، برطرف سازند. هرگونه تلاش برای اندازه‌گیری شکنندگی در میان شهرها باید با مطالعات کیفی و کمی در سطح شهر همراه شود تا بهتر درک شود چه شهری نسبت به چه خطری آسیب‌پذیرتر است. در این راستا شناسایی و تبیین محرک‌هایی که منجر به شکنندگی شهری می‌شود، از مهم‌ترین اقدامات در شهرهایی مثل تهران است که آسیب‌پذیری بالایی در برابر خطرات دارد. در این پژوهش، ابعاد و شاخص‌های شکنندگی شهری به دست آمده از مرور ادبیات نظری، با بهره‌گیری از روش تحلیل تأثیرات متقابل (تحلیل ساختاری) با هدف شناسایی محرک‌های تأثیرگذار، تأثیرپذیر و کلیدی در نرم‌افزار MicMac بررسی و تحلیل شدند. نتیجه نشان‌دهنده آن است که ۲۰ محرک در شکنندگی کلان‌شهر تهران تأثیر بسزایی دارند. این محرک‌ها عبارتند از: رشد سریع شهرنشینی؛ فقر متمرکز؛ فساد مالی گسترده؛ نابرابری اجتماعی و جنسیتی؛ درصد بیکاری؛ بی‌ثباتی سیاسی؛ بیماری‌های همه‌گیر؛ سکونتگاه‌های غیر رسمی؛ خشونت شهری؛ امنیت اقتصادی؛ میزان مشارکت مردم؛ کمبود خدمات شهری اساسی؛ قرارگرفتن در معرض بلایای طبیعی؛ میزان امنیت اجتماعی؛ نابرابری درآمد؛ توزیع نامناسب ظرفیت‌های امنیتی-توسعه‌ای؛ تحریم‌ها؛ شوک‌های اقتصادی جهانی؛ ناامنی واقعی؛ شوک‌های ناگهانی قیمت.

عوامل کلیدی تبیین شده در پژوهش حاضر، هم قابل کنترل بوده و هم بر پویایی و تغییر سیستم تأثیرگذار هستند. این عوامل در واقع به‌عنوان محرک‌های اصلی مؤثر بر افزایش شکنندگی شهر تهران ایفای نقش می‌کنند؛ بنابراین نهادها و سازمان‌های دخیل در مدیریت شهر می‌توانند با تمرکز و تأکید بر این عوامل در برنامه‌ریزی‌ها، گامی مثبت در جهت کاهش شکنندگی شهر بردارند و زمینه را برای خودترمیم‌ساختن شهر تهران فراهم سازند. بر اساس یافته‌های پژوهش، به نظر می‌رسد تدابیر زیر می‌توانند به‌عنوان اقدامات عام در این زمینه به کار گرفته شوند:

تغییرات گام به گام و تدریجی در جهت خودترمیمی شهر؛ ایجاد اشتغال؛ ارائه خدمات اساسی و اطمینان از دسترسی آن‌ها به تمام اقشار جامعه؛ سرمایه‌گذاری در حمل‌ونقل عمومی قابل اعتماد؛ پوشش مناسب ارتباطات در تمام مناطق شهر؛ سرمایه‌گذاری هدفمند در فضاهای عمومی فراگیر؛ ایجاد ساختار اجتماعی منسجم؛ توانمندسازی مؤسسات غیردولتی محلی؛ اولویت قرار دادن پیشگیری به جای درمان؛ ارتقاء ابتکارات محلی و توانمندسازی شهروندان؛ جامعه مدنی سازمان‌یافته؛ سازگاری با تغییرات اقلیمی؛ بهره‌گیری از تخصص و ظرفیت‌های محلی؛ استفاده از نیروی امنیتی کارآمد و حرفه‌ای؛ تقویت مؤسسات مالی و اقتصاد محلی؛ استفاده از دانش شهرهای موفق جهان؛ سرمایه‌گذاری در ارتقاء زیرساخت‌ها؛ ساماندهی زاغه‌ها و سکونتگاه‌های غیررسمی؛ بومی‌سازی راهکارها؛ اتصال مناطق فقیرنشین شهری با اقتصاد شهری؛ تلاش در جهت هوشمندسازی شهر؛ کمک به ارتقاء همکاری بین سازمان‌ها؛ تقدم شناخت منابع شکنندگی به علائم آن؛ ارائه راهکارهای منحصر به فرد برای هر شهر؛ مشارکت و رویکرد برنامه‌ریزی شهری مشارکتی؛ ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری‌های خصوصی؛ ارزیابی ایمنی تمام مدارس و

مراکز بهداشتی و افزایش سرمایه‌گذاری در بهداشت و آموزش؛ ارتقاء کیفیت سیستم مدیریت بحران شهر تهران؛ استفاده همزمان از رویکردهای مختلف در حل مسائل شهری؛ حفاظت از محیط‌زیست و ایمن‌سازی شهر در مقابل عوامل شکنندگی شهری.

کتابنامه

- آمارنامه شهر تهران؛ ۱۳۹۵. *سالنامه آماری شهر تهران*. سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- مولایی، محمدمهدی؛ ۱۳۹۳. *مقایسه الگوهای سازماندهی روش‌ها و تکنیک‌های آینده‌پژوهی*. نخستین کنفرانس ملی آینده پژوهی و مدیریت و توسعه. شیراز. <https://civilica.com/doc/314678>
- نعیمی، کیومرث و پورمحمدی، محمدرضا؛ ۱۳۹۵. شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده سکونتگاه‌های فرودست شهری سنندج با تأکید بر کاربرد آینده‌پژوهی. *مطالعات شهری*. شماره ۲۰، ۵۳-۶۴. https://urbstudies.uok.ac.ir/article_40902.html
- Ayini M, Zabihi H, Saeideh Zarabadi Z S. A Study of the Challenges of Urban Management System in New Iranian Cities. *IUESA.*, 2019; 7 (27) :1-15
<http://iueam.ir/article-1-1242-en.html>
- Bosetti, L., Ivanovic, A., & Munshey, M., 2016. Fragility, Risk, and Resilience: A Review of Existing Frameworks. *UN University Centre for Policy Research, Background Paper, October*, 3. <https://i.unu.edu/media/cpr.unu.edu/attachment/2232/Assessing-Fragility-Risk-and-Resilience-Frameworks.pdf>
- Bryceson, D. F., 2006. Fragile cities: fundamentals of urban life in East and Southern Africa. In *African Urban Economies* (pp. 3-38): Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230523012_1
- De Boer, J., 2016. Risk, resilience, and the fragile city. *Urban Disaster Resilience: New Dimensions from International Practice in the Built Environment*, 75.
<https://doi.org/10.4324/9781315725420>
- De Boer, J., Muggah, R., & Patel, R., 2016. Conceptualizing City Fragility and Resilience. *Centre for Policy Research, United Nations University*.
<https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5852/ConceptualizingCityFragilityandResilience.pdf>
- Desouza, K. C., & Flanery, T. H., 2013. Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities*, 35, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.003>
- Duijsens, R., 2010. Humanitarian challenges of urbanization. *International review of the red cross*, 92(878), 351-368. <https://doi:10.1017/S181638311000041X>
- Eskandari, N., Zarabadi, Z. S. S., & Habib, F., 2021. A Systematic Review of the Fragile City Concept. *International Journal of Architecture and Urban Development*, 11(4), 29-40 .
<https://doi.org/10.30495/ijaud.2021.18451>
- Fassin, D., 2011. *Humanitarian reason: a moral history of the present*: Univ of California Press.
<https://doi.org/10.1525/9780520950481>
- Gordon, T., & Pease, A., 2006. "RT-Delphi: An Efficient, "Round-less" Almost Real Time Delphi Method", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 73, Issue 4.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.005>

- Miklos, M., & Paoliello, T., 2017. Fragile cities: a critical perspective on the repertoire for new urban humanitarian interventions. *Contexto Internacional*, 39(3), 545-568. <https://doi.org/10.1590/S0102-8529.2017390300005>
- Muggah, R., 2014a. Deconstructing the fragile city: exploring insecurity, violence, and resilience. *Environment and Urbanization*, 26(2), 345-358. <https://doi.org/10.1177%2F0956247814533627>
- Muggah, R., 2014b. The Fragile City Arrives. Retrieved 21 June 2019, from: <http://www.css.ethz.ch/en/services/digital-library/articles/article.html/175886/Pdf>
- Muggah, R., 2015a. Defining Fragile Cities. *Background Paper for UNU project on Resilience and the Fragile City, unpublished*. <https://sohs.alnap.org/system/files/content/resource/files/main/DefiningtheResilientCity24Jan.pdf>
- Muggah, R., & Jutersonke, O., 2012. Rethinking stabilization and humanitarian action in fragile cities. *Modern Warfare: Armed Groups, Private Militaries, Humanitarian Organizations and the Law, University of British Columbia Press, Vancouver*, 311-327. https://www.researchgate.net/publication/264311029_Rethinking_Stabilization_and_Humanitarian_Action_in_the_Fragile_City
- Muggah, R., & Savage, K., 2012. Urban violence and humanitarian action: engaging the fragile city. *The Journal of Humanitarian Assistance*, 19(01), 2012. Retrieved 19 June 2019, from: <https://sites.tufts.edu/jha/archives/1524>
- Nogueira, J. P., 2017. From failed states to fragile cities: redefining spaces of humanitarian practice. *Third World Quarterly*, 38(7), 1437-1453. <https://doi.org/10.1080/01436597.2017.1282814>
- Pellegata, A., & Memoli, V., 2016. Can corruption erode confidence in political institutions among European countries? Comparing the effects of different measures of perceived corruption. *Social Indicators Research*, 128(1), 391-412. <https://doi.org/10.1007/s11205-015-1036-0>
- Selby, J. D., & Desouza, K. C., 2019. Fragile cities in the developed world: A conceptual framework. *Cities*, 91, 180-192. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.018>
- Vainer, C., 2014. Disseminating 'best practice'? The coloniality of urban knowledge and city models. In *The Routledge handbook on cities of the global south* (pp. 70-78). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203387832>
- Weforum., 2016a. Responsible Investment in Fragile Contexts. Retrieved 18 June 2019, from: https://www3.weforum.org/docs/GACI16_Responsible_Investment_Fragile_Context.pdf
- Carleton University., 2016. *CIFP Failed and Fragile States FAQ*. Retrieved from: <https://carleton.ca/cifp/wp-content/uploads/1138.pdf>
- United Nations University. (2015). *Can Cities Drive Sustainable Development in Fragile and Conflict-Affected States?* Retrieved from: <https://cpr.unu.edu/can-cities-drive-sustainable-development-in-fragile-and-conflict-affected-states.html>
- United Nations University., 2015. *Press: Visualizing Urban Fragility*. Retrieved from: <https://cpr.unu.edu/visualizing-urban-fragility.html>



Assessing the Role of Ngos in Increasing Social Resilience After the Flood Crisis (Case Study: Poldakhtar City)

Shadi Galehdar^a, Shabnam Galehdar^b, Mandana Masoudi Rad^{c*}

^a MA Students, Department of Urban Design, Faculty of Architect and Urban Design, University of Art, Esfahan, Iran

^b MA Students, Department of Urban Design, Faculty of Architect and Urban Design, University of Art, Tehran, Iran

^c PhD in Geography Urban Planning and Guest Lecturer at Urban Planning Department of Lorestan University

Received: 20 July 2022

Revised: 8 September 2022

Accepted: 12 September 2022

Abstract

Today, it is so important to investigate how to deal with natural disaster in making communities and cities resilient in all disciplines. In the natural disasters of recent years, along with government assistance, non-governmental organizations have played a very important role in bringing people back to normal life quickly and repairing the damage. The quick impact of natural disasters leads to numerous damages, that's why it is necessary to pay attention to the role of non-governmental organizations in effectively confronting people with floods. Therefore, this applied and descriptive-analytical research was conducted with the aim of assessing the situation of non-governmental organization in increasing social resilience after the flood crisis. The study population consists urbanism experts and non-governmental organizations. A total of 49 questionnaires were distributed between them. For data analysis, two sample independent t-test and path analysis of structural equations in SPSS and SmartPLS software were used. The results showed that social responsibility (0.890), trust (0.879), empowerment of individuals (0.879) scored the highest values, and educational spaces (0.663), improving the quality of the environment (0.722), and providing voluntary experiences (0.746) showed lowest scores in the face of resilience. Therefore, non-governmental organizations can be effective in increasing social resilience after future crises by creating and improving educational spaces, improving the quality of the environment and providing voluntary experiences. Moreover, the results of two sample independent t-test showed that the desired dimensions are at the desired level ($p < 0.05$). The responses of the two statistical communities of urbanism experts and non-governmental organizations in evaluating the role of non-governmental organizations in increasing social resilience after the flood crisis are the same to the variables in the response of the urbanism experts and non-governmental organizations.

Keywords: Resilience, Social Resilience, Flood Crisis, NGOs, Poldakhtar

*. Corresponding author: Mandana Masoudi rad E-mail: mandana.masoudi@gmail.com Tel: + 989166638776

How to cite this Article: Galehdar, S., Galehdar, S., Masoudi rad, M. (2023). Assessing the role of NGOs in increasing social resilience after the flood crisis (Case study: Poldakhtar city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 233-249.

doi: 10.22067/geoeh.2022.77244.1248



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards


Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77244.1248> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۴۹-۲۳۳
مقاله کاربردی

سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل (مطالعه موردی: شهرستان پلدختر)

شادی گله‌دار- دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهر، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
شبیم گله‌دار- دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهر، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر
ماندانا مسعودی‌راد^۱- استادیار گروه شهرسازی، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۲۱

چکیده

امروزه مطالعه و بررسی نحوه رویارویی با بحران‌های طبیعی در تاب‌آور کردن اجتماعات و شهرها در همه‌ی رشته‌ها، بیش‌ازپیش حائز اهمیت است. در بحران‌های طبیعی سال‌های اخیر، در کنار کمک‌های دولتی، سازمان‌های مردم‌نهاد نقش بسیار مهمی در بازگشت سریع‌تر مردم به حالت عادی، ترمیم و بهبود خسارت‌های وارده ایفا کرده‌اند؛ اثرگذاری سریع سوانح طبیعی خسارات متعددی را به دنبال دارد به همین دلیل توجه به نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در مواجهه مؤثر مردم با سیل ضروری است. این پژوهش، کاربردی و از روش توصیفی- تحلیلی، با هدف سنجش وضع سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل انجام پذیرفته است. جامعه موردپژوهش خبرگان حوزه شهرسازی و سازمان‌های مردم‌نهاد هستند، که در مجموع ۴۹ پرسشنامه بین آنان توزیع شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آزمون t دو نمونه‌ای مستقل و تحلیل مسیر معادلات ساختاری در نرم‌افزارهای SPSS و SmartPLS استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که مسئولیت اجتماعی (۰/۸۹۰)، اعتماد

Email: mandana.masoudi@gmail.com

۱ نویسنده مسئول:

نحوه ارجاع به این مقاله:

گله دار، شادی، گله دار، شبیم، مسعودی راد، ماندانا. (۱۴۰۲). سنجش نقش سازمان‌های مردم نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل (مطالعه موردی: شهرستان پلدختر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، صص ۲۴۹-۲۳۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77244.1248>

(۰/۸۷۹)، توانمندسازی افراد (۰/۸۷۹) بیشترین و فضاهای آموزش‌دهنده (۰/۶۶۳)، ارتقاء کیفیت محیط (۰/۷۲۲) و ارائه تجارب داوطلبانه (۰/۷۴۶)، کمترین امتیاز را در مواجهه با تاب‌آوری به دست آورده‌اند؛ بنابراین سازمان‌های مردم‌نهاد با ایجاد و بهبود فضاهای آموزش‌دهنده، ارتقاء کیفیت محیط و ارائه تجارب داوطلبانه می‌توانند در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران‌های آتی مؤثر عمل کنند. همچنین نتایج حاصل از t دو نمونه‌ای مستقل نشان داد که ابعاد موردنظر در سطح مطلوبی ($p < 0/05$) قرار دارند. در نتیجه پاسخ دو جامعه‌ی آماری خبرگان شهرسازی و سازمان‌های مردم‌نهاد در سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل یکسان نشان داده شده است.

کلیدواژگان: تاب‌آوری، تاب‌آوری اجتماعی، بحران سیل، سازمان‌های مردم‌نهاد، پلدختر

۱- مقدمه

تشدید سیر صعودی خسارات سیل در دو دهه گذشته سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل و رواناب‌ها جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی‌توان در مهار سیلاب‌ها موفق بود؛ بلکه باید کوشید تا پیامدهای زیان‌بار و مخرب را کاهش داد (غضنفرپور و همکاران، ۱۳۹۸). مفهوم تاب‌آوری زمانی مطرح شد که تأثیر سوانح طبیعی بر شهرها، رشد و توسعه را بسیار به عقب می‌برد و ساختاری که همچون درخت تدریجی ریشه دوانده بود و معنا گرفته بود در رویارویی با یک بحران، بسیاری از داشته‌های خود را از دست می‌داد (حسن‌خان، ۱۳۹۷). علاوه بر این تاب‌آوری اجتماعی در مقابل بحران‌ها از ظرفیت و توانایی خاصی در شهروندان و شبکه‌های اجتماعی و محلات صحبت می‌کند و عمدتاً حاصل توانمندسازی آن‌ها در مقابل بحران‌ها است (عباداله‌زاده ملکی و همکاران، ۱۳۹۶).

سازمان‌های غیردولتی به دلیل ارتباط مستمر و بی‌واسطه با جامعه، شناخت دقیق‌تری از مسائل و نیازهای جامعه دارند و از این رو می‌توان پل ارتباطی مؤثری برای انتقال نیازهای واقعی جامعه به سیاست‌گذاران باشند (رازقی و لطفی خاچکی، ۱۳۹۷). امروزه استفاده از ظرفیت سازمان‌های مردم‌نهاد در مدیریت بحران‌های طبیعی به‌مثابه شکلی از مشارکت شهری مطرح است. در این میان شهر پلدختر به‌عنوان یکی از آسیب‌دیده‌ترین شهرهای ایران در جریان سیل فروردین‌ماه ۱۳۹۸ به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب گردیده است؛ زیرا بسیاری از سازمان‌های مردم‌نهاد در جریان بحران سیلاب به ایفای نقش اجتماعی خود پرداختند. لذا ضرورت دارد وضعیت تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران در این شهر مورد سنجش و نقش سازمان‌های مردم‌نهاد به‌عنوان کم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری اجتماعی مورد مطالعه قرار گیرد. از این‌رو هدف این پژوهش بررسی نقش مشارکت سازمان‌های مردم‌نهاد در میزان تاب‌آوری اجتماعی در جریان مخاطره سیلاب سال ۱۳۹۸ در شهر پلدختر است. در این راستا سؤال پژوهش عبارت است از: سازمان‌های مردم‌نهاد چگونه بر تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیلاب شهرستان پلدختر نقش داشته‌اند؟

در این بخش به بررسی برخی از مطالعات مرتبط با موضوع پژوهش با تأکید بر نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در تاب‌آوری اجتماعی در مواجهه با مخاطرات طبیعی پرداخته شده است. شرح مختصری از مطالعات داخلی و سپس مطالعات خارجی از گذشته تا به امروز بیان شده است.

عبدالله‌زاده ملکی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود با عنوان سنجش و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی جهت مقابله با بحران‌های طبیعی، سازمان‌های مردم‌نهاد (مشارکت امدادی) را به‌عنوان زیر شاخص مؤلفه‌ی سرمایه اجتماعی معرفی نموده و ادعان داشتند که مشارکت مردمی و اعتماد و انسجام شهروندان در فرایند تاب‌آوری اجتماعی اهمیت بسیار دارد. آن‌ها معتقدند توانمندسازی افراد در قلمرو، مهارت، دانش، آگاهی و زمینه‌سازی جهت مشارکت می‌تواند افزایش تاب‌آوری اجتماعی تأثیر بسزایی داشته باشد.

بسطامی‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی، تاب‌آوری اجتماعی در مقابله با سوانح طبیعی را ارزیابی کردند. آن‌ها با بررسی در این پژوهش ۳ ضرورت را برای توجه به تاب‌آوری اجتماعی شناسایی کردند؛ ۱- توانایی‌های بازیگران اجتماعی به‌منظور مقابله و غلبه بر تمامی دشواری‌های بديهی، ۲- ظرفیت و تولدایی آن‌ها برای یادگیری از تجارب گذشته و تعدیل آن‌ها به‌منظور تحت فشار گذاشتن چالش‌های جدید در آینده (ظرفیت‌های انطباقی) و ۳- توانایی آن‌ها در ایجاد نهادهایی که رفاه فردی و نیرومندی اجتماعی پایدار در برابر بحران‌های حال و آینده (ظرفیت‌های دگرگون شونده) را پرورش می‌دهند.

میراسدالهی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با هدف بررسی نقش مؤلفه‌های تاب‌آوری بر کاهش خسارات ناشی از سیلاب در شهر گرگان نشان داد بین همه ابعاد اجتماعی و اقتصادی با میزان تاب‌آوری شهری در مقابل سیلاب ارتباط معناداری وجود دارد و یکی از شایسته‌های مهم مشارکت اجتماعی شهروندان گرگان در زمان وقوع بحران را تقویت ارگان‌ها و سازمان‌های محلی بیان می‌کند. علاوه بر این دلیل تقویت قوه ابتکار و ابداع مردم و کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب را تأمین مشارکت مردم و تقویت توانمندی اقتصادی مردم بیان می‌کند. **کیخا و همکاران (۱۳۹۹)** در پژوهش خود با عنوان "تحلیل فضایی میزان برخورداری جامعه محلی از شاخص‌های اجتماعی مؤثر در تاب‌آوری در برابر مخاطرات محیطی" بیان کردند که وضعیت شاخص‌های اجتماعی مؤثر بر تاب‌آوری که شامل آشنایی و ارتباط، اعتماد، مشورت، همکاری، ماندگاری، توجه مسئولین و استفاده از تجربیات است، در حد مطلوب و قابل‌پذیرش است. در پژوهش **فیت‌پاتریک و مولی (۲۰۱۴)** با تأکید بر نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در ساخت جامعه پایدار تاب‌آور بیان کردند که اساساً تلاش و توانایی تفکر سازمان‌های مردم‌نهاد در مورد اینکه چگونه جامعه می‌تواند خود را حمایت کند، به‌طور متفاوتی بسیار مهم است تا پس از حوادث طبیعی جامعه زودتر به حالت قبل برگردد، این را می‌توان از طریق اقدامات مهم این سازمان در مدیریت بلایا، تقسیم مسئولیت آموزش و افزایش آگاهی عمومی از

لقدامات مدیریت بلایا، ایجاد ظرفیت رهبری محلی، افزایش سرملیه اجتماعی، تقویت شایستگی جامعه و ارلئه تجارب داوطلبانه انعطاف‌پذیر و معنی دارتر که این امکان را می‌دهد جامعه به‌طور گسترده در هر دو پیامد‌بازایی و کاهش خطر، مشارکت کند فهمید. در پژوهشی دیگر، کبیر و همکاران^۱ (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی تاب‌آوری در برابر بلایای شهری در بنگلادش، با استفاده از شاخص تاب‌آوری بلایای شهری (UDRI)^۲ نشان دادند که خدمات شهری (برق، آب و سیستم زهکشی)، دسترسی به جاده‌ها، مسکن و کاربری اراضی، امکانات بهداشتی، سرملیه اجتماعی، دانش و آهادگی جامعه در مورد بلایا، کاهش آن و شرایط محیطی، هرکدام دارای نقش مهمی هستند. در پژوهشی دیگر، کولپند و همکاران^۳ (۲۰۲۰) چالش‌ها و فرصت‌ها برای اندازه‌گیری تاب‌آوری اجتماعی را موردسنجش قرار می‌دهند و بیان می‌کنند که در ویژگی‌های تاب‌آوری اجتماعی باید ویژگی‌های یک جامعه و ویژگی‌های افراد در نظر گرفته شود. علاوه بر این، ساجا و همکاران^۴ (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی در مدیریت بحران" معیارهای موجود از شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی را مشکل‌ساز می‌داند؛ چراکه ماهیت چندوجهی و پویا شاخص‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. به همین خاطر مجموعه‌ای از جایگزین‌های بالقوه را برای شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی را که با استفاده از مصاحبه با کارشناسان و سیاست‌گذاران بلایا استخراج شده‌اند (دسترسی به امکانات حمل‌ونقل، اعتماد اجتماعی، درس گرفتن از بلایای گذشته، مشارکت/برابری برای همه‌ی افراد، هنجارهای فرهنگی/مذهبی) بیان می‌کنند.

پس از مطالعه پژوهش‌های مرتبط، مشخص گردید علی‌رغم توجه بسیاری از مطالعات پیشین بر مقوله‌ی تاب‌آوری اجتماعی، تا کنون بر نقش ویژه‌ی سازمان‌های مردم‌نهاد فعال، در رویارویی با بحران‌های طبیعی پژوهشی صورت نگرفته؛ همچنین ظرفیت سازمان‌های غیردولتی فعال در جریان سیلاب ویرانگر فروردین ۱۳۹۸ شهرستان پلدختر موردبررسی قرار نگرفته است. لذا این مطالعه با هدف بررسی نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در تاب‌آوری شهر سیل‌زده پلدختر با روش pls و در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ انجام شده است. در انتها شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی و سازمان‌های مردم‌نهاد موردنیاز با کمک پیشینه پژوهش استخراج شد.

جدول ۱- شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی

شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی	پژوهشگران
عقاید و مذهب، سرمایه اجتماعی، امنیت اجتماعی، جمعیت، جنسیت، توزیع و نرخ رشد جمعیت، قومیت، نژاد و زبان، حس تعلق، هویت اجتماعی، ساختار خانواده، سن، آداب‌ورسوم، مهاجرت، مشارکت‌پذیری، درس‌پذیری از تجارب	فرزاد بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲
ارتقای کیفی محیط، هویت، انعطاف‌پذیری، همه‌شمولی، فضاهای آموزش‌دهنده، تعاملات اجتماعی در طراحی محلات	پرتوی و همکاران، ۱۳۹۵

1 Kabir et al

2 Urban Disaster Resilience Index

3 Copeland et al

4 Saja et al

شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی	پژوهشگران
تعداد مراکز مذهبی-تاریخی، مراکز بهداشتی-درمانی، رضایت از دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، خدمات اینترنتی، امنیت بالا، تعداد مهاجر، آموزش شهروندی، کمترین درصد بیکاری، رفتار اجتماعی مثبت	دلاکه و همکاران، ۱۳۹۶
توانایی مواجهه با تغییرات و خطرات، سازگاری، آموزش و یادگیری، ارتقا قدرت سازماندهی، اطلاع‌رسانی عمومی، همبستگی اجتماعی، مشارکت اجتماعی، مدیریت واکنش‌های اضطراری	سام آرام و منصوری، ۱۳۹۶
مشارکت مردم، اعتماد، انسجام شهروندان، توانمندسازی افراد، مهارت، دانش و آگاهی	عبداله‌زاده ملکی و همکاران، ۱۳۹۶
توانایی به‌منظور مقابله، ظرفیت یادگیری از تجارب گذشته، ظرفیت انطباق، رفاه فردی، قدرت اجتماعی (ظرفیت دگرگون شونده)	بسطامی نیا و همکاران، ۱۳۹۷
امنیت اجتماعی، افزایش و ارتقای آگاهی و دانش از طریق آموزش، تعلق و همبستگی اجتماعی، مشارکت اجتماعی، سرمایه اجتماعی، باورها و اعتقادات دینی، حمایت اجتماعی	منوریان و همکاران، ۱۳۹۷
میزان آگاهی از افراد از نظر سبیل، میزان مشارکت مردم در هنگام بحران، میزان مهارت مردم و مسئولان در هنگام بحران، میزان تجربه‌آموزی از تجارب دیگر شهرها در هنگام خطر سیلاب، آمادگی و آموزش لازم در برابر خط سیلاب	غضنفرپور و همکاران، ۱۳۹۸
آموزش آمادگی از خطر، درک خطر، حس اجتماعی، نگرش‌ها و اعتقادات شخصی، اعتماد به مسئولین، تجربیات پیشین، شبکه‌های اجتماعی، سطح تحصیلات و ویژگی‌های جمعیتی	آلشیری و همکاران ^۱ 2015
اعتماد، مدیریت، سرمایه اجتماعی، پیوستگی اجتماعی، تقسیم کار و همکاری، مشارکت اجتماعی، ارزش‌ها و نگرش‌ها و هنجارهای حاضر و ارتباطات و اطلاعات و وابستگی به منابع	مگیره و هنگ ^۲ ، 2007
مشخصات جمعیتی، آسیب‌های اجتماعی، سرمایه اجتماعی (مشارکت، آگاهی، اعتماد، یکپارچگی)، باورها و ارزش‌های دینی، توانایی جوامع محلی (احساس تعلق، همدردی و نوع‌دوستی)، منابع و مهارت‌ها، نابرابری اجتماعی، امنیت اجتماعی، داریی‌های انسانی (سلامت عمومی) و آگاهی و آموزش	شاه‌پری ثانی و همکاران ^۳ ، ۲۰۲۲

منبع: مطالعات نگارندگان

جدول ۲- شاخص‌های سازمان مردم‌نهاد

شاخص‌های سازمان‌های مردم‌نهاد	پژوهشگران
ابتکار عمل، پاسخگویی سریع به نیازهای محلی، دسترسی آسان به گروه‌های فقیر و آسیب‌پذیر، آگاهی از روش زندگی، نگرش‌ها، امکانات، ارتقای توانمندسازی مردم، آموزش، سهولت دسترسی به خدمات اجتماعی، حفظ محیط‌زیست، تغییر سیاست‌ها و منابع، کاهش تبعیض جنسیتی، تغییر رفتار به دلیل استفاده از رویکردهای ابتکاری و متنوع، کاهش جرم، افزایش سرمایه اجتماعی از طریق ارتقای مشارکت (ارتقای ارتباط و اعتماد)، درمان، پیشگیری	دماری و همکاران، ۱۳۹۳
اعتماد، روابط متقابل، مشارکت، اخلاق، آگاهی عمومی، مسئولیت اجتماعی، ارزش‌ها، مقررات رفتاری، هنجارها، جو و فضا، دین، قانون مداری، مشارکت سیاسی، آموزش، موجب بروز خلاقیت و نوآوری، سرمایه اجتماعی	همتی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷

- 1 Alshehri et al
- 2 Maguire & hang
- 3 Shahpari Sani

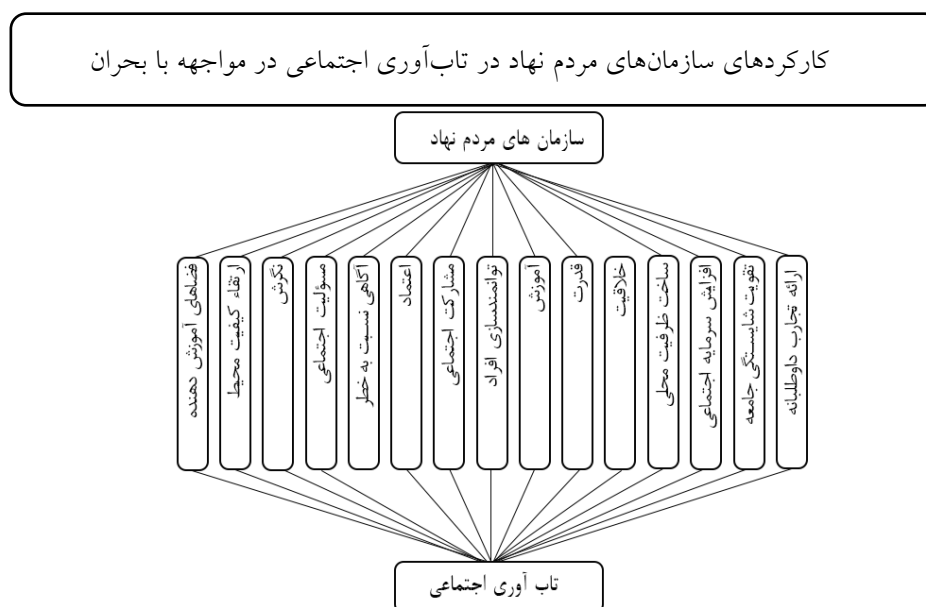
شاخص‌های سازمان‌های مردم‌نهاد	پژوهشگران
فراگیری و عدم تبعیض، مشارکت، دسترسی به سازمان، پاسخگو بودن نسبت به گروه‌های آسیب‌پذیر و ایجاد حس مشارکت در مردم، نفوذ و اثرگذاری	مهاجرانی (۲۰۰۳) به نقل از افضلی و همکاران (۱۳۹۷)
ابتکار عمل، پاسخگویی سریع به نیازهای محلی، دسترسی آسان به گروه‌های فقیر و آسیب‌پذیر، آگاهی از روش زندگی، نگرش‌ها و امکانات	نمازی (۲۰۰۶) به نقل از افضلی و همکاران (۱۳۹۷)
پیشگیری، کاهش آسیب اجتماعی، حمایت اجتماعی، اشتغال‌زائی، درمان، توانمندسازی، آموزش و فرهنگی	افضلی و همکاران (۱۳۹۷)

منبع: مطالعات نگارندگان

مدل مفهومی پژوهش

در این بخش با جمع‌بندی نظریات دانشمندان از شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی و حیثی‌های عمل سازمان‌های

مردم‌نهاد به ارائه مدل مفهومی پژوهش می‌پردازیم:



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

منبع: مطالعات نگارندگان

۲- مواد و روش

مقاله حاضر از نظر روش توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. از این‌رو در ابتدا با مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، اطلاعات مربوط به پیشینه و مبانی نظری پژوهش جمع‌آوری شده است، سپس مؤلفه‌ها و شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی استخراج گردیده و در نهایت با توجه به شناخت صورت گرفته قلمرو مشترک سازمان‌های مردم‌نهاد با شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی از آن نتیجه‌گیری شده است. جامعه آماری در این پژوهش دو گروه خبرگان شهرسازی و سازمان‌های مردم‌نهاد می‌باشند. در نهایت برای گردآوری اطلاعات از روش میدانی استفاده شده است.

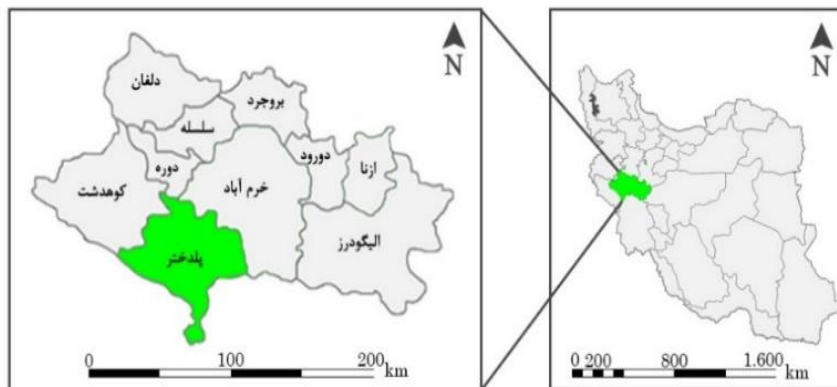
برای محاسبه حجم نمونه در مدل ساختاری تفسیری (با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی PLS) باید جامعه آماری مشخص شود؛ زیرا در روش PLS به‌عنوان نسل دوم مدل‌یابی معادلات ساختاری، توانایی کار با تعداد کم داده‌ها را دارد (شفیعی و دیگران، ۱۴۰۰: ۱۳۲). جامعه آماری این مدل را خبرگان و افراد مرتبط با حوزه مورد مطالعه تشکیل می‌دهند. در این روش پاسخ‌های افراد از حجم نمونه اهمیت بیشتری دارد.

زیرا دخالت افراد غیرمرتبط و یا عدم استفاده از افراد خبره و کاردان باعث تقلیل کارایی مدل می‌گردد. به همین دلیل حجم نمونه این پژوهش عبارت است از کارشناسان مرتبط و افراد فعال در سازمان‌های مردم‌نهاد که در رابطه با معیارهای مورد نظر با تجربه و صاحب‌نظر بودند. در برخی منابع حجم نمونه قابل قبول در این مدل را بین ۱۰-۲۵ نفر ذکر کرده‌اند؛ همچنین استفاده از روش‌های در دسترس، هدفمند و یا گلوله برفی استفاده را برای این مدل مناسب دانسته‌اند (حیبی و عدن و، ۱۳۹۶: ۵۰)؛ بنابراین در این پژوهش، برای حصول به نتایج دقیق‌تر، پرسشنامه پژوهش بین ۴۹ نفر از خبرگان شهرسازی و سازمان‌های مردم‌نهاد فعال در سیل‌پلدختر به روش نمونه‌گیری در دسترس تکمیل شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS برای آزمون t دو نمونه‌ای مستقل و PLS برای سنجش مدل پژوهش استفاده شده است.

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در قسمت غربی ایران قرار دارد. شهرستان پلدختر، در موقعیت جغرافیایی ۳۳°۳۳' شمالی ۶۷°۲۵' شرقی، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب خرم‌آباد و مرز بین استان‌های لرستان، خوزستان و ایلام قرار دارد. طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت شهرستان، ۷۷۶۴ نفر است (بذر افشان و همکاران، ۱۳۹۷). شهرستان پلدختر به لحاظ قرارگیری در خروجی حوضه آبریز کرخه در استان و حجم بالای خسارات وارده از گذشته تا کنون، به‌عنوان اولین شهرستان سیل‌خیز استان و شهرستان خرم‌آباد در مرتبه دوم سیل‌خیزی قرار دارد و همین‌طور میانگین آورد سالانه رودخانه کشکان در حدود ۱/۵ میلیارد مترمکعب در سال است ولی حجم سیلابی ناشی از این بارش که از رودخانه پلدختر گذشته است، ۳۳ درصد بیشتر از مقدار آبی است که به‌طور میانگین در طول یکسال از آن عبور

می‌نماید. بر اساس آمار ایستگاه‌های هیدرومتری، دبی سیلابی رودخانه کشکان در ورودی شهرستان پلدختر بیش از ۶۰۰۰ مترمکعب در ثانیه بوده است. (گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸)



شکل ۲- موقعیت شهرستان پلدختر

(سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان)



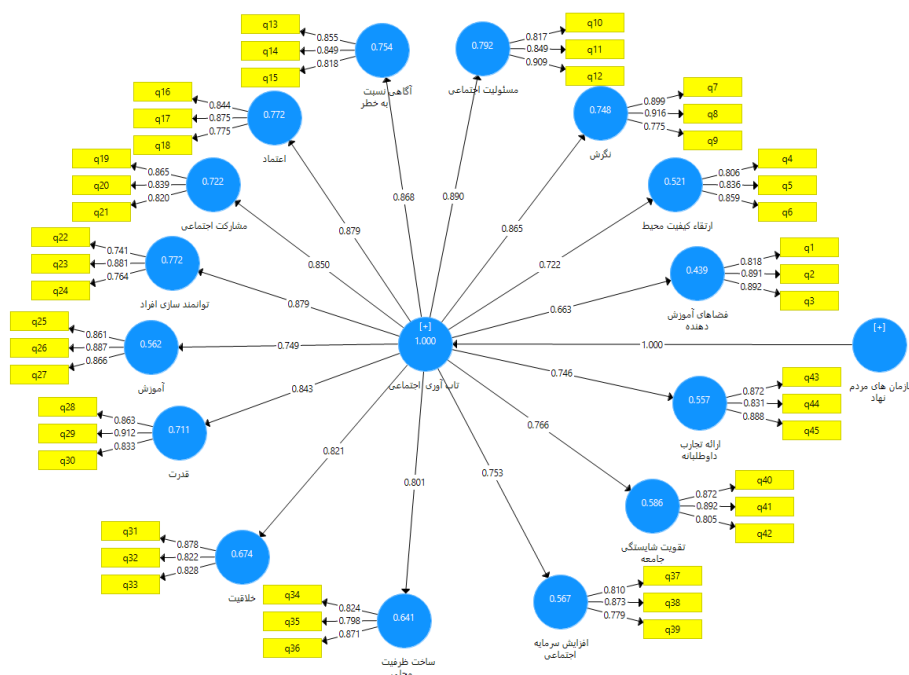
شکل ۳- محدوده بستر با دوره بازگشت ۲۵ ساله (خط آبی) و پهنه وقوع سیلاب (ناحیه قرمز) در شهرستان

پلدختر (عکس هوایی)

(گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸)

۳- نتایج و بحث

با توجه به مدل شکل ۱، بار عاملی هر یک از گویه، بیش از ۰/۴ می‌باشد که نشان دهنده‌ی اعتبار پرسشنامه می‌باشد و از میان متغیرها، تأثیر مسئولیت اجتماعی (۰/۸۹۰) و فضاهای آموزش دهنده (۰/۶۶۳) به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر تاب‌آوری اجتماعی دارند.



شکل ۴- مدل ساختاری ضریب تأثیر

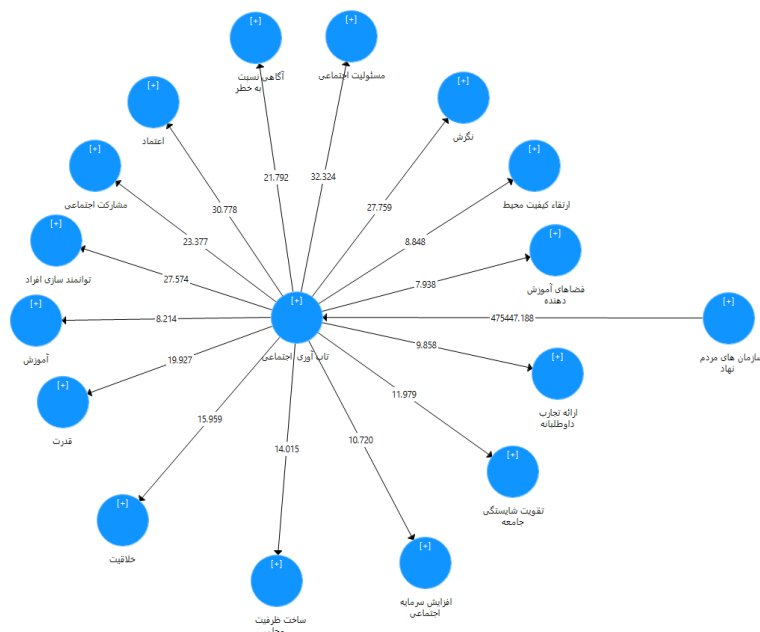
جدول ۳- آلفای کرونباخ، پایایی و واریانس

متغیرها	ضریب آلفای کرونباخ $\text{Alpha} > 0/7$	ضریب پایایی ترکیبی $\text{CR} > 0/7$	میانگین واریانس استخراجی $\text{AVE} > 0/7$	آماره‌ی R^2	آماره‌ی $Q2$
فضاهای آموزش دهنده	۰/۸۴۱	۰/۹۰۱	۰/۷۵۳	۰/۴۳۹	۰/۲۹۵
ارتقاء کیفیت محیط	۰/۷۸۰	۰/۸۷۲	۰/۶۹۵	۰/۵۲۱	۰/۳۴۳
نگرش	۰/۸۳۱	۰/۸۹۹	۰/۷۴۹	۰/۷۴۸	۰/۵۴۶
مسئولیت اجتماعی	۰/۸۲۲	۰/۸۹۴	۰/۸۳۸	۰/۷۹۲	۰/۵۷۹
آگاهی نسبت به خطر	۰/۷۹۳	۰/۸۷۸	۰/۷۰۷	۰/۷۵۴	۰/۵۱۰
اعتماد	۰/۷۷۷	۰/۸۷۱	۰/۶۹۳	۰/۷۷۲	۰/۵۲۳
مشارکت اجتماعی	۰/۷۹۴	۰/۸۷۹	۰/۷۰۸	۰/۷۲۲	۰/۴۹۸
توانمندسازی افراد	۰/۷۱۳	۰/۸۳۹	۰/۶۳۷	۰/۷۷۲	۰/۴۷۱

متغیرها	ضریب آلفای کرونباخ Alpha>0/7	ضریب پایایی ترکیبی CR>0/7	میانگین واریانس استخراجی AVE>0/7	آماره R^2	آماره Q^2
آموزش	۰/۸۴۱	۰/۹۰۴	۰/۷۵۹	۰/۵۶۲	۰/۴۱۳
قدرت	۰/۸۳۹	۰/۹۰۳	۰/۷۵۷	۰/۷۱۱	۰/۵۲۲
خلاقیت	۰/۸۹۷	۰/۸۸۱	۰/۷۱۱	۰/۶۷۴	۰/۴۶۵
ساخت ظرفیت محلی	۰/۸۷۷	۰/۸۷۰	۰/۶۹۲	۰/۶۴۱	۰/۴۳۵
افزایش سرمایه اجتماعی	۰/۷۵۹	۰/۸۶۱	۰/۶۷۵	۰/۵۶۷	۰/۳۶۲
تقویت شایستگی جامعه	۰/۸۱۸	۰/۸۹۲	۰/۸۳۵	۰/۵۸۶	۰/۴۱۵
ارائه تجارب داوطلبانه	۰/۸۳۰	۰/۸۹۹	۰/۷۴۷	۰/۵۵۷	۰/۳۹۶
تاب‌آوری اجتماعی	۰/۹۷۳	۰/۹۷۵	۰/۶۴۱	۱	۰/۴۴۵
سازمان‌های مردم‌نهاد	۰/۹۷۳	۰/۹۷۵	۱	-	-

با توجه به اینکه مقادیر آلفای کرونباخ، ضریب پایایی و میانگین واریانس در بازه قابل قبول قرار گرفته‌اند، بنابراین وضعیت مدل از این نظر تأیید می‌شود. در آماره R^2 و Q^2 توان متغیرهای وابسته در پیش‌بینی تاب‌آوری اجتماعی سنجیده می‌شود که نشان می‌دهد مسئولیت اجتماعی بیشترین توان را در پیش‌بینی تاب‌آوری اجتماعی دارد. سپس در روایی همگرا به روش فورنل و لارکر، یک مؤلفه در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها، باید امتیاز بیشتری داشته باشد تا بتوان بیان کرد که مؤلفه موردنظر روایی همگرایی بالایی دارد؛ بنابراین با توجه به **جدول ۲**، همه‌ی متغیرهای ضریب قابل قبولی دارند.

در روایی واگرا به روش بارهای عاملی متقابل؛ طبق نتایج حاصل از **جدول ۳** میزان همبستگی سؤال‌های یک متغیر با متغیرهای دیگر را بررسی می‌کند که با اعداد رنگی نمایش داده شده است؛ که از میان همبستگی سؤال‌ها با متغیر خود بیشتر از سایر مؤلفه‌ها می‌باشد، که این نشان دهنده‌ی روایی واگرایی مناسب مدل است.



شکل ۵- مقادیر آماره‌ی T

بر اساس ضرایب آماره‌ی T سطح خطای نتایج سنجیده می‌شود که در مدل بیشتر از قدر مطلق ۱/۶۹، بدین نشان می‌باشد که این مدل با ۹۵ درصد اطمینان، روابط معناداری دارد؛ و در جدول ۴ ضرایب تأثیر بیان شده‌اند که بیشترین و کمترین تأثیر بر تاب‌آوری اجتماعی متعلق به فضاهای آموزش‌دهنده و مسئولیت اجتماعی می‌باشد.

$$GOF = \sqrt{\text{Communalities} \times R^2}$$

در نهایت برای اعتبار سنجی مدل از معیار GOF استفاده شد. این شاخص عددی بین بازه صفر تا یک است که هرچه به ۰/۳۶ نزدیک‌تر باشد بیانگر اعتبار و کیفیت بالاتر مدل است؛ که برای این پژوهش مقدار GOF برابر با ۰/۶۹۱ به دست آمد که بیانگر اعتبار و کیفیت بالای مدل می‌باشد.

جدول ۴- آزمون T و گویه‌ها تاب‌آوری اجتماعی و سازمان‌های مردم‌نهاد

آگاهی نسبت به خطر	توانمندسازی افراد	ارتقاء کیفیت محیط	فضاهای آموزش‌دهنده	مسئولیت اجتماعی	مشارکت اجتماعی	ارائه تجارب داوطلبانه
۰/۸۶۸	۰/۸۷۹	۰/۷۲۲	۰/۶۶۳	۰/۸۹۰	۰/۸۵۰	۰/۷۴۶
افزایش سرمایه اجتماعی	آموزش	اعتماد	مخاطبیت	قدرت	نگرش	
۰/۷۵۳	۰/۷۴۹	۰/۸۷۹	۰/۸۲۱	۰/۸۴۳	۰/۸۶۵	

در جدول ۵ نتایج آزمون T دو نمونه‌ای در دو گروه خبرگان مسائل شهری و سازمان‌های مردم‌نهاد، نشان می‌دهد گویه‌های همه‌ی ابعاد در سطح مطلوب ($p < 0/05$) قرار گرفته‌اند. ساخت ظرفیت محلی هم در سطح مطلوبی قرار دارد ($p < 0/05$) ولی گویه ی q34 در سطح نامطلوب ($p < 0/05$) قرار دارد ولی در کران بالا و پایین تفاوتی در میانگین دو گروه وجود ندارد. در انتها فرضیه‌ی پژوهش که وجود تفاوت در پاسخگویی در دو گروه جامعه‌ی آماری پژوهش را بیان می‌کرد رد شد؛ چراکه واریانس دو گروه با هم برابر است و تفاوتی در پاسخ دو گروه به متغیرها نشان داده نشده است. در نتیجه پاسخ دو جامعه‌ی آماری خبرگان شهرسازی و سازمان‌های مردم‌نهاد در سنجش نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش تاب‌آوری اجتماعی پس از بحران سیل یکسان نشان داده شده است.

جدول ۵- تفاوت میانگین، آزمون T و سطح معناداری

ابعاد	گویه ها	تفاوت میانگین	T	معناداری	مقادیر فاصله در سطح ۹۵ درصد	
					کران بالا	کران پایین
فضاهای آموزش‌دهنده	q1	-۰/۲۲۳	-۰/۵۹۱	۰/۶۷۷	-۰/۹۸۰	۰/۵۳۵
	q2	-۰/۱۵۵	-۰/۴۳۸	۰/۷۶۰	-۰/۸۶۵	۰/۵۵۶
	q3	۰/۰۹۰	۰/۲۷۵	۰/۷۳۳	-۰/۵۷۱	۰/۷۵۲
ارتقاء کیفیت محیط	q4	-۰/۲۳۸	-۰/۶۸۷	۰/۱۲۰	-۰/۹۳۶	۰/۴۶۰
	q5	۰/۳۰۸	۰/۸۵۱	۰/۳۳۲	-۰/۴۲۱	۱/۰۳۶
	q6	۰/۱۶۲	۰/۵۴۰	۰/۹۳۰	-۰/۴۴۲	۰/۷۶۵
نگرش	q7	۰/۰۷۸	۰/۲۵۱	۰/۹۴۳	-۰/۵۵۰	۰/۷۰۷
	q8	۰/۴۳۳	۱/۳۳۴	۱/۰۰۰	-۰/۲۲۰	۱/۰۸۶
	q9	-۰/۲۱۲	-۰/۷۳۹	۰/۱۲۸	-۰/۷۹۰	۰/۳۶۵
مسئولیت اجتماعی	q10	۰/۵۶۳	۱/۷۵۰	۰/۳۷۸	-۰/۰۸۵	۱/۲۱۲
	q11	-۰/۲۱۲	-۰/۶۸۲	۰/۹۱۵	-۰/۸۳۹	۰/۴۱۴
	q12	۰/۱۴۸	۰/۴۹۵	۰/۷۴۶	-۰/۴۵۴	۰/۷۴۹
آگاهی نسبت به خطر	q13	۰/۳۲۳	۰/۹۶۵	۰/۵۹۱	-۰/۳۵۱	۰/۹۹۸
	q14	-۰/۰۲۱	-۰/۰۶۶	۰/۴۶۷	-۰/۶۶۲	۰/۶۲۰
	q15	۰/۰۳۰	۰/۰۸۷	۰/۵۰۰	-۰/۶۵۳	۰/۰۷۱۲
اعتماد	q16	۰/۴۸۹	۱/۸۱۱	۰/۹۳۲	-۰/۰۵۴	۱/۰۳۲
	q17	۰/۲۷۵	۰/۸۵۴	۰/۶۷۷	-۰/۳۷۳	۰/۹۲۲
	q18	۰/۲۷۱	۰/۹۸۱	۰/۴۰۴	-۰/۲۸۵	۰/۸۲۸
مشارکت اجتماعی	q19	۰/۴۱۶	۱/۵۰۷	۰/۹۲۲	-۰/۱۳۹	۰/۹۷۱
	q20	۰/۲۱۷	۰/۷۵۳	۰/۶۵۴	-۰/۳۶۴	۰/۷۹۸
	q21	۰/۰۸۰	۰/۲۶۱	۰/۳۴۴	-۰/۵۳۷	۰/۶۹۷
توانمندسازی افراد	q22	۰/۱۴۶	۰/۴۷۲	۰/۱۱۰	-۰/۴۷۷	۰/۷۶۹
	q23	۰/۳۳۷	۱/۱۶۱	۰/۴۳۴	-۰/۲۴۸	۰/۹۲۲
	q24	۰/۳۲۹	۱/۰۲۶	۰/۴۳۴	-۰/۳۱۶	۰/۹۷۳
	q25	۰/۰۱۷	۰/۰۵۰	۰/۴۰۱	-۰/۶۷۹	۰/۷۱۴

ابعاد	گویه‌ها	تفاوت میانگین	T	معناداری	مقادیر فاصله در سطح ۹۵ درصد	
					کران بالا	کران پایین
آموزش	q26	۰/۲۰۰	۰/۶۰۶	۰/۶۰۳	-۰/۴۶۴	۰/۸۶۴
	q27	۰/۳۸۳	۱/۲۲۳	۰/۸۰۶	-۰/۲۴۷	۱/۰۱۲
	q28	۰/۱۰۰	۰/۳۰۰	۰/۱۸۷	-۰/۵۷۰	۰/۷۶۹
قدرت	q29	۰/۱۵۱	۰/۴۷۴	۰/۹۵۸	-۰/۴۹۱	۰/۷۹۳
	q30	۰/۴۴۲	۱/۴۴۴	۰/۱۷۶	-۰/۱۷۴	۱/۰۵۸
	q31	۰/۴۷۷	۱/۵۶۳	۰/۷۴۳	-۰/۱۳۷	۱/۰۹۰
خلاقیت	q32	۰/۵۱۰	۱/۷۵۷	۰/۰۹۴	-۰/۰۷۴	۱/۰۹۳
	q33	۰/۴۵۹	۱/۵۶۴	۰/۲۰۴	-۰/۱۳۲	۱/۰۵۰
	q34	۰/۲۳۱	۰/۷۶۲	۰/۰۲۷	-۰/۳۸۰	۰/۸۴۳
ساخت ظرفیت محلی	q35	۰/۰۱۷	۰/۰۵۳	۰/۱۴۹	-۰/۶۴۶	۱/۶۸۱
	q36	۰/۳۱۸	۰/۹۸۹	۰/۴۳۰	-۰/۳۳۰	۰/۹۶۶
	q37	۰/۳۵۱	۱/۲۹۷	۰/۰۹۸	-۰/۱۹۴	۰/۸۹۷
افزایش سرمایه اجتماعی	q38	۰/۴۸۷	۱/۳۶۸	۰/۶۳۱	-۰/۲۳۰	۱/۲۰۳
	q39	۰/۸۳۱	۲/۴۴۶	۰/۶۲۱	۰/۱۴۷	۱/۵۱۵
	q40	۰/۵۰۴	۱/۳۵۰	۰/۷۸۰	-۰/۲۴۷	۱/۲۵۶
تقویت شایستگی جامعه	q41	۰/۹۹۱	۲/۷۳۵	۰/۵۰۱	۰/۲۶۱	۱/۷۲۲
	q42	۰/۰۴۳	۰/۱۷۸	۰/۶۸۴	-۰/۴۴۹	۰/۵۳۶
	q43	۰/۶۳۳	۲/۰۴۴	۰/۸۷۹	۰/۰۱۰	۱/۲۵۷
ارائه تجارب داوطلبانه	q44	۰/۳۹۱	۱/۱۱۸	۰/۱۴۷	-۰/۳۱۳	۱/۱۰۱
	q45	-۰/۰۴۲	-۰/۱۲۶	۰/۵۳۱	-۰/۷۰۹	۰/۶۲۶

۴- جمع‌بندی

سازمان‌های مردم‌نهاد در بحران‌های طبیعی، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند ولی این موضوع که این سازمان‌ها، تا چه حد می‌توانند در راستای ارتقای تاب‌آوری اجتماعی مؤثر باشند، در این پژوهش مورد توجه بوده است. پژوهش‌های پیشین نقش سازمان‌های مردم‌نهاد در ساخت جامعه تاب آور را از طریق اقداماتی مانند تقسیم مسئولیت اجتماعی، افزایش آگاهی عمومی، افزایش سرمایه اجتماعی، تقویت شایستگی جامعه و غیره اشاره کرده‌اند. مدل مورد نظر پژوهش از نظر آلفای کرونباخ، ضریب پلایی و میانگین واریانس در بازه مورد قبول قرار گرفته است. از نظر روایی همگرایی بالایی برخوردار است و در نهایت در آماره‌ی T مدل با ۹۵ درصد اطمینان دارای روابط معناداری می‌باشد. نتایج این پژوهش ضمن تصدیق پژوهش‌های پیشین، مؤلفه‌های مسئولیت اجتماعی (۰/۸۹۰)، اعتماد (۰/۸۷۹)، توانمندسازی افراد (۰/۸۷۹) بیشترین و فضاهای آموزش‌دهنده (۰/۶۶۳)، ارتقاء کیفیت محیط (۰/۷۲۲) و ارائه تجارب داوطلبانه (۰/۷۴۶)، کمترین امتیاز را در مواجهه با تاب‌آوری به دست آورده‌اند. نتایج این

پژوهش نشان داد که سازمان‌های مردم‌نهاد با ایجاد و بهبود فضاهای آموزش‌دهنده، ارتقاء کیفیت محیط و ارائه تجارب داوطلبانه می‌توانند در افزایش تاب‌آوری اجتماعی مردم، مؤثر باشند؛ و در مواجهه و امداد رسانی بحران، این ارکان در اولویت بالاتری قرار گیرد. چراکه افزایش فضاهای آموزشی می‌تواند به ارتقاء سایر مؤلفه‌ها مانند کیفیت محیط، بستری برای ارائه تجارب، سرمایه اجتماعی و شایستگی اجتماعی بیانجامد. علاوه بر این نتایج حاصل از آزمون t نشان داد ابعاد مورد نظر پژوهش در سطح مطلوبی ($p < 0/05$) قرار دارند و تفاوتی در پاسخ دو جامعه آماری پژوهش که شامل خبرگان مسائل شهری و سازمان‌های مردم‌نهاد بود یافت نشد.

نتایج این پژوهش در راستای پژوهش‌های پیشین عمل کرده است. با این وجود لازم به ذکر است **پرتویی و همکاران (۱۳۹۵)** در نتایج پژوهش خود علاوه بر ارتقای فضاهای آموزش‌دهنده، به ارتقای هویت، انعطاف‌پذیری، همه‌شمولی و تعاملات اجتماعی در طراحی محلات، جهت ارتقای تاب‌آوری اجتماعی اشاره کردند. یا حتی در نتایج پژوهش **بسطامی نیا و همکاران (۱۳۹۷)** به ضرورت توجه به تاب‌آوری اجتماعی در جهت ایجاد نهادهایی که رفاه فردی و نیروی اجتماعی پایدار در بحران‌های حال و آینده را پرورش دهند، اشاره شد. علاوه بر این، می‌توان با افزایش کیفیت محیط که از نتایج این مطالعه حاصل شده است، کمبود حس تعلق مکانی که در پژوهش **رضویان و همکاران (۱۳۹۶)** به عنوان مهم‌ترین عامل در وضعیت نابسامان تاب‌آوری اجتماعی در مواجهه با سوانح شناسایی شده بود هم پاسخ داده شود؛ و در انتها همان‌طوری که **فیت پاتریک و مولی (۲۰۱۴)** اشاره کردند، این امکان را ایجاد می‌کند تا سمن‌ها در هر دو پیامد بازیابی و کاهش خطر در جهت ساخت جامعه‌ی پایدار تاب آور مؤثر عمل کنند.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌هایی در این زمینه به منظور بازیابی و کاهش خطر و برای افزایش تاب‌آوری اجتماعی بهتر است موارد زیر در نظر گرفته شوند؛

- استفاده از تجارب سازمان‌های مردم‌نهاد در مواجهه با بحران
- افزایش توانایی مردم به منظور مواجهه با بحران به کمک آموزش‌های عمومی
- افزایش گستره‌ی عمل سمن‌ها به منظور مقابله و غلبه با چالش‌های ناشی از بحران
- افزایش دامنه اختیارات سازمان‌های مردم‌نهاد به منظور کمک‌رسانی در بحران
- افزایش ظرفیت و توانایی سمن‌ها برای استفاده از تجارب گذشته
- اختصاص دادن بودجه‌ای به منظور ارتقای مهارت کارآمدی اعضای سمن‌ها در مواجهه با بحران
- تقویت نقش رسانه‌ها در گسترش آگاهی‌رسانی به مردم در مواجهه با بحران
- توجه به نقش توسعه فناوری و اطلاعات در کاهش بلاای طبیعی
- افزایش هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای رسمی برای همکاری در شرایط بحران
- به رسمیت شناختن سمن‌ها توسط رسانه‌های اجتماعی

- ایجاد ظرفیت‌های رهبری در سمن‌ها، برای مدیریت و امدادسانی منظم در شرایط بحران

قدردانی و تشکر

با تشکر از سازمان‌های مردم‌نهادی که در فرایند این پژوهش کمک کردند از جمله؛ انجمن هنارس، آواخت، ستین، رافا، انجمن‌های دوستدار محیط‌زیست و منابع طبیعی پلدختر و انجمن مدافعان تالاب‌های پلدختر که نقش مهمی را در امدادسانی سیل پلدختر ایفا کردند.

کتابنامه

افضلی، رسول؛ ایرانخوان، احمد و حسن مؤمنی؛ ۱۳۹۷. بررسی نقش سمن‌ها در پیشگیری از آسیب‌های اجتماعی، مورد مطالعه: شهر تهران. جغرافیا و روابط انسانی (۱) ۱. ۵۶۹-۵۹۲.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26453851.1397.1.1.34.5>

بذر افشان، جواد؛ طولابی‌نژاد، مهرشاد؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ ۱۳۹۷. تحلیل فضایی تفاوت تاب‌آوری در نواحی شهری و روستایی در برابر مخاطرات طبیعی (مورد مطالعه: شهرستان پلدختر). فصلنامه پژوهش‌های روستایی ۹(۱). ۱۱۶-۱۳۵.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087373.1397.9.1.8.3>

بسطامی‌نیا، امیر؛ رضائی، محمدرضا؛ سرائی، محمد حسین؛ ۱۳۹۷. تبیین و تحلیل تاب‌آوری اجتماعی برای مقابله با سوانح طبیعی. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران ۸(۳). ۲۰-۲۲۴.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225955.1397.8.3.3.9>

پرتوی، پروین؛ بهزادفر، مصطفی؛ شیرانی، زهرا (۱۳۹۵). طراحی شهری و تاب‌آوری اجتماعی، بررسی موردی: محله جلفا اصفهان. فصلنامه دانشگاه هنر شماره ۱۷ (۹۵). ۹۹-۱۱۶.

<https://www.doi.org/10.30480/aup.2016.323>

حبیبی، آرش؛ عدن‌ور، مریم؛ ۱۳۹۶. مدل‌یابی معادلات ساختاری و تحلیل عاملی، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی، ویرایش ششم.

حسن‌خان، فائزه؛ ۱۳۹۷. طراحی شهری تاب‌آور در برابر سیل-مورد شهر تهران. پایان‌نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه طراحی و برنامه‌ریزی مجتمع زیستی رشته طراحی شهری.

https://centlibrary.sbu.ac.ir/faces/search/fulltext/fulltextFullView.jspx?_afPfm=10igr7x947#

دلاکه، حسن؛ ثمره محسن بیگی، حسین؛ شاه‌یوندی، احمد؛ ۱۳۹۶. سنجش میزان تاب‌آوری اجتماعی در مناطق شهری اصفهان. جامعه‌شناسی نهادهای اجتماعی، ۴(۹)، ۲۲۷-۲۵۲.

<https://doi.org/10.22080/ssi.2017.1565>

دماری، بهزاد؛ حیدرنیا، محمد علی؛ رهبری بناب، مریم؛ ۱۳۹۳. نقش و عملکرد سازمان‌های مردم‌نهاد در حفظ و ارتقای سلامت جامعه. پایش (۵) ۱۳. ۵۵۰-۵۴۱. <https://sid.ir/paper/23223/fa>

رازقی، نادر؛ لطفی خاچکی، بهنام؛ ۱۳۹۷. تحلیل جامعه‌شناختی چالش‌های بقا و پایداری سازمان‌های مردم‌نهاد فعال در حوزه آسیب‌های اجتماعی؛ با تأکید بر رابطه آن‌ها با دولت. جامعه‌شناسی نهادهای اجتماعی، ۵(۱۱)، ۹۷-۱۲۸.

<https://doi.org/10.22080/ssi.2018.1910>

رضویان، محمد تقی؛ توکلی نیا، جمیله؛ فرزاد بهتاش، محمدرضا و مصطفی خزایی؛ ۱۳۹۶. تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی بافت فرسوده منطقه ۱۲ شهر تهران در مواجهه با سوانح طبیعی. مدیریت سرمایه اجتماعی (۴)، ۴(۱۲) -۵۹۵.

<https://sid.ir/paper/266926/fa>

سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان. معرفی استان، <http://www.lsrw.ir/st/73>

سام آرام، عزت‌الله؛ منصوری، سمانه؛ ۱۳۹۶. تبیین و بررسی مفهوم تاب‌آوری اجتماعی و ارزیابی تحلیلی شاخص‌های اندازه‌گیری آن. فصلنامه برنامه ریزی رفاه و توسعه اجتماعی، ۸(۳۲)، ۱-۳۱.

<https://doi.org/10.22054/qjds.2017.8424>

شفیعی، سلیمان؛ زارع، امین؛ بابلی، کوروش؛ ۱۴۰۰. طراحی فرایند مدیریت دانش دین بنیان با استفاده از مدل‌یابی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی، دوفصلنامه علمی- ترویجی مدیریت دانش اسلامی، ۲(۵)، صص ۱۲۵-۱۵۹.

<https://doi.org/10.22081/jikm.2021.61582.1062>

عباداله‌زاده ملکی، شهرام، خانلو، نسیم، زیاری، کرامت‌الله، و شالی امینی، وحید؛ ۱۳۹۶. سنجش و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی جهت مقابله با بحران‌های طبیعی؛ مطالعه موردی: زلزله در محلات تاریخی شهر اردبیل. مدیریت شهری، ۱۶(۳) (پیاپی ۴۸)، ۲۶۳-۲۷۹.

<https://sid.ir/paper/92303/fa>

غضنفرپور، حسین؛ صداقت کیش، مرضیه؛ سلیمانی دامنه، مجتبی؛ صباحی گراغانی، یاسر؛ ۱۳۹۸. سنجش واکنش مدیران شهری در رویارویی با مخاطرات سیل با تأکید بر تاب‌آوری، مطالعه موردی شهر جیرفت. جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۰، ۱۰۷-۱۲۷.

<https://doi.org/10.22126/ges.2019.1066>

فرزاد بهتاش، محمدرضا؛ کی نژاد، محمدعلی؛ پیربابایی، محمدتقی و علی عسگری؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری کلانشهر تبریز. نشریه هنرهای زیبا (۳)، ۱۸، ۴۲-۳۳.

<https://doi.org/10.22059/jfaup.2013.51316>

کیخا، زهرا؛ بذرافشان، جواد؛ قنبری، سیروس؛ کیخا، عالمه؛ ۱۳۹۹. تحلیل فضایی میزان برخورداری جامعه محلی از شاخص‌های اجتماعی مؤثر در تاب‌آوری در برابر مخاطرات محیطی نمونه مطالعاتی: روستاهای منطقه سیستان.

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی (۷)، ۴(۷)، ۱۰۴-۸۹. <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.7.4.28.89>

گزارش ملی سیلاب‌ها؛ ۱۳۹۸. گزارش نهایی، کارگروه زیرساخت‌ها.

<https://nfr.ut.ac.ir/file/download/page/1618667824-infrastructure-working-group.pdf>

منوریان، عباس؛ امیری، مجتبی؛ مهری‌کلی، سیمین؛ ۱۳۹۷. شناسایی مؤلفه‌های اثرگذار بر افزایش میزان تاب‌آوری اجتماعی محلات آسیب‌پذیر و دارای بافت فرسوده در مواجهه با حوادث طبیعی. فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، ۱۰(۳۴)، ۲۶-۱۳.

https://ums.srbiau.ac.ir/article_13165_6a7a401254a5dd70d9f2738a8f812bd9.pdf

میراسدالهی شمسی سادات، متولی صدرالدین، جانبازقبادی غلامرضا؛ ۱۳۹۹. تحلیل تاب‌آوری سکونتگاه‌های شهری در برابر سیلاب با تأکید بر شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی (مطالعه موردی: شهر گرگان). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (۵۹) ۲۰. ۱۵۵-۱۳۷.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1399.20.59.11.8>

همتی نژاد، هادی؛ رنجبر، مقصود؛ عسگری، مهدی و سید وحید حسینی؛ ۱۳۹۷. بررسی نقش سازمان‌های غیردولتی در افزایش سرمایه اجتماعی و تأثیر آن بر توسعه در ایران (مورد مطالعه: استان قم). سپهر سیاست (۱۶) ۵. ۱۸۸-۱۶۳.

https://se.qom.iau.ir/article_543903_82eae52e220e78386151f8f5f32e8da7.pdf

- Alshehri, SA, Rezgui Y, Li H., 2015. Disaster community resilience assessment method: a consensus-based Delphi and AHP approach. *Nat Hazards* 78. 395-416.
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1719-5>
- Copeland, S., Comes, T., Bach, S., Nagenborg, M., Schulte, Y., & Doorn, N., 2020. Measuring social resilience: Trade-offs, challenges and opportunities for indicator models in transforming societies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101799.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101799>
- Fitzpatrick; Tal, Molly; Julie. 2014. The role of NGOs in building sustainable community resilience: international journal of disaster resilience in the built environment environment vol.5no, Pp292-302. <http://dx.doi.org/10.1108/IJDRBE-01-2014-0008>
- Kabir, M. H., Sato, M., Habbiba, U., & Yousuf, T. B., 2018. Assessment of urban disaster resilience in Dhaka North City Corporation (DNCC), Bangladesh. *Procedia engineering*, 212, 1107-1114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.143>
- Maguire B & Hagan P., 2007. Disasters and communities: understanding social resilience. *Emergency Management*. 16-20.
<file:///C:/Users/negin/Downloads/MaguireHaganAJEMDisastersandCommunities2007.pdf>
- Saja, A. A., Teo, M., Goonetilleke, A., & Ziyath, A. M., 2021. Assessing social resilience in disaster management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 52, 101957.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101957>
- Shahpari Sani, D., Heidari, M. T., Tahmasebi Mogaddam, H., Nadizadeh Shorabeh, S., Yousefvand, S., Karpour, A., & Jokar Arsanjani, J., 2022. An Assessment of Social Resilience against Natural Hazards through Multi-Criteria Decision Making in Geographical Setting: A Case Study of Sarpol-e Zahab, Iran. *Sustainability*, 14(14), 8304.
<https://doi.org/10.3390/su14148304>



Assessment of Urban Resilience using an Objective and Subjective Approach during Hurricane Harvey

Samane Kelidari^a, Abolghasem Sadeghi-Niaraki^{b*}, Mostafa Ghodousi^c

^a MA Student in Geoinformation Technology Center of Excellence, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

^b Professor in Geoinformation Technology Center of Excellence, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

^c PhD Candidate in Geoinformation Technology Center of Excellence, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Received: 20 June 2022

Revised: 22 July 2022

Accepted: 12 September 2022

Abstract

The sustainable form of cities has been considered since the formation of first cities, but with the increasing exposure of cities to uncertainties such as natural disasters, climate change, drought crises, and energy crises, this stability is disrupted. The resilient and stable form of cities has achieved a special importance and this concept has been considered by many researchers. Urban resilience is a multidimensional concept that is measured using both objective and subjective approaches. This study calculates Texas urban resilience using both objective and subjective approaches during Hurricane Harvey 2017 to provide an overview of the actual situation and public perception, respectively, and to examine the relationship between the two approaches. In the objective approach of the research, by integrating social, economic, infrastructural, organizational indicators with a certain weight, it was extracted by DANP method and cities were ranked by TOPSIS method. The DANP method used the opinions of experts, which had a high reliability. In the subjective approach, the Twitter data were used and the ratio index was used. The results of the objective approach indicated that the most resilient cities were Harris, Austin, Fort Bend, Galveston, Brazoria, Chambers, Rockwall and the least resilient cities were Moore, Presidio, Dimmit, Starr, Jasper, Camron, and Kennedy. A total of 24 cities were selected to compare resilience changes in the two approaches, as these cities had more than 50 Twitter messages and were facing direct threats from Hurricane Harvey. The results showed that the correlation coefficient between the two approaches in these cities was 0.708. There was a strong positive relationship between the two approaches, which means that cities that in terms of resilience were at a higher level, shared more Twitter messages when faced with a crisis. The knowledge gained from this study can provide valuable insights into strategies for using social media data to increase resilience to natural disasters.

Keywords: Urban Resilience, Objective Approach, Subjective Approach, MCDM Methods, Social Network

*.Corresponding author: Abolghasem Sadeghi-Niaraki E-mail: a.sadeqi313@gmail.com Tel: +989123135311

How to cite this Article: Kelidari, S., Sadeghi-Niaraki, A., & Ghodousi, M. (2023). Assessment of urban resilience using an objective and subjective approach during hurricane harvey. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 251-266.

DOI:10.22067/geoeh.2022.74306.1146



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023


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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74306.1146> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۶۶-۲۵۱
مقاله پژوهشی

ارزیابی تاب‌آوری شهری با استفاده از رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey

سمانه کلیدری- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

 ابوالقاسم صادقی نیارکی^۱- استاد گروه مهندسی GIS دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
مصطفی قدوسی - دانشجوی دکترای سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۳۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۲۱

چکیده

فرم پایدار شهرها از زمان شکل‌گیری اولین شهرها مدنظر بوده است؛ اما با مواجه شدن روزافزون شهرها با عدم قطعیت‌ها از جمله بلایای طبیعی، تغییر آب‌وهوا، بحران‌های خشکسالی، بحران انرژی و ... این پایداری مختل می‌شود. زین سبب دستیابی به فرم تاب‌آور و پایدار شهرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و این مفهوم مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. تاب‌آوری شهری مفهومی چند بعدی است که با استفاده از دو رویکرد عینی و ذهنی اندازه‌گیری می‌شود. این تحقیق به محاسبه تاب‌آوری شهری ایالت تگزاس به دو رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey ۲۰۱۷ می‌پردازد تا به ترتیب نمایشی از شرایط واقعی و ادراک مردم ارائه دهد و رابطه میان دو رویکرد را بررسی کند. در بخش عینی تحقیق، با ادغام شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی، سازمانی با نسبت معین به روش DANP استخراج و به روش TOPSIS وزن‌دهی می‌شود. در روش DANP از نظرات کارشناسان استفاده شده که از پایایی بالایی برخوردار است. در بخش ذهنی از مجموعه داده‌های توپوستر استفاده می‌شود و شاخص نسبت بکار

Email: asadeqi313@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۱۳۵۳۱۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

کلیدری، سمانه؛ صادقی نیارکی، ابوالقاسم؛ قدوسی، مصطفی؛ ۱۴۰۲. ارزیابی تاب‌آوری شهری با استفاده از رویکرد عینی و ذهنی در طول طوفان Harvey. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲)، صص ۲۶۶-۲۵۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74306.1146>

گرفته می‌شود. نتایج رویکرد عینی حاکی از آن است که تاب‌آورترین شهرها عبارتند از Austin, Harris, Fort Bend, Brazoria, Chambers و شهرهایی با کمترین تاب‌آوری عبارتند از Moore, Presidio, Dimmit, Starr, Jasper, Camron است. به‌منظور مقایسه تغییرات تاب‌آوری در دو رویکرد در مجموع ۲۴ شهرستان انتخاب شدند، زیرا این شهرها بیش از ۵۰ پیام پس‌زمینه توییت‌ر داشتند و با تهدیدات مستقیم طوفان Harvey مواجه بودند. با توجه به نتایج به دست آمده ضریب همبستگی میان دو رویکرد در این شهرها ۰.۷۰۸ حاصل شد که اصطلاحاً گفته می‌شود رابطه قوی و مستقیم بین دو به دوی رویکردها وجود دارد و به معنی آن است که شهرهایی که از نظر تاب‌آوری در رده‌های بالاتری قرار دارند، به هنگام مواجهه با بحران مشارکت بالایی در توییت‌ر دارند. نتایج دو رویکرد عینی و ذهنی در مناطقی شرقی و نزدیکی اقیانوس اطلس که در مواجهه مستقیم طوفان قرار داشتند هم‌راستا بوده است و هر چه به سمت غرب تگزاس می‌رویم از هم سو بودن این دو رویکرد کاسته می‌شود. دانش بدست‌آمده از این مطالعه می‌تواند بینش ارزشمندی را در استراتژی‌هایی برای استفاده از داده‌های شبکه‌های اجتماعی برای افزایش تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی فراهم کند و در بلایای مختلف نیز استفاده شود و نتایج برای سایر بلایا ارزیابی گردد.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری شهری، رویکرد عینی، رویکرد ذهنی، روش‌های MCDM، آنالیز نسبت.

۱- مقدمه

تاب‌آوری شهری ایجاد چارچوبی برای افزایش آمادگی، واکنش و پاسخ، بهبودی و انطباق‌پذیری موفقیت‌آمیز با رویدادهای فاجعه‌بار در سطح جامعه در کوتاه‌مدت و سازگاری با تغییرات ایجاد شده در بلندمدت تعریف می‌شود (سای^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ زو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). از این‌رو ظرفیت تاب‌آوری یک منطقه را می‌توان به‌عنوان توانایی آن منطقه برای پاسخگویی و بازیابی از یک بحران با به حداقل رساندن تأثیرات احتمالی و بازگشت به حالت طبیعی تعریف کرد. ظرفیت تاب‌آوری شهری به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله این عوامل می‌توان شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی، سازمانی و ... آن جامعه را نام برد. جوامعی با شاخص‌های متفاوت سطح تاب‌آوری متفاوتی در مقابل بلایا نشان می‌دهند (زو و همکاران، ۲۰۱۹؛ رنچلر^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین تاب‌آوری شهری مفهومی چند بعدی است که منجر به دیدگاه‌های مختلفی در تعریف و نحوه اندازه‌گیری آن شده است، رویکرد عینی و ذهنی دو روش اندازه‌گیری تاب‌آوری است. در رویکرد عینی از داده‌های سرشماری و آژانس‌های تحقیقاتی و ... که در فواصل زمانی منظم جمع‌آوری شده‌اند استفاده می‌کند، رویکرد ذهنی از ابعاد درونی و ذهنی وابسته به تصورات و ادراک فرد از محیط استفاده می‌کند. استخراج شاخص‌ها در رویکرد عینی چالش‌برانگیز است؛ زیرا جمع‌آوری

1 Cai et al.

2 Zou et al.

3 Renschler et al.

شاخص‌های آماری به‌منظور جلوگیری از سوءاستفاده‌ها محدود شده یا استخراج این شاخص‌ها پرهزینه و وقت‌گیر است (کرمی و همکاران، ۲۰۲۰).

امروزه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و فناوری‌های جدید اطلاعات و ارتباطات، استفاده از وسایل ارتباطی به‌طور قابل‌توجهی در حال رشد است و این رشد سبب می‌شود روز به روز وسایل ارتباطی بیشتر در دسترس جامعه قرار گیرند و فضای ارتباطی جدیدی را ایجاد کنند که امکان ارتباط فعال بین فرستنده و گیرنده را فراهم می‌کند (مارتینز^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان شبکه‌های اجتماعی نماد از این ابزار ارتباطی است که به‌سرعت در حال تغییر است و برای طیف گسترده‌ای از کاربردها نظیر تجارت، سیاست و سلامت و مدیریت بحران ... استفاده شده است (زو و همکاران، ۲۰۱۹). شبکه‌های اجتماعی قابلیت انتشار هرگونه محتوایی در هر زمان و موقعیتی حتی در شرایط بحرانی برای کاربران فراهم می‌کنند و آگاهی و پاسخ به بلایا برای مدیریت بحران که جز ارکان حیاتی است به‌روشنی در شبکه‌های اجتماعی دیده می‌شود، این امر سبب می‌شود افرادی با آگاهی بالاتر و واکنش‌های فعال‌تر در مواجهه با موقعیت‌های خاص و حساس باشند که خود امر مفیدی جهت کاهش اثرات است (کرمی و همکاران، ۲۰۲۰). از سویی دیگر با مطالعه و تجزیه و تحلیل اطلاعات منتشر یافته، می‌توان رفتار انسان‌ها را در طول یک رویداد شناسایی کرد. بنابراین شبکه‌های اجتماعی فرصتی فراهم می‌کنند که می‌توان تهدیدهای ناشی از مخاطرات را شناخت و با ایجاد مکانیزمی آسیب‌های ناشی از بلایا را کاهش داد. با این حال شبکه‌های اجتماعی به‌عنوان یک منبع داده در حال ظهور، دسترسی به ابعاد ذهنی و درونی انسان را تحت شرایط اضطراری در زمان واقعی فراهم می‌کنند که با تجزیه و تحلیل نظرات افراد در شبکه‌های اجتماعی پتانسیل شناسایی اختلاف‌های هر جامعه، پاسخ و رفتارهای کاربران در طول بلایای طبیعی میسر می‌شود و استخراج اطلاعات از داده‌های وب سایت‌های ارتباط جمعی می‌تواند برای تخمین آسیب‌پذیری، کاهش نابرابری‌ها و افزایش تاب‌آوری جوامع مورد استفاده قرار گیرد (وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). اما استفاده از شبکه‌های اجتماعی به‌تنهایی نیز با چالش‌هایی روبرو است؛ چالش‌هایی نظیر درصد کم توییت‌های دارای موقعیت و یا دارای موقعیتی با مقیاس بزرگ، فعالیت بیشتر گروه‌های جمعیتی خاص و جوان‌تر و ... که سبب بایاس در نتایج و نتیجه‌گیری جانبدارانه می‌شود (زو و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین با مطالعه در مورد بلایای طبیعی با استفاده از رویکرد عینی و رویکرد جدید ذهنی؛ استفاده از داده شبکه‌های اجتماعی می‌توان به چالش‌های موجود در دو رویکرد مقابله کرد و هر دو رویکرد را به سمت بهبودی نتایج هدایت کرد. در این تحقیق به دنبال پاسخ به یک سؤال اساسی هستیم: آیا توییت می‌تواند مدل تاب‌آوری شهری که از رویکرد عینی حاصل می‌شود را برآورد و تصدیق کند؟ ما فرض می‌کنیم که مناطقی با تاب‌آوری بالاتر، میزان مشارکت بیشتری در توییت داشته‌اند، به این معنی که احتمال دسترسی آن‌ها به اطلاعات بلایا و دریافت پاسخ برای نجات بیشتر است. ما از داده‌های سستی جهت برآورد تاب‌آوری

1 Martinez et al.

2 Wang et al.

شهری استفاده می‌کنیم و نتایج حاصل شده را با داده‌های شبکه اجتماعی و شاخص داده‌کاوی پیام‌های تویتر مقایسه می‌کنیم. برای پردازش داده‌ها و محاسبه، از شاخص نسبت استفاده می‌کنیم.

تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی چالش بزرگ اجتماعی است و با توجه به اهمیت مفهوم تاب‌آوری، مطالعات متعددی در زمینه مدل‌سازی تاب‌آوری در سراسر جهان انجام شده است. برخی مطالعات، تنها بعدها عینی را مورد بررسی قرار داده تا تاب‌آوری شهری را ارزیابی کنند. قنبری و همکاران به ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه معابر شهری در برابر زلزله پرداختند. در این راستا معیارهای درجه محصوریت، تعداد گره‌ها، قوس معابر، فاصله از مراکز خطر، شیب، مقاومت خاک، گسل، کیفیت سازه در نظر گرفته شده است. نقشه کیفیت سازه‌ای از تلفیق ۴ نقشه کیفیت ابنیه، دانه‌بندی قطعات، عمر ساختمان و نوع مصالح با استفاده از درون‌یابی IDW به دست آمده است. وزن معیار با استفاده از مدل TOPSIS فازی مشخص شده و در محیط سیستم اطلاعات مکانی تلفیق شده‌اند (قنبری و همکاران، ۱۳۹۵).

معرب و همکاران به بررسی عوامل تأثیرگذار در میزان تاب‌آوری اقتصادی کاربری اراضی شهر و تعیین میزان اهمیت نقش هر یک از این عوامل در منطقه ۱ شهر تهران پرداختند. در این تحقیق از توابع فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و از روش TOPSIS جهت رتبه‌بندی استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد کاربری‌های تجاری بیشترین اهمیت و پس از آن معیار فعالیت اقتصادی، اشتغال و بیکار قرار داشته‌اند (معرب و همکاران، ۱۳۹۵). طهماسبی و همکاران چارچوبی ارائه دادند تا نحوه تاب‌آوری و پایداری طرح‌های زهکشی شهری را بررسی نمایند و این چارچوب از چندین شاخص که شامل جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی، محیطی و برنامه‌ریزی تشکیل شده است و از تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی شامل فرآیند Entropy، AHP و TOPSIS برای تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری و مقابله با عدم قطعیت‌ها استفاده کردند. این چارچوب ارائه‌شده اطلاعات جامعی در مورد رفتار طرح‌های زهکشی شهری علیه سیلاب‌های شهری و همچنین پایداری آن‌ها برای مدیران شهری فراهم می‌کند و شرایط پیچیده را تسهیل و تسریع می‌بخشد (بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸).

در برخی مطالعات از رویکردهای ذهنی و از دیدگاه افراد برای ارزیابی تاب‌آوری شهری مورد استفاده کرده‌اند، برخی موارد در ذیل بررسی شده‌اند. رضویان و همکاران تاب‌آوری اجتماعی بافت فرسوده منطقه ۱۲ شهر تهران را در مواجهه با سوانح طبیعی تحلیل و ارزیابی کردند. این تحقیق با سه مؤلفه آموزش شهروندی، مشارکت اجتماعی، و حس تعلق مکانی انجام شده و جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسش‌نامه و مشاهدات میدانی بوده است. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تی تک‌نمونه‌ای و مدل‌سازی معادلات ساختاری بهره گرفته است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که وضعیت تاب‌آوری اجتماعی منطقه ۱۲ در شرایط نامطلوبی قرار دارد و مؤلفه حس تعلق مکانی در این منطقه در وضعیت نابسامان‌تری است (رضویان و همکاران، ۱۳۹۶). طیبیان و همکاران به تاب‌آوری شهری منطقه ۸ شهر تهران پرداخته‌اند. در این تحقیق تاب‌آوری از دیدگاه کارشناسان بررسی شده است و از تحلیل

رگرسیون برای برقراری ارتباط بین تاب‌آوری شهری و ۶ شاخص در نظر گرفته شده استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که ۴۲ درصد از تغییرات تاب‌آوری با ۶ فاکتور در نظر گرفته شده قابل اندازه‌گیری است. همچنین از بین فاکتورها تاب‌آوری اجتماعی بیشترین همبستگی را با تاب‌آوری داشته است. نتایج حاکی از آن است که منطقه ۸ شهر تهران از تاب‌آوری پایینی برخوردار است (طیبیان و همکاران، ۲۰۱۶).

در برخی مطالعات از رویکردهای ذهنی و از شبکه‌های اجتماعی جهت ارزیابی تاب‌آوری شهری استفاده کرده‌اند. در این بخش به بررسی اجمالی این مطالعات می‌پردازیم. ریزا^۱ و همکاران نقش شبکه‌های اجتماعی را در واکنش به سیل سال ۲۰۱۱ در جنوا (ایتالیا) ناشی از سیلاب‌های ناگهانی در طی بارندگی‌های سیل‌آسا بررسی کردند. به این منظور با ایجاد صفحاتی در فیسبوک، فعالیت‌های نجات و بهبود را بازسازی کردند تا تاب‌آوری اجتماعی را افزایش دهند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که شبکه‌های اجتماعی جایگزین ارتباطات تلفنی بود که حین وقوع سیل از بین رفته بود و به‌عنوان ابزاری برای مقامات محلی و سازمان‌های اورژانسی، هشدارهای لازم را برای شهروندان منتشر می‌کردند و همچنین مقامات از وضع مردم نیز آگاه می‌شدند و گزارش‌های سیل به‌صورت بلادرنگ منتشر شدند. بر این اساس مشارکت ارتباطی بین شهروندان و مقامات دولتی سبب افزایش تاب‌آوری به هنگام وقوع سیل شد (ریزا و همکاران، ۲۰۱۴). ولنگ^۲ و همکاران رابطه بین استفاده از توییت و تاب‌آوری جامعه را در طول طوفان آیزاک که در اکتبر ۲۰۱۲ به لوئیزیانا و می‌سی‌سی‌پی رسید، بررسی کردند. نتایج این مطالعه از همبستگی قابل توجهی بین تراکم استفاده از توییت و شاخص‌های تاب‌آوری حکایت کرد که تأیید می‌کند که جوامع با ظرفیت تاب‌آوری بالاتر، که با شرایط اجتماعی بهتر مشخص می‌شوند، تمایل بیشتری به استفاده از توییت دارند و استفاده از توییت در هنگام بلا یا برای افزایش تاب‌آوری جوامع آسیب دیده نیز مفید است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). دسته سوم مطالعات شامل مواردی هستند که از دو رویکرد عینی و ذهنی توأماً استفاده شده است. شگری فیروزجاه به بررسی میزان تاب‌آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی پرداخته است. بدین منظور ۳۱ زیر شاخص در چهار بعد اجتماعی، اقتصادی، کالبدی، زیرساختی و نهادی در نظر گرفته است. در این تحقیق مذکور برای جمع‌آوری اطلاعات تعداد ۳۸۳ پرسش‌نامه بر اساس مدل کوکران به‌صورت تصادفی در میان جامعه آماری مورد مطالعه توزیع شده است. با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره VICOR مناطق مورد مطالعه سطح‌بندی و رتبه‌بندی شده‌اند و وزن معیار هر یک از شاخص‌ها با روش آنتروپی محاسبه شده است. نتایج تحقیق مذکور حاکی از آن است که در بین ابعاد مختلف تاب‌آوری شهری در مناطق ۱۲ گانه شهر بابل، ابعاد کالبدی و سپس اجتماعی وضعیت مناسب‌تری دارند (شگری فیروزجاه، ۱۳۹۶). کتوکسا و مالیک^۳ شاخصی برای ارزیابی تاب‌آوری محلات شهری در برابر شرایط

1 Rizza et al.

2 Wang et al

3 Kontokosta, & Malik

اضطراری و بلایا ارائه دادند. در این مطالعه از ۴ شاخص زیرساخت اجتماعی و اتصالات جوامع، زیرساخت فیزیکی، قدرت اقتصادی و شرایط محیطی استفاده شده است. برای اندازه‌گیری شاخص‌ها از روش عینی و داده‌های در دسترس عموم استفاده شده است و به‌منظور اعتبارسنجی شاخص ارائه شده از پایگاه داده سامانه ۳۱۱ استفاده شده است که شکایات مردم را قبل و حین و بعد از فاجعه ثبت نموده‌اند (کتوکسا و مالیک، ۲۰۱۸).

با وجود مطالعات گذشته در شبکه‌های اجتماعی، شکاف‌های ایجاد شده در استفاده از داده‌های مرتبط با فاجعه در شبکه‌های اجتماعی، بر مدیریت اورژانسی و ایجاد تاب‌آوری در برابر فاجعه تأثیرگذار است و به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. در این مطالعه نیز تاب‌آوری به دو رویکرد عینی و ذهنی تواما ارزیابی می‌شود و در رویکرد ذهنی از پیام‌های مشارکتی مردم در شبکه‌های اجتماعی استفاده می‌شود. این مطالعه با ایجاد چارچوبی از شاخص‌های استاندارد شده آماری و استفاده از شاخص نسبت در تویتتر این مسئله را مورد مطالعه قرار می‌دهد. این تحقیق از ۴ بخش تشکیل شده است، در بخش اول مقدمه گفته شد. در بخش دوم به بررسی منطقه مورد مطالعه و داده‌های استخراج شده پرداخته می‌شود و روش انجام تحقیق شرح داده می‌شود. در بخش سوم یافته‌ها و نتایج آن‌ها را مورد بحث و ارزیابی قرار می‌دهد. در نهایت، در بخش پایانی "جمع‌بندی و پیشنهادها" ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

گردباد Harvey یکی از طوفان‌های رده ۴ بود که در اگوست ۲۰۱۷ به تگزاس و لویزیانا رسید و منجر به جاری شدن سیل شد و بیش از ۱۰۰ کشته بر جای گذاشت. در وهله نخست ناشی از جاری شدن سیل در منطقه شهری هوستون و جنوب شرقی تگزاس شد. این اولین طوفان بزرگی بود که از زمان ویلما در سال ۲۰۰۵ به ایالات متحده رسید و به رکورد ۱۲ ساله‌ای پایان داد که طی آن هیچ طوفانی به‌شدت یک طوفان بزرگ در سراسر کشور به خشکی نرسیده بود. در یک دوره چهار روزه، بس یاری از مناطق بیش از ۴۰ اینچ باران دریافت کردند؛ زیرا Harvey به آرامی بر فراز شرق تگزاس و آب‌های مجاور پیچید و باعث سیل بی‌سابقه شد. Harvey با انباشت ۶۰.۵۸ اینچ، عنوان دومین طوفان پرهزینه در تاریخ آمریکا گرفت. این طوفان باعث ویرانی صدها هزار خانه شد و بیش از ۳۰۰۰۰ نفر را آواره کرد. حداقل ۶۸ نفر در اثر طوفان در تگزاس کشته شدند که بیش‌ترین تعداد مرگ و میر مستقیم از گردباد استوایی در آن ایالت از سال ۱۹۱۹ بود (زوا و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۲- روش انجام تحقیق

در این تحقیق، تاب‌آوری شهری ایالت تگزاس از طریق دو رویکرد عینی و ذهنی تعیین می‌شوند؛ در رویکرد عینی از مجموعه شاخص‌های اجتماعی، زیرساختی، اقتصادی و سازمانی استفاده می‌شود. مجموعه داده‌ها عمدتاً از مراکز آماری آمریکا به دست می‌آید. سپس با استفاده از تکنیک‌های MCDM^۱ وزن‌دهی به شاخص‌ها و رتبه‌بندی مناطق شهری صورت می‌گیرد. در رویکرد ذهنی پیام‌های شبکه اجتماعی توییتر از طریق شناسه‌های قابل دسترس استخراج می‌شود. سپس از شاخص نسبت در داده‌کاوی پیام‌های شبکه اجتماعی توییتر به‌نگام طوفان Harvey اعمال می‌شود. در نهایت میان نتایج حاصل از دو رویکرد مقایسه و ارزیابی صورت می‌گیرد. در این بخش از تحقیق مراحل به‌صورت مفصل‌تر توضیح داده می‌شوند.

۲-۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها

۲-۲-۱-۱- شناسایی و جمع‌آوری شاخص‌های معتبر عینی

اولین قدم در این مطالعه جمع‌آوری اطلاعات است، اطلاعاتی که کارآمد و منابع داده قابل دسترس داشته باشد. مطالعه موردی این مقاله ایالت تگزاس است؛ لذا برای ساخت و تحلیل شاخص ترکیبی تاب‌آوری در این ایالت تمرکز دارد. از این‌رو حدود ۳۰ مجموعه داده از دولت ایالت تگزاس از طریق پورتال‌های داده آنلاین، وب سایت‌ها و ... بدست آمد. پس از جمع‌آوری متغیرهای خام، اقلام داده تحت فرآیند تبدیل، نرمال شدند و به‌منظور دستیابی به هدف در این تحقیق، متغیرهای خام به درصد، نرخ و میانگین تبدیل شدند، این گامی ضروری است زیرا از طریق آن می‌توان جوامع در اندازه‌ها و با ویژگی‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد. این مطالعه جزئیات ساخت شاخص ترکیبی در مدل‌سازی تاب‌آوری جامعه در برابر بلایا را در مقیاس شهری توصیف کرد زیرا شهرها به‌عنوان واحدهای مکانی تجزیه و تحلیل توسط عوامل مختلفی هدایت می‌شوند و کوچک‌ترین سطح تجمع هستند که طیف وسیعی از داده‌های انسانی و فیزیکی به‌طور مداوم جمع‌آوری و بایگانی می‌شوند، علاوه بر این، دولت‌ها در شهرها به‌شدت درگیر مدیریت فعالیت‌های اورژانسی هستند و نقش مهمی را به‌عنوان واسطه بین شهرداری‌ها و دولت‌های ایالتی ایفا می‌کنند و به‌عنوان اولین واحد اجرایی محلی برای مقامات مدیریت بحران ملی هستند (کاتر^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). این مطالعه چهار بعد اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی و سازمانی را دربرگرفت.

۲-۲-۱-۲- استخراج پیام‌های شبکه اجتماعی توییتر

این مطالعه از داده‌های توییتر در ایالت تگزاس در آگوست و سپتامبر ۲۰۱۷ (طوفان Harvey) استفاده می‌کند. توییتر برای کمک به محققین در جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل فعالیت‌های توییتر در زمان واقعی، رابط‌های

1 Multiple-Criteria Decision Making

2 Cutter et al.

برنامه‌نویسی کاربردی^۱ عمومی را ارائه می‌دهد. در این تحقیق نیز از این روش برای بازیابی توییت‌ها استفاده می‌شود. به این صورت که توییت‌ها را به کاربران می‌دهد با عضویت در آن به‌عنوان توسعه‌دهنده، پیام‌هایی که با شناسه ذخیره شدند، بتوان استخراج کرد. سپس توییت‌های مورد نظر در ایالت تگزاس از طریق شناسه‌های ذخیره شده جمع‌آوری می‌شود. پس از جمع‌آوری توییت‌ها، توییت‌هایی که دارای موقعیت شهرستان‌های ایالت تگزاس بود استخراج شده و باقی از دایره مطالعه کنار گذاشته می‌شوند.

۲-۲-۲-۲- وزن‌دهی شاخص‌ها و رتبه‌بندی شهرها

۲-۲-۲-۲-۱- استفاده از روش DANP برای وزن‌دهی به شاخص‌ها

اولین هدف در این مرحله ادغام دانش متخصصان در تجزیه و تحلیل است؛ بنابراین، چندین نفر از متخصصان سازمان‌های دولتی، دانشگاه‌ها و شرکت‌های مشاوره خصوصی که با مدیریت ریسک فاجعه سروکار دارند، انتخاب شدند. به‌منظور استخراج وزن شاخص‌ها، از روش DANP استفاده شد. زیرا روش ANP^۲ به تنهایی از روش میانگین‌گیری برای بدست آوردن سوپرماتریس وزن‌دار استفاده می‌کند که باعث می‌شود هر خوشه از معیارها میزان اثر یکسانی بگذارند، از این رو به‌منظور رفع این کاستی از DEMATEL استفاده می‌شود که درجات متفاوتی از تاثیرگذاری بین معیارها را در نظر می‌گیرد. بنابراین در این مطالعه تکنیک DEMATEL به‌صورت تلفیقی با ANP تحت عنوان تکنیک DANP مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۲-۲- رتبه‌بندی شهرها با استفاده از روش TOPSIS

سپس به‌منظور رتبه‌بندی شهرها از روش TOPSIS استفاده می‌شود. این روش تعداد قابل توجهی معیار در نظر می‌گیرد و به سادگی و با سرعت مناسب اعمال می‌گردد. عملکرد آن به‌صورت مطلوب و قابل قبول است. در نهایت شهرها از نظر تاب‌آوری دارای مقدار شدند.

۲-۲-۲-۳- داده‌کاوی نظرات و فعالیت مردم در شبکه اجتماعی توییت (شاخص نسبت)

شاخص نسبت بیانگر نسبت تعداد توییت‌های مرتبط با طوفان به تعداد کل توییت‌های پس‌زمینه است (رابطه ۱). این شاخص می‌تواند در مقیاس‌های مکانی- زمانی مختلف جدول‌بندی شوند. در تحقیقات گذشته از این شاخص به‌عنوان آگاهی از موقعیت، ادراک ریسک، یا سطح نگرانی تعریف شده است و نشان‌دهنده میزان آگاهی نسبت به اثرات ناشی از آن رویداد در جامعه است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

$$\text{Ratio} = \frac{\# \text{ Disaster - related Tweets}}{\# \text{ Background Tweets}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

1 Application Programming Interfaces

2 Analytical Network Process

۳- نتایج

در نهایت پس از جمع‌آوری شاخص‌های معتبر و قابل دسترس و تبدیل متغیرهای خام به درصد، نرخ و میانگین، اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌ها که همان وزن شاخص‌ها به صورت مقادیر نهایی محاسبه می‌شود. در ابتدا جهت محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم، چند کارشناس نظیر **جدول ۱** را تکمیل کردند تا تأثیر تک‌تک زیرمعیارها بر زیرمعیار دیگر مشخص شود. سپس میانگین جداولی که متخصصان جهت محاسبه ارتباط مستقیم تکمیل کردند محاسبه می‌شود و طبق رابطه ۲ میزان پایایی نظرات متخصصان با یکدیگر محاسبه می‌شود. اگر مقدار از ۰.۰۵ کمتر شود پایایی خوبی داشته و نظرات متخصصان با یکدیگر سازگار است. در نهایت پس از روابط موجود در روش DANP وزن هر یک از شاخص‌ها حاصل می‌شود.

جدول ۱- ماتریس ارتباط مستقیم

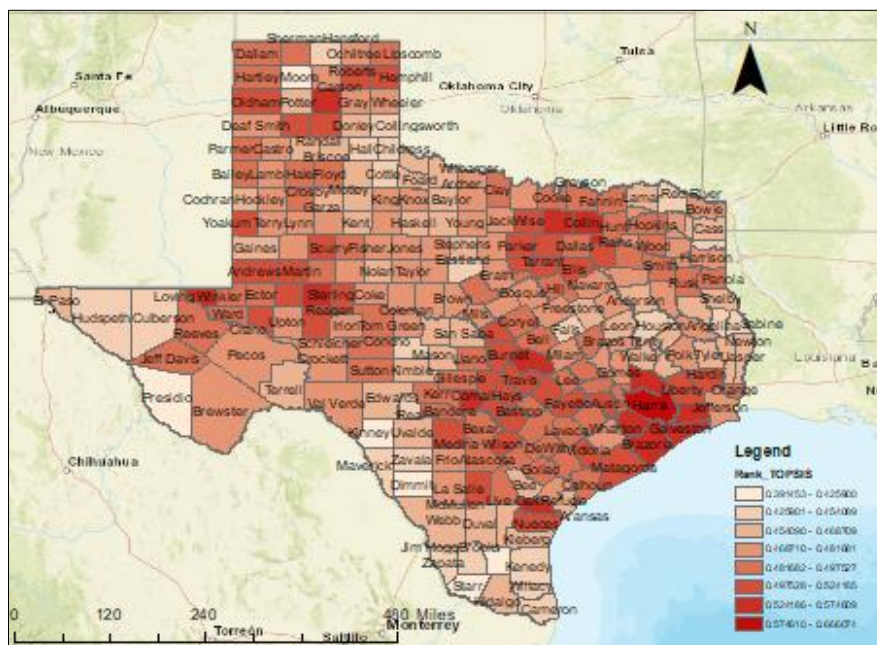
معیارها	اجتماعی	اقتصادی	سازمانی	زیرساختی
اجتماعی	۰			
اقتصادی		۰		
سازمانی			۰	
زیرساختی				۰

میزان تأثیر زیر
معیارهای اجتماعی
بر زیرمعیارهای
اقتصادی در این
سلول مشخص
می‌شود

$$\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{g^{ij\rho} - g^{ij(\rho-1)}}{g_c^{ij\rho}} * 100\% \text{ متخصصان} \quad (\text{رابطه ۲})$$

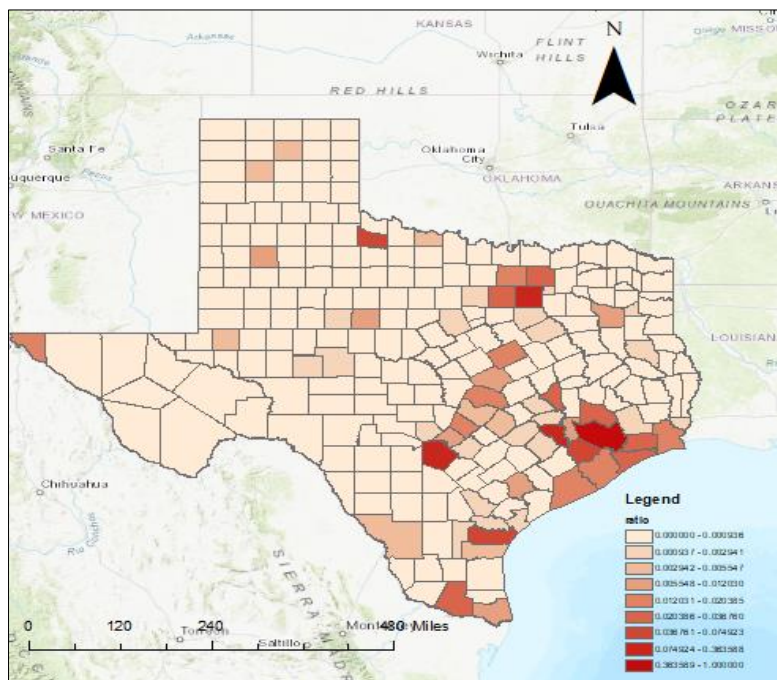
پس از محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها، با استفاده از روش TOPSIS رتبه هر شهر محاسبه می‌شود، به این صورت که ابتدا مقادیر زیرمعیارها برای تک تک شهرها طبق داده‌های آماری مشخص می‌شوند که در واقع همان ماتریس تصمیم است. سپس وزن هر معیار که از روش DANP حاصل شد در تمامی درایه‌های همان معیار ضرب می‌شود. سپس ایده‌آل مثبت و منفی هر یک از زیرمعیارها مشخص می‌شود و فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شود. در نهایت تک تک شهرها رتبه‌بندی می‌شوند که این اعداد نمایانگر ظرفیت تاب‌آوری است، به گونه‌ای که مناطقی که دارای ظرفیت تاب‌آوری کمتر باشند مقدار امتیاز کمتر و مناطقی دارای ظرفیت تاب‌آوری بالاتر باشد مقدار امتیاز بیشتر هستند. **شکل ۱** میزان تاب‌آوری شهرها را نشان می‌دهد. شهرهایی با تاب‌آوری بالاتر نظیر Harris، Galveston، Brazoria، Nueces، Jefferson، Victoria، Waller با رنگ پررنگ

مشخص شده‌اند و شهرهایی با تاب‌آوری کم نظیر Presidio, Hidalgo, Starr, Kennedy, Camron, Jasper, Moore با رنگ کم رنگ مشخص شده‌اند.



شکل ۱- رتبه‌بندی شهرها توسط TOPSIS

پس از اعمال آنالیز نسبت به پیام‌های هر منطقه، مقادیری حاصل می‌شود که از ۰ تا ۱ متغیر است، این مقدار هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده میزان مشارکت زیاد کاربران و سطح بالای نگرانی عمومی در توییت با توییت‌های مرتبط با بلائیای مرتبط است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، میزان مشارکت در توییت کمتر بوده و در آن منطقه آرامش برقرار است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در شهرهای شرقی و شهرهایی که در نزدیکی اقیانوس اطلس در ایالت تگزاس واقع هستند، بیشترین میزان مشارکت در توییت را دارا بودند و هر چه از شهرهای شرقی به سمت شهرهای غربی می‌رویم این مشارکت کمتر شده است و پیام‌هایی با مضامین غیر از طوفان منتشر کرده‌اند.



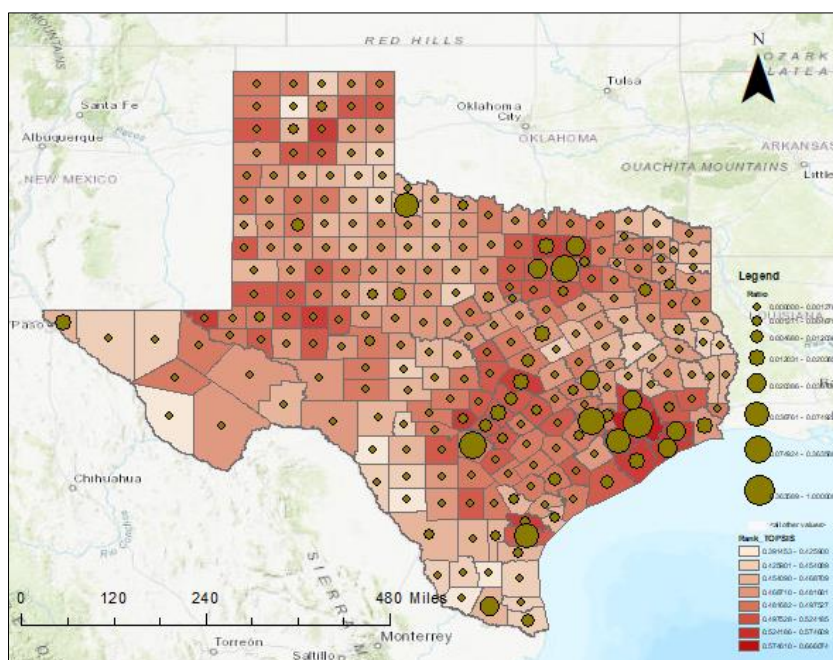
شکل ۲- آنالیز نسبت پیام‌های توییتر ایالت تگزاس

۴- ارزیابی نتایج

داده‌های توییتر طی طوفان Harvey از ۱۸ اکتبر الی ۱۴ سپتامبر جمع‌آوری شد. از ۴۵۰۰۰ پیام توییتر، ۳۶۰۰۰ به‌طور موفقیت‌آمیزی به یک مکان متصل شدند، سپس ۳۰۰۰۰ پیام توییتر که با موقعیت لیلالت تگزاس بودند استخراج شدند. پس از جمع‌آوری پیام‌های مرتبط با موقعیت مکانی مورد نظر، آنالیز نسبت بر روی این مجموعه پیام‌های توییتر اعمال شد و شکل ۳ الگوهای مکانی شاخص نسبت را برای کل شهرستان‌های ایالت تگزاس نشان می‌دهد. این نقشه به وضوح نشان می‌دهد که استفاده بیشتر از توییتر در منطقه شهری Harris متمرکز شده است و بیشترین فعالیت‌های توییتر در نواحی شرقی ایالت تگزاس که بیشتر تحت تأثیر طوفان بودند متمرکز است.

به‌منظور مقایسه تغییرات تاب‌آوری و آنالیز نسبت در مجموع ۲۴ شهرستان در تگزاس برای تجزیه و تحلیل منطقه ای انتخاب شدند، زیرا آن‌ها بیش از ۵۰ پیام پس‌زمینه داشتند و با تهدیدات باد و بارندگی Harvey مواجه شدند. شکل ۳ تلفیقی از تغییرات تاب‌آوری شهری ایالت تگزاس و آنالیز نسبت در طول طوفان Harvey را نشان می‌دهد. تغییرات تاب‌آوری بار رنگ قرمز تا سفید و شاخص نسبت بر روی مجموعه داده Harvey فیلتر شده به‌صورت نقاط سبز رنگ نمایش داده شدند. مطابق شکل ۳ با مقایسه شاخص نسبت و ۳۰ معیار اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و سازمانی در این مطالعه، شهرهایی با شرایط اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و سازمانی بهتر در حین مواجهه با طوفان Harvey میزان مشارکت بالاتری در شبکه اجتماعی توییتر داشتند. این تجزیه و تحلیل با ضریب همبستگی پیرسون

۰.۷۰۸ در جدول ۳ مشاهده می‌شود. که نشان از همبستگی قوی این دو رویکرد است. بنابراین مطابق نتایج حاصل شده، میزان مشارکت بالای کاربران در شبکه‌های اجتماعی نشان از تاب‌آوری بالا این مناطق بوده است و از طریق شبکه‌های اجتماعی نظیر توئیتر می‌توان میزان تاب‌آوری مناطقی که در مواجهه مستقیم با بلایای طبیعی بودند را استخراج کرد. با توجه به شکل ۳ و مقایسه نتایج حاصل شده از دو رویکرد می‌توان نتیجه گرفت، شهرهای شرقی لیلالت تگزاس که بیشتر در معرض طوفان Harvey بودند و طبق رویکرد عینی از تاب‌آوری بالایی برخوردار بودند میزان مشارکت بالایی در شبکه اجتماعی توئیتر داشتند و پیام‌های مرتبط با طوفان بیشتری منتشر کرده‌اند و هر چه از تاب‌آوری این شهرها کاسته می‌شود مشارکت در توئیتر هم کم می‌شود. همچنین طبق شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت، شهرهایی است که از تهدیدات طوفان Harvey دور بودند میزان مشارکت کمی در توئیتر داشتند.



شکل ۳- آنالیز نسبت و رتبه‌بندی تاب‌آوری شهرها

جدول ۳- همبستگی تاب‌آوری به روش عینی و آنالیز نسبت

شهرها	تاب‌آوری به روش عینی	آنالیز نسبت
Harris	۰.۶۶۶۱	۱.۰۰۰۰
Austin	۰.۵۱۳۹	۰.۶۳۵۹
Nueces	۰.۵۰۲۳	۰.۰۷۴۹
Fort Bend	۰.۵۷۴۶	۰.۰۴۵۸
Galveston	۰.۵۶۴۹	۰.۰۳۳۸

شهرها	تاب‌آوری به روش عینی	آنالیز نسبت
Montgomery	۰.۵۳۴۵	۰.۰۲۶۵
Jefferson	۰.۵۳۴۸	۰.۰۲۰۴
Brazoria	۰.۵۴۵۰	۰.۰۱۳۰
Victor	۰.۴۹۱۱	۰.۰۰۸۱
Waller	۰.۴۹۳۲	۰.۰۰۸۱
Kleberg	۰.۴۶۱۱	۰.۰۰۸۰
Aransas	۰.۴۶۸۰	۰.۰۰۳۹
Bee	۰.۴۶۴۷	۰.۰۰۱۸
Liberty	۰.۴۸۳۶	۰.۰۰۱۷
Orange	۰.۴۹۲۲	۰.۰۰۱۳
Fayette	۰.۵۱۴۸	۰.۰۰۱۲
Jasper	۰.۴۶۴۲	۰.۰۰۰۸
Chambers	۰.۵۴۶۸	۰.۰۰۰۴
Calhoun	۰.۴۹۴۵	۰.۰۰۰۳
Walker	۰.۴۵۷۳	۰.۰۰۰۱
Gonzales	۰.۴۸۴۵	۰.۰۰۰۱
Newton	۰.۴۵۶۸	۰.۰۰۰۰
San Au	۰.۴۵۳۹	۰.۰۰۰۰
Sabine	۰.۴۴۲۱	۰.۰۰۰۰
ضریب همبستگی پیرسون	۰.۷۰۸	
P-Value	۰.۰۰۱	

۵- جمع‌بندی و پیشنهادها

این مطالعه پیام‌های توییت را از ۱۸ اکتبر الی ۱۴ سپتامبر حین وقوع طوفان Harvey در سطح شهرستان بررسی کرد و با ایجاد چارچوبی از شاخص‌های استاندارد شده آماری و استفاده از شاخص نسبت در شبکه اجتماعی توییت به دنبال پاسخ به یک سؤال اساسی بود: آیا استفاده از توییت می‌تواند تاب‌آوری جامعه را پیش‌بینی کند؟ با کسب ضریب همبستگی پیرسون ۰.۷۰۸ بین دو رویکرد این فرضیه تست و تایید شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص نسبت به‌دست‌آمده از داده‌های توییت می‌تواند مقایسه بین تاب‌آوری شهرها و میزان مشارکت در توییت را به هنگام وقوع رویدادها را نمایان کند. بر این اساس اختلاف در تاب‌آوری مناطق مختلف در ایالت تگزاس سبب نابرابری در استفاده از توییت می‌شود و جوامعی که به هنگام بلایا بیشتر از توییت استفاده می‌کنند جوامعی با شرایط بهتر اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی و سازمانی بودند. همچنین جوامعی با شرایط اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و سازمانی بهتر با

احتمال بیشتری به اطلاعات خطر دسترس‌ی دارند و پاسخ‌های امداد در طول شرایط اضطراری دریافت می‌کنند؛ همچنین نتایج دو رویکرد عینی و ذهنی در مناطقی شرقی و نزدیکی اقیانوس اطلس که در مواجهه مستقیم طوفان قرار داشتند هم‌راستا بوده است و هر چه به سمت غرب تگزاس می‌رویم از هم سو بودن این دو رویکرد کاسته می‌شود، تا حدی که دیگر همبستگی میان آن دو دیده نمی‌شود. همچنین نتایج مطالعه زو^۱ و همکاران نشان می‌دهد شاخص‌های معمول به‌دست‌آمده از داده‌های توییت‌ر شامل آنالیزهای نسبت، نسبت نرمالیزه شده و احساسات می‌توانند مقایسه بین مناطق و رویدادها را فعال کنند و نابرابری‌های اجتماعی و جغرافیایی در استفاده از توییت‌ر در طوفان Sandy نیز به وضوح آشکار است. همچنین شاخص‌های مورد مطالعه در داده‌های وب سایت‌های ارتباط جمعی با دیگر داده‌های سنتی می‌تواند در برآورد آس‌یب ناشی از طوفان کمک کند (زو و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین می‌توان مناطق با تاب‌آوری کم را از طریق شبکه‌های اجتماعی شناسایی کرد و تمهیدات لازم را در مقابله با رویدادها و بلایای طبیعی به کار برد. این مطالعه با چارچوبی که ایجاد کرد اطلاعات مفیدی را در مورد فعلیت توییت‌ر در فراهم کرد، که می‌تواند برای مقایسه با رویدادهای فاجعه مشابه در طول فضا و در طول زمان مورد استفاده قرار گیرد. تحقیقات آینده نیز می‌توان رویکردهای مورد مطالعه در این تحقیق را مناطق با تاب‌آوری‌های متفاوت نیز بکار بگیرند و نتایج با این تحقیق را مقایسه و ارزیابی کنند.

این مطالعه فعالیت توییت‌ر را در طول طوفان Harvey مورد بررسی قرار داد و فرضیه مورد نظر را مورد مطالعه قرار داد و تایید شد. با وجود تایید فرضیه در نظر گرفته شده در این مطالعه، محدودیت‌های موجود، فرصتی برای بهبود در مطالعات آتی فراهم می‌کند. اولین مسأله توییت‌های با مقیاس بزرگ یعنی شهرستان است؛ زیرا مقیاس شهرستان می‌تواند نابرابری‌های تاب‌آوری شهری درون هر شهر را نادیده بگیرد. درحالی‌که تجزیه و تحلیل در مقیاس ریزتر به آموختن روابط کمک می‌کند و درک بهتری نسبت به مناطق مختلف در سطح ریزتر در رویارویی با بلایا می‌دهد. دومین مسئله تجزیه و تحلیل مناطقی با تعداد کمی از پیام‌های توییت‌ر است که می‌تواند سبب مشکل شود، زیرا قابلیت اطمینان بسیاری از شاخص‌ها به شدت میزان داده‌های جمع‌آوری شده وابسته است. راه‌حلی که سایر مطالعات پیشنهاد کردند افزایش اندازه جمع‌آوری داده، مانند کسب اطلاعات کامل از منابع داده کلان‌تر نظیر آژانس‌های توییت‌ر است (زو و همکاران، ۲۰۱۸). درنهایت استفاده از رابط برنامه کاربردی ممکن است بر کارایی مطالعات تأثیر بگذارد. زیرا این رابط استفاده از مجموعه داده‌های بزرگ را محدود می‌کند و تنها بخش کوچکی از داده‌های مرتبط را بازیابی می‌کند و در نتیجه آنالیزها بر دسته محدودی اعمال می‌شود و بر یافته‌های نتایج نیز اثر می‌گذارد. بنابراین به منظور دسترسی به تعداد بیشتری از داده‌ها و حل این محدودیت، درخواست به یک سرویس مستقل توصیه می‌شود (کرمی و همکاران، ۲۰۲۰).

کتابنامه

- رضویان، م؛ توکلی نیا، ج؛ فرزادبهباش، م؛ خزایی، م؛ ۱۳۹۶. تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی بافت فرسوده منطقه ۱۲ شهر تهران در مواجهه با سوانح طبیعی. *مدیریت سرمایه اجتماعی*. ۴(۴)، ۵۹۵-۶۱۲.
<https://sid.ir/paper/266926/fa>
- شکری فیروزجاه، پ؛ ۱۳۹۶. تحلیل فضایی میزان تاب‌آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی. *برنامه ریزی و توسعه کالبدی*. ۲(۲) (پیاپی ۶)، ۲۷-۴۴.
https://psp.journals.pnu.ac.ir/article_4146.html
- قنبری، ا؛ سالکی ملکی، م؛ قاسمی، م؛ ۱۳۹۵. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زمین‌لرزه (نمونه موردی: شهرک باغمیشه تبریز). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۵(۱۸). ۱-۱۵.
<https://doi.org/10.22067/GEO.V5I2.15934>
- معرب، ی؛ صالحی، ا؛ امیر، م ج؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی کاربری اراضی شهری (نمونه موردی: منطقه ۱ تهران) *فصلنامه پدافند غیرعامل*، ۲۹-۳۷.
https://journals.ihu.ac.ir/article_200697.html
- Birgani, Y. T., & Yazdandoost, F., 2018. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, 32(8), 2817-2835. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>
- Cai, H., Lam, N. S., Qiang, Y., Zou, L., Correll, R. M., & Mihunov, V., 2018. A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 844-855. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.015>
- Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T., 2014. The geographies of community disaster resilience. *Global environmental change*, 29, 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005>
- Karami, A., Shah, V., Vaezi, R., & Bansal, A., 2020. Twitter speaks: A case of national disaster situational awareness. *Journal of Information Science*, 46(3), 313-324. <https://doi.org/10.1177/0165551519828620>
- Kontokosta, C. E., & Malik, A., 2018. The Resilience to Emergencies and Disasters Index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity. *Sustainable cities and society*, 36, 272-285. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.025>
- Leykin, D., Lahad, M., & Aharonson-Daniel, L., 2018. Gauging urban resilience from social media. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.04.021>
- Martinez-Rojas, M., del Carmen Pardo-Ferreira, M., & Rubio-Romero, J. C., 2018. Twitter as a tool for the management and analysis of emergency situations: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*, 43, 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.008>
- Renschler, C. S., Frazier, A. E., Arendt, L., Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M., & Bruneau, M., 2010, July. Developing the 'PEOPLES' resilience framework for defining and measuring disaster resilience at the community scale. In 9th US and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering Toronto, Canada. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1563.4323>
- Rizza, C., & Pereira, A. G., 2014. Building a resilient community through social network: Ethical considerations about the 2011 Genoa floods. In *ISCRAM*.

- https://www.researchgate.net/profile/CarolineRizza/publication/264310347_Building_a_resilient_community_through_social_network_Ethical_considerations_about_the_2011_Genoa_floods/links/53d7fd860cf2a19eee7feabd/Building-a-resilient-community-through-social-network-Ethical-considerations-about-the-2011-Genoa-floods.pdf
- Ragini, J. R., Anand, P. R., & Bhaskar, V., 2018. Big data analytics for disaster response and recovery through sentiment analysis. *International Journal of Information Management*, 42, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.05.004>
- Tabibian, M., & Rezapour, M., 2016. Assessment of urban resilience; a case study of Region 8 of Tehran city, Iran. *Scientia Iranica*, 23(4), 1699-1707. <https://doi.org/10.24200/SCI.2016.2240>
- Wang, Z., & Ye, X., 2019. Space, time, and situational awareness in natural hazards: A case study of Hurricane Sandy with social media data. *Cartography and Geographic Information Science*, 46(4), 334-346. <https://doi.org/10.1080/152304062018.1483740>
- Wang, K., Lam, N. S., Zou, L., & Mihunov, V., 2021. Twitter Use in Hurricane Isaac and Its Implications for Disaster Resilience. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 116. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030116>
- Yu, M., Yang, C., & Li, Y., 2018. Big data in natural disaster management: a review. *Geosciences*, 8(5), 165. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050165>
- Zou, L., Lam, N. S., Cai, H., & Qiang, Y., 2018. Mining Twitter data for improved understanding of disaster resilience. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(5), 1422-1441. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1421897>
- Zou, L., Lam, N. S., Shams, S., Cai, H., Meyer, M. A., Yang, S., ... & Reams, M. A., 2019. Social and geographical disparities in Twitter use during Hurricane Harvey. *International Journal of Digital Earth*, 12(11), 1300-1318. <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1545878>



Potential Assessment of Vulnerable Areas Against Natural Hazards (Case Study: Roodehen City)

Amir Saffari^a, Sara kiani^b, AmirAli Abbaszadeh^{c*}

^aAssociate Professor in Geomorphology, University of Kharazmi, Tehran, Iran

^bAssistant Professor in Earth Sciences and Natural Resources, University of Kharazmi, Tehran, Iran

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

Received: 7 August 2022

Revised: 16 October 2022

Accepted: 22 October 2022

Abstract

Environmental hazards invariably lead to significant human and financial repercussions, underscoring the crucial need to thoroughly investigate and recognize hazardous areas. Recognizing the importance of this matter, this study focuses on identifying regions susceptible to natural hazards within Roodehen's urban area. To achieve the objectives, a variety of data sources, including a digital model with a 30-meter height resolution, a geological map at a scale of 1:100,000, a topographic map at a scale of 1:50,000, and additional information layers were harnessed as primary research tools. The research method integrated multiple analytical tools, incorporating a digital model with a 30-meter height resolution, a geological map at a scale of 1:100,000, a topographic map at a scale of 1:50,000, and various information layers. ArcGIS software served as a pivotal component in data analysis, bolstered by the fuzzy logic model and the ANP model. The approach encompassed a multi-step process commencing with the utilization of the integrated fuzzy logic and ANP model, driven by diverse parameters, to pinpoint areas susceptible to flood hazards, amplitude movements, and earthquake vulnerability. Consequently, a comprehensive hazard map of Roodehen's urban area was formulated based on the obtained outcomes. The study underscores Roodehen's urban area as being at a heightened risk of natural hazards. Particularly, the western and northern regions exhibit elevated vulnerability due to their proximity to fault lines, earthquake centers, and steep slopes, making them susceptible to slope movements and earthquake hazards. Conversely, the central parts of the region, situated in close proximity to the river with low slopes and altitude, face a higher risk of flooding, and demonstrate significant earthquake vulnerability.

Keywords: Natural Hazard, Flood, Slope Movements, Earthquake, Roodehen

* Corresponding author: AmirAli Abbaszadeh

E-mail: amirali.abbaszadeh@yahoo.com

Tel: +989158341252

How to cite this Article: Saffari, A., kiani, S., & abbaszadeh, A. (2023). Potential assessment of vulnerable areas against natural hazards (Case study: Roodehen city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 267-283.

DOI:10.22067/geoeh.2022.73710.1249



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



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73710.1249>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره ۴۶ و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۸۳-۲۶۷

مقاله پژوهشی

پتانسیل سنجی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن)

امیر صفاری - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

سارا کیانی - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

امیرعلی عباس‌زاده^۱ - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۳۰

چکیده

مخاطرات محیطی همواره با خسارات جانی و مالی زیادی همراه هستند و همین مسئله سبب شده است تا بررسی مخاطرات و شناسایی مناطق مخاطره‌آفرین دارای اهمیت زیادی باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع مخاطرات طبیعی در محدوده شهری رودهن پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و همچنین لایه‌های اطلاعاتی مختلف (لایه کانون‌های زمین‌لرزه، کاربری اراضی، خطوط ارتباط و خطوط گسلی) به عنوان اطلاعات تحقیق استفاده شده است. ابزار اصلی تحقیق شامل نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و مدل‌های مورد استفاده در تحقیق نیز شامل مدل منطق‌فازی و مدل ANP بوده است. روش کار به این صورت بوده است که ابتدا بر اساس پارامترهای مختلف و مدل تلفیقی منطق فازی و ANP، مناطق مستعد وقوع مخاطره سیلاب و حرکات دامنه‌ای و همچنین مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه شناسایی شده است و در ادامه بر مبنای نتایج حاصله، نقشه مخاطرات محدوده شهری رودهن تهیه شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که شهر رودهن پتانسیل بالایی جهت وقوع مخاطرات طبیعی دارد و به صورت کلی بخش‌های غربی و شمالی شهر

Email: amirali.abbaszadeh@yahoo.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۸۳۴۱۲۵۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

صفاری، امیر؛ کیانی، سارا؛ عباس‌زاده، امیرعلی؛ ۱۴۰۲. پتانسیل سنجی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر رودهن).

جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۲۸۳-۲۶۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73710.1249>

رودهن به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، کانون‌های زلزله و شیب زیاد، مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای و همچنین دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا در برابر زمین‌لرزه هستند. بخش‌های میانی منطقه به دلیل نزدیکی به رودخانه، ارتفاع و شیب کم مستعد وقوع سیلاب هستند، همچنین این مناطق نیز پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر زمین‌لرزه دارند.

کلیدواژه‌ها: مخاطرات طبیعی، سیلاب، حرکات دامنه‌ای، زمین‌لرزه، رودهن.

۱-مقدمه

توسعه فیزیکی و گاهی بدون برنامه شهرها تحت تأثیر روند افزایشی جمعیت سبب شده است تا بسیاری از مناطق شهری با مسائل و مشکلات زیادی از جمله مخاطرات طبیعی همراه باشند (امینی‌ورکی و همکاران، ۱۳۹۳؛ سوریانو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در بسیاری از موارد، مخاطرات شهری با خسارات جانی و مالی زیادی همراه هستند (گنجائیان، ۱۳۹۹) که این مسئله می‌تواند روند توسعه شهرها و جوامع را متوقف کند (پلینگ^۲، ۲۰۰۳؛ قائدرحمتی و همکاران، ۱۳۹۲). مخاطرات طبیعی را می‌توان به انواع مختلف مخاطرات درونی (مانند زمین‌لرزه) و بیرونی (مانند سیلاب و حرکات دامنه‌ای) تقسیم کرد (رنجبر و بیات، ۱۳۸۹). نتایج مطالعات انجام شده در مورد مخاطرات طبیعی نشان داده است که این مخاطرات دارای روند افزایشی هستند (دیتوا^۳ و همکاران، ۲۰۱۹) و میلیون‌ها نفر از مردم در سراسر دنیا در معرض آن قرار دارند (برونفمان^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). اهمیت مخاطرات و آثار ناشی از آن سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر مطالعات زیادی در این مورد صورت گیرد و راهکارها و پیشنهادهای زیادی برای جلوگیری و کنترل آن ارائه شود و این راهکارها و پیشنهاد تا حد زیادی نیز موفقیت‌آمیز بوده است (کاوایانی‌راد، ۱۳۸۹).

شهرهای مختلف با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی، هیدرواقليمی و زمین‌شناسی که دارند، مستعد وقوع انواع مخاطرات طبیعی هستند. یکی از شهرهایی که در معرض مخاطرات طبیعی قرار دارد، شهر رودهن در شمال استان تهران و دامنه‌های جنوبی البرز است. قرار گرفتن این شهر در دامنه‌های جنوبی البرز و توسعه نواحی سکونتگاهی به سمت مناطق پرشیب سبب شده است تا بخش‌هایی از این شهر در معرض مخاطره حرکات دامنه‌ای باشد و همین مسئله سبب وارد آمدن خساراتی به این نواحی سکونتگاهی شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به حرکات دامنه‌ای رخ داده در فروردین سال ۱۳۹۸ اشاره کرد که سبب تخریب چند واحد مسکونی شد. به‌علاوه، قرار گرفتن شهر رودهن در مجاور گسل‌های اصلی از جمله گسل مشا، گسل شمال تهران و گسل البرز سبب شده است تا این شهر در

1 Soriano

2 Pelling

3 Dintwa

4 Bronfman

معرض مخاطره ناشی از زمین‌لرزه نیز باشد؛ به طوری که در طی یک سال اخیر نیز دو زمین‌لرزه با بزرگی ۵/۱ (در اردیبهشت ۹۹) و ۴ ریشتری (در آذر ۹۹) در مجاور این شهر رخ داده است. همچنین با توجه به اینکه رودخانه اصلی این شهر از دامنه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و این منطقه دارای بارش و دبی قابل توجهی است، بنابراین این شهر در معرض مخاطره سیلاب نیز قرار دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به بررسی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات حرکات دامنه‌ای، سیلاب و زمین‌لرزه پرداخته شده است.

در مورد مخاطرات طبیعی مناطق شهری، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به **تانگ و وان**^۱ (۲۰۰۹) اشاره کرد که به بررسی مخاطره زمین‌لرزه در شهر دیانگ در کشور چین پرداختند. در این تحقیق از مدل شبیه‌سازی هوشمند استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر کارایی این مدل است. **بدناریک**^۲ و **همکاران** (۲۰۱۰) به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی پرداختند. در این تحقیق از توزیع دو متغیره آماری استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله، منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش است. **میا**^۳ و **همکاران** (۲۰۱۶) به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه و تأثیر آن بر مسائل اجتماعی، اقتصادی مردم محلی در منطقه چیتاگونگ بنگلادش پرداخته‌اند. این تحقیق بر مبنای کارهای میدانی و تحلیل داده‌ها صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که علت اصلی زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب ایجاد ترانشه و زیرشویی، وجود ساختمان ضعیف خاک و تغییرات کاربری اراضی است. **کیانگ**^۴ و **همکاران** (۲۰۱۷) تغییرات جمعیتی شهرهای امریکا در نواحی سیل‌خیز را در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق از روش‌های آماری استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که در سال ۲۰۱۱ حدود ۲۳/۵ میلیون نفر از مردم در معرض خطر سیلاب قرار داشته است که در این میان، شهرهای نیویورک و میامی نسبت به سایر شهرها، توسعه بیش‌تری به سمت مناطق سیل‌خیز داشته‌اند. **دوزینسکی**^۵ و **همکاران** (۲۰۱۷) به ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش‌ها در جنوب غربی لهستان پرداختند. نتایج با استفاده از کاوش‌های ژئوفیزیکی و با استفاده از روش‌های مقاومت الکتریکی تأیید می‌کند که حضور لایه‌های فوقانی از لایه ماسه‌سنگی است که موجب می‌شود تا ضخامت لبه‌ها و قطر مقاومت در عمق ۵ تا ۱۵ متر به‌عنوان مرزهای پایه‌ای از مواد لغزشی تفسیر شود. **بورنان**^۶ و **همکاران** (۲۰۱۹) به ارزیابی مخاطره سیل در شهر کنستانتین^۷ الجزایر پرداختند. در این تحقیق از روش هیدروژئومورفولوژیکی برای نقشه برداری از خطر سیلاب در ناحیه شهری کنستانتین بر اساس تفسیر و تحلیل

1 Tang & wan

2 Bednarik et al

3 Mia

4 Qiang

5 Duszynski

6 Bourenane

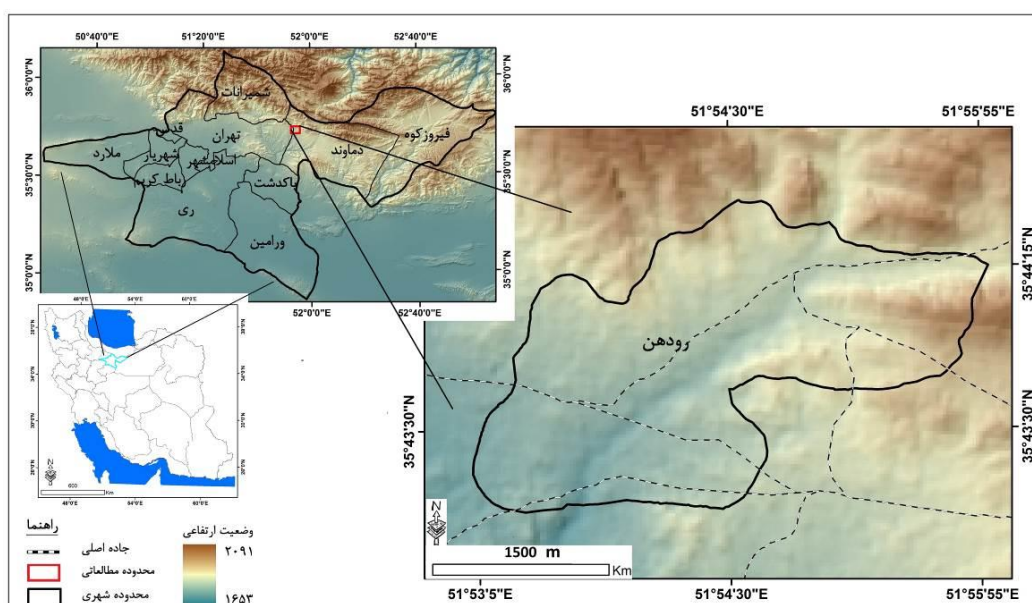
7 Constantine

ژئومورفولوژی سیلاب استفاده شده است و در نهایت نقشه نواحی در معرض مخاطره سیلاب تهیه شده است که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آبی برای این شهر مورد استفاده قرار گیرد. در ایران نیز صفاری و هاشمی (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی در شهرستان کرمانشاه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داده است که مدل فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۹۰٪ روش کارآمدتری نسبت به مدل آنتروپی با مقدار شاخص ۵۰٪ در برآورد خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه است. بهاروند و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در حوضه ده سفید پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر این که حدود ۳/۷ درصد از منطقه در پهنه خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار دارد. ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات محیطی در منطقه ۱۲ کلانشهر تهران پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این است که مطلوبیت تاب‌آوری شهری این منطقه در برابر مخاطرات طبیعی با توجه به کلیه ابعاد و مولفه‌ها بسیار ضعیف بوده و بنابراین این منطقه تاب‌آور و پایدار نیست. کرمی و امیریان (۱۳۹۷) به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله در شهر تبریز پرداختند. نتایج این نشان داده است که مناطق ۱۰ و ۱ به ترتیب دارای بدترین شرایط هستند و پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارند. تیموری و اسدی نلیوان (۱۳۹۸) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در لرستان با استفاده از روش حداکثر آنتروپی و مدل MaxEnt پرداختند. نتایج تحقیق نشان داده است که ۵/۳۵ درصد از مساحت استان لرستان، دارای حساسیت وقوع زمین‌لغزش است. محمودزاده و موسی‌زاده (۱۳۹۹) به ارزیابی مکان‌گزینی مسیرهای مترو کلان شهر تبریز نسبت به مخاطرات طبیعی با تاکید بر سیلاب و زلزله پرداختند. در این تحقیق از مدل منطق فازی و AHP استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داده است که دو ایستگاه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد در برابر زمین‌لرزه قرار دارند. آزادخانی و همکاران (۱۳۹۹) به شناسایی و تعیین پهنه‌های مناسب مخاطرات محیطی مؤثر در توسعه کالبدی شهر ایلام پرداختند. در این تحقیق از مدل‌های تاپسیس و AHP استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که مناطق جنوبی شهر ایلام، تناسب بیشتری جهت اهداف توسعه شهری دارند. مجموع نتایج حاصله از تحقیقات پیشین بیانگر این است که بسیاری از نواحی سکونتگاهی، در معرض وقوع مخاطرات طبیعی هستند و یکی از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه، شناسایی مناطق مستعد وقوع مخاطره و سپس برنامه‌ریزی جهت کنترل و یا کاهش خسارات ناشی از آن است. با توجه به موارد مذکور، هدف از تحقیق حاضر شناسایی مناطق مستعد وقوع مخاطره زمین‌لرزه، حرکات دامنه‌ای و سیلاب در محدوده شهری رودهن و در نهایت تهیه نقشه مخاطرات این شهر است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل محدوده شهری رودهن است که از نظر تقسیمات سیاسی در شهرستان دماوند و استان تهران قرار دارد. این شهر با جمعیت ۲۸۵۳۳ نفر، در دامنه‌های جنوبی البرز واقع شده و از نظر ژئومورفولوژی در واحدهای تپه‌ماهور، کوهستان و دشت سیلابی قرار گرفته است و همین مسئله سبب شده تا پتانسیل مخاطره‌پذیری بالایی داشته باشد. رودهن در ارتفاع حدود ۱۸۰۰ متری قرار دارد و موقعیت جغرافیایی آن سبب شده است تا این شهر دارای آب و هوای سرد و کوهستانی باشد. در شکل ۱ نقشه موقعیت شهر رودهن نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت شهر رودهن

۲-۲- روش تحقیق

در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، لایه‌های اطلاعاتی مربوط گسل، کانون‌های زمین‌لرزه، راه ارتباطی و کاربری اراضی به عنوان اطلاعات تحقیق استفاده شده است. ابزار اصلی تحقیق شامل نرم‌افزار ArcGIS بوده است که به منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر استفاده شده است. همچنین مدل‌های مورد استفاده در تحقیق نیز شامل مدل منطق‌فازی (به‌منظور فازی‌سازی، تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی) و مدل ANP (به‌منظور وزن‌دهی به پارامترهای مورد

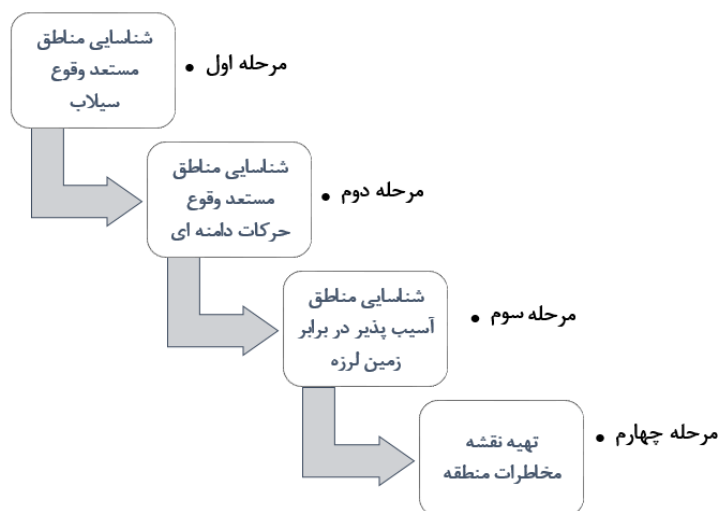
استفاده) بوده است. این تحقیق در چند مرحله انجام شده است (شکل ۲) که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب): به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب از ۶ پارامتر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و لیتولوژی استفاده شده است. روش کار به این صورت است که پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی فازی‌سازی شده است. پس از فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از مدل ANP به این لایه‌ها وزن داده شده است و سپس وزن به دست آمده بر روی لایه‌ها اعمال شده است. پس از وزن‌دهی به لایه‌ها، لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل منطق فازی با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب تهیه شده است. در این پژوهش به منظور اجرای مدل ANP، از نرم‌افزار SuperDecisions و همچنین نظرات کارشناسان (۵) کارشناس ژئومورفولوژی استفاده شده است.

مرحله دوم (شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای): به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای از ۸ پارامتر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، لیتولوژی و کاربری اراضی استفاده شده است. در این مرحله نیز پس از تهیه لایه‌ها و وزن‌دهی به آن‌ها، با استفاده از مدل منطق فازی، مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای شناسایی شده است.

مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه): به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین‌لرزه از ۴ پارامتر فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه، فاصله از گسل، شیب و لیتولوژی استفاده شده است. در این مرحله نیز پس از تهیه لایه‌ها و وزن‌دهی به آن‌ها، با استفاده از مدل منطق فازی، مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه شناسایی شده است.

مرحله چهارم (تهیه نقشه مخاطره منطقه): پس از شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر هر کدام از مخاطرات، در این مرحله نتایج حاصله با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق مستعد وقوع هر مخاطره در محدوده مطالعاتی تهیه شده است.



شکل ۲- فلوجارت مراحل تحقیق

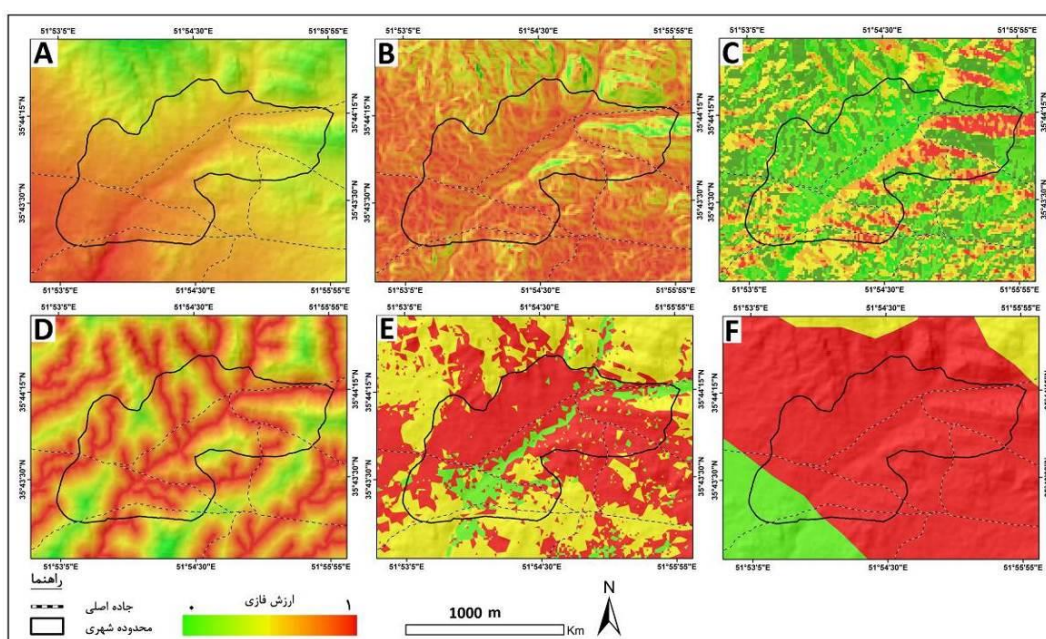
۳- نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر شهر رودهن در برابر مخاطرات سیلاب، حرکات دامنه‌ای و زمین‌لرزه از پارامترهای مختلفی استفاده شده که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب: در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب از ۶ پارامتر (ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و لیتولوژی) استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، بر مبنای پتانسیلی که هر لایه جهت وقوع سیلاب دارد، لایه‌ها فازی‌سازی و وزن‌دهی شده‌اند (جدول ۱ و شکل ۳). با توجه به اینکه مناطق کم ارتفاع و کم‌شیب پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند، بنابراین در فازی‌سازی این لایه‌ها به مناطق کم ارتفاع و کم‌شیب ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق مرتفع و پرشیب ارزش نزدیک به صفر داده شده است. در فازی‌سازی جهت شیب، به جهت شیب شمالی به دلیل اینکه دارای رطوبت بیش‌تری هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به جهت جنوبی به دلیل پتانسیل تبخیر بالا و رطوبت کم‌تر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه فاصله از رودخانه به دلیل اینکه مناطق نزدیک به رودخانه دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی هستند، به این مناطق ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از رودخانه ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه کاربری اراضی، به مناطق شهری به دلیل اینکه پتانسیل نفوذ کم‌تر و رواناب بیش‌تری دارند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. همچنین برای لایه لیتولوژی، به مناطقی که دارای نفوذپذیری کم‌تری هستند (مانند سنگ‌های بازالتی) ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که دارای نفوذپذیری بیش‌تری، ارزش نزدیک به صفر داده شده است.

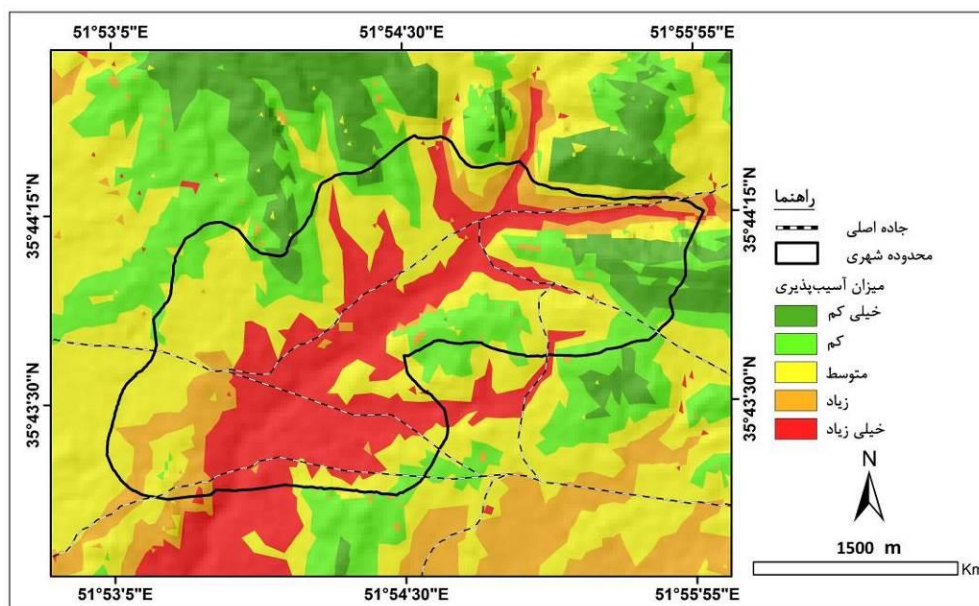
جدول ۱- نحوه فازی سازی و وزن دهی به پارامترها جهت شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب

ردیف	پارامتر	وزن	شکل
۱	ارتفاع	۰/۱۳۸	A
۲	شیب	۰/۲۰۱	B
۳	جهت شیب	۰/۱۲۴	C
۴	فاصله از رودخانه	۰/۲۴۷	D
۵	کاربری اراضی	۰/۱۳۹	E
۶	لیتولوژی	۰/۱۲۱	F



شکل ۳- فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی جهت شناسایی مناطق مستعد وقوع سیلاب

پس از وزن دهی و فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌ها با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب در محدوده شهری رودهن تهیه شده است (شکل ۴). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق میانی محدوده که منطبق بر رودخانه اصلی رودهن است، به دلیل نزدیکی به رودخانه، ارتفاع و شیب کم‌تر، دارای پتانسیل سیل خیزی بالایی هستند و مناطق حاشیه‌ای شهر به دلیل قرار گرفتن در دامنه‌ها و داشتن ارتفاع و شیب بیش‌تر و همچنین دور بودن از رودخانه، پتانسیل سیل خیزی کم‌تری دارند.



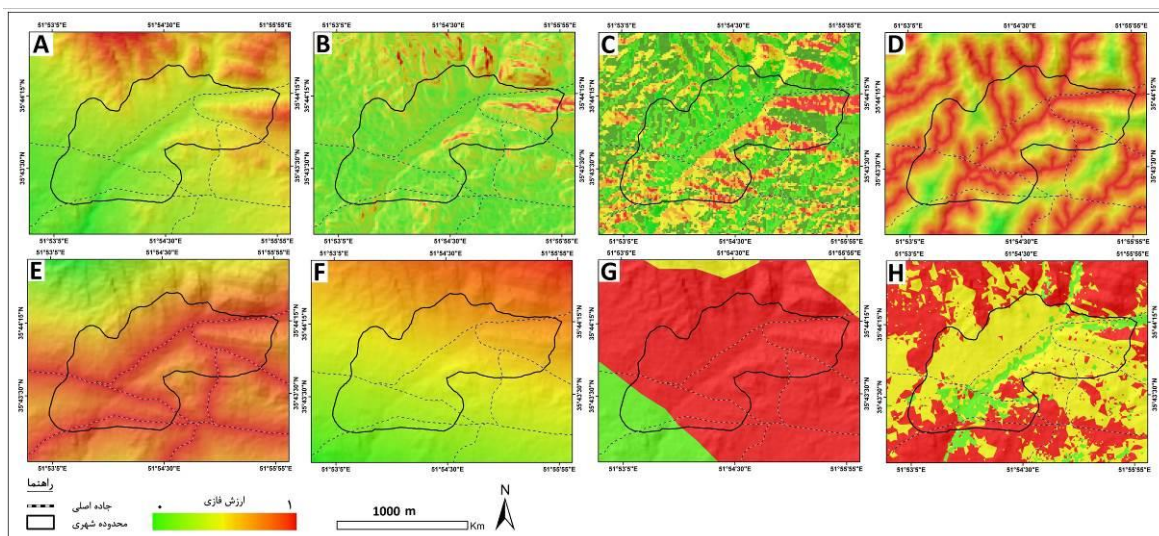
شکل ۴- نقشه مناطق مستعد وقوع سیلاب

شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای: در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای از ۸ پارامتر (ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل لیتولوژی و کاربری اراضی) استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، بر مبنای پتانسیلی که هر لایه جهت وقوع حرکات دامنه‌ای دارد، لایه‌ها فازی‌سازی و وزن‌دهی شده‌اند (جدول ۲ و شکل ۵). به منظور فازی‌سازی لایه‌های ارتفاع و شیب، به دلیل اینکه مناطق پرشیب و مرتفع پتانسیل بالایی جهت وقوع حرکات دامنه‌ای دارند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق کم ارتفاع و کم شیب، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه جهت شیب، به دلیل اینکه جهت شیب مرطوب‌تر هستند و احتمال لغزش در این مناطق بیشتر است، به جهت شیب شمالی ارزش نزدیک به ۱ و به جهت شیب جنوبی ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه رودخانه، به دلیل اینکه رودخانه سبب زیربری دامنه‌ها می‌شود و مناطق پایین دست را با فرسایش مواجه می‌کند، به مناطق نزدیک به رودخانه ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه فاصله از جاده، به دلیل اینکه توسعه جاده‌ها در مناطق کوهستانی سبب تخریب مناطق پایین دست دامنه می‌شود و زمینه را برای حرکات دامنه‌ای از جمله زمین لغزش فراهم می‌کند، به مناطق نزدیک به جاده ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. برای لایه لیتولوژی، به مناطقی که دارای لیتولوژی سست (مانند شیل) هستند، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای لیتولوژی مقاوم (مانند بازالت) ارزش نزدیک به صفر داده شده است. همچنین برای لایه کاربری اراضی نیز به مناطق

دارای پوشش گیاهی کم تراکم، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است.

جدول ۲- نحوه فازی سازی و وزن دهی به پارامترها جهت شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای

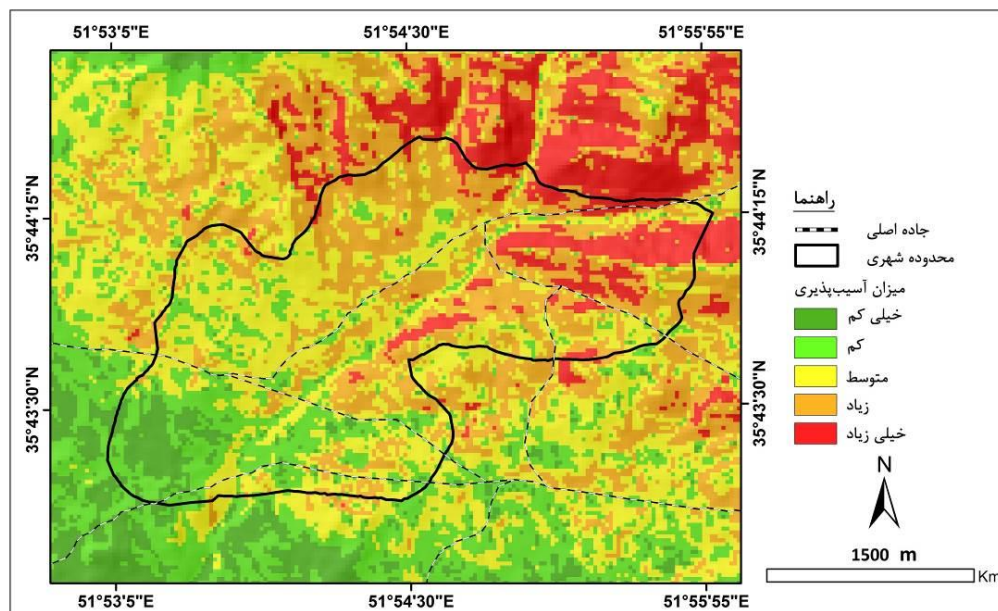
ردیف	پارامتر	وزن	شکل
۱	ارتفاع	۰/۰۹۶	A
۲	شیب	۰/۲۰۴	B
۳	جهت شیب	۰/۰۷۵	C
۴	فاصله از رودخانه	۰/۱۳۱	D
۵	فاصله از جاده	۰/۱۴۵	E
۶	فاصله از گسل	۰/۱۱۶	F
۷	لیتولوژی	۰/۱۱۲	G
۸	کاربری اراضی	۰/۱۲۱	H



شکل ۵- فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی جهت شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای

پس از وزن دهی و فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌ها با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای در محدوده شهری رودهن تهیه شده است (شکل ۶). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق شرقی محدوده شهری رودهن به دلیل قرار گرفتن در دامنه‌های پرشیب و مرتفع و همچنین نزدیکی به رودخانه و جاده،

پتانسیل بالایی جهت وقوع حرکات دامنه‌ای است و در یک روند کلی این پتانسیل به سمت مناطق غربی محدوده شهر کاهش پیدا می‌کند.

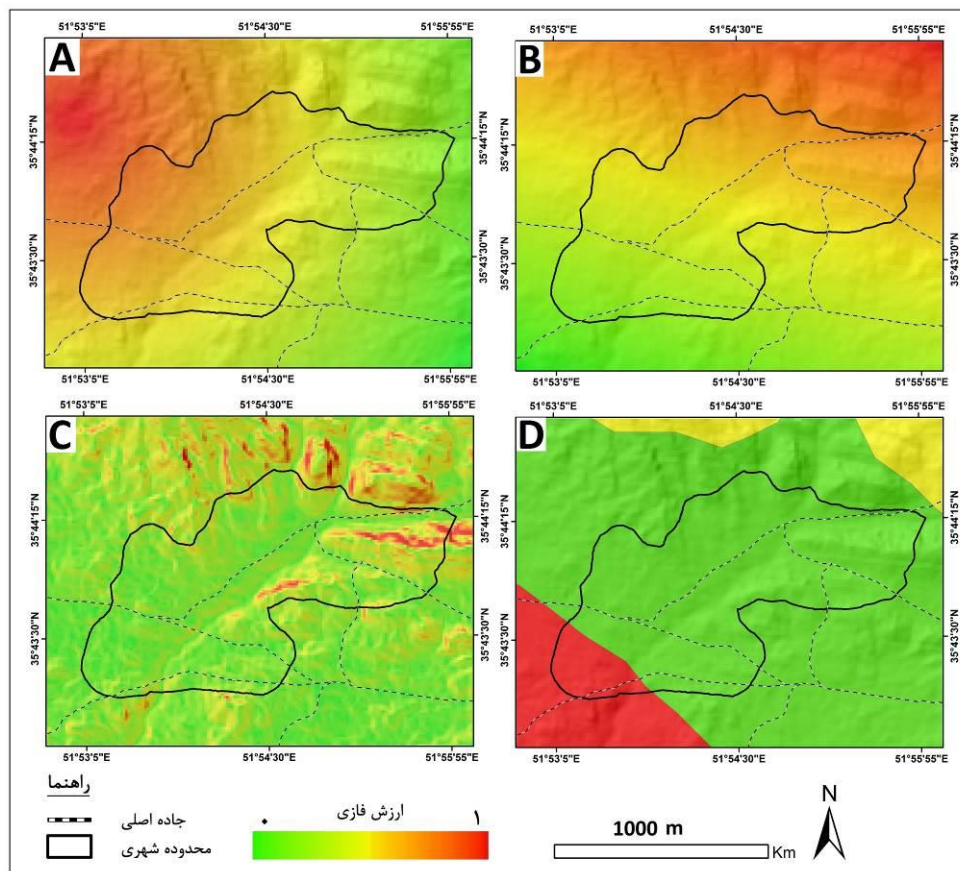


شکل ۶- نقشه مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای

شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه: در این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه از ۴ پارامتر (فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه، فاصله از گسل، شیب و لیتولوژی) استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، بر مبنای پتانسیلی که هر لایه جهت وقوع سیلاب دارد، لایه‌ها فازی‌سازی و وزن‌دهی شده‌اند (جدول ۳ و شکل ۷). با توجه به اینکه مناطق نزدیک به کانون‌های زلزله و خطوط گسل، مستعد وقوع زلزله هستند، بنابراین به مناطق نزدیک به کانون‌های زلزله و خطوط گسلی، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر داده شده‌است. برای پارامتر شیب، با توجه به اینکه مناطق مستعد پرتشیب ناپایداری بالایی در برابر زلزله دارند، بنابراین به مناطق پرتشیب ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با شیب کم‌تر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. همچنین نوع لیتولوژی نیز در میزان آسیب‌پذیری نقش مهمی دارد، به‌طوری‌که به مناطق دارای لیتولوژی سست، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دارای لیتولوژی مقاوم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است.

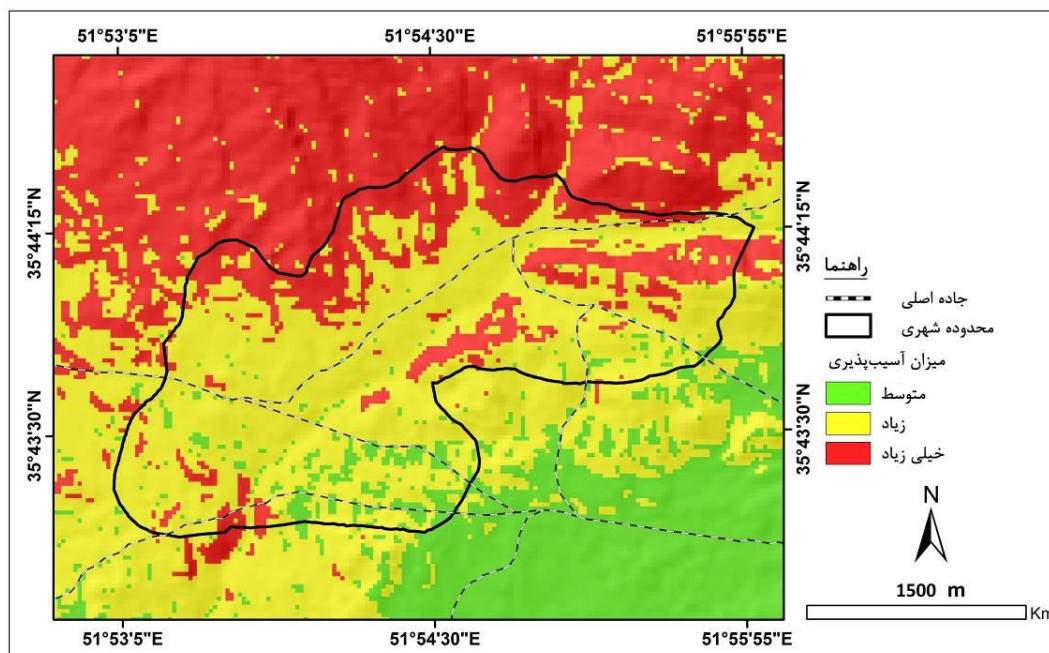
جدول ۳- نحوه فازی سازی و وزندهی به پارامترها جهت شناسایی مناطق آسیب پذیر در برابر زمین لرزه

ردیف	پارامتر	وزن	شکل
۱	فاصله از کانون زلزله	۰/۲۱۶	A
۲	فاصله از گسل	۰/۲۲۹	B
۳	شیب	۰/۳۱۹	C
۴	لیتولوژی	۰/۲۳۶	D



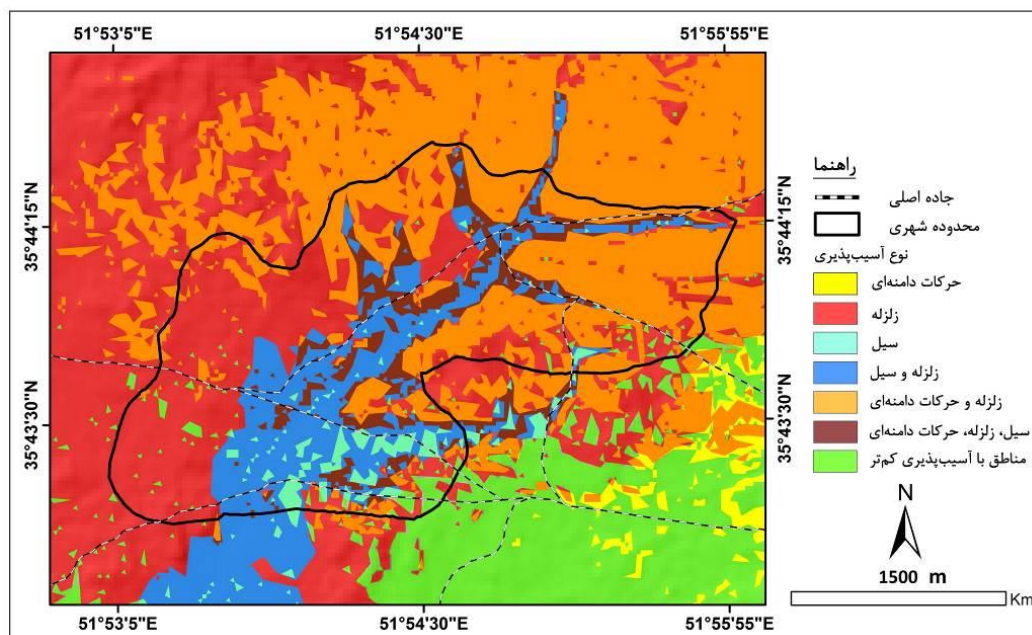
شکل ۷- فازی سازی لایه های اطلاعاتی جهت شناسایی مناطق آسیب پذیر در برابر زمین لرزه

پس از وزندهی و فازی سازی لایه های اطلاعاتی، لایه ها با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه مناطق آسیب پذیر در برابر زمین لرزه در محدوده شهری رودهن تهیه شده است (شکل ۸). بر اساس نقشه تهیه شده، بخش های شمالی منطقه به دلیل نزدیکی به خطوط گسل، نزدیکی به کانون های زلزله و همچنین شیب زیاد، دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر زلزله های احتمالی هستند.



شکل ۸- نقشه مناطق آسیب‌پذیر در برابر زمین‌لرزه

-تحلیل نتایج: بررسی وضعیت مخاطره‌پذیری شهر رودهن بیانگر این است که این شهر پتانسیل بالایی جهت وقوع انواع مخاطرات طبیعی از جمله سیلاب، حرکات دامنه‌ای و زمین‌لرزه دارد. در این پژوهش مناطق مستعد وقوع هر کدام از مخاطرات مذکور شناسایی شد و در این بخش بر مبنای نتایج به دست آمده از مراحل قبل، نقشه مخاطرات محدوده شهری رودهن تهیه شده است (شکل ۹). بر اساس نقشه مذکور، بخش‌های غربی و شمالی شهر رودهن به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، کانون‌های زلزله و شیب زیاد، مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای و همچنین دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا در برابر زمین‌لرزه هستند. بخش‌های میانی منطقه به دلیل نزدیکی به رودخانه، ارتفاع و شیب کم مستعد وقوع سیلاب هستند، همچنین این مناطق نیز پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر زمین‌لرزه دارند. همچنین بر اساس نقشه مذکور، بخش‌های جنوب شرقی محدوده مطالعاتی بر اساس پارامترهای مورد استفاده در تحقیق، نسبت به سایر مناطق محدوده، پتانسیل آسیب‌پذیری کم‌تری در برابر مخاطرات طبیعی دارند. با توجه به موارد مذکور، شهر رودهن دارای پتانسیل مخاطره‌پذیری بالایی است و راهکار عملیاتی آن، توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی متناسب با وضعیت منطقه است. در واقع، مقاوم کردن نواحی سکونتگاهی در برابر زمین‌لرزه و ممانعت از توسعه سکونتگاه‌ها به سمت مناطق مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای و سیلاب، مهم‌ترین راهکار عملیاتی آن محسوب می‌شود.

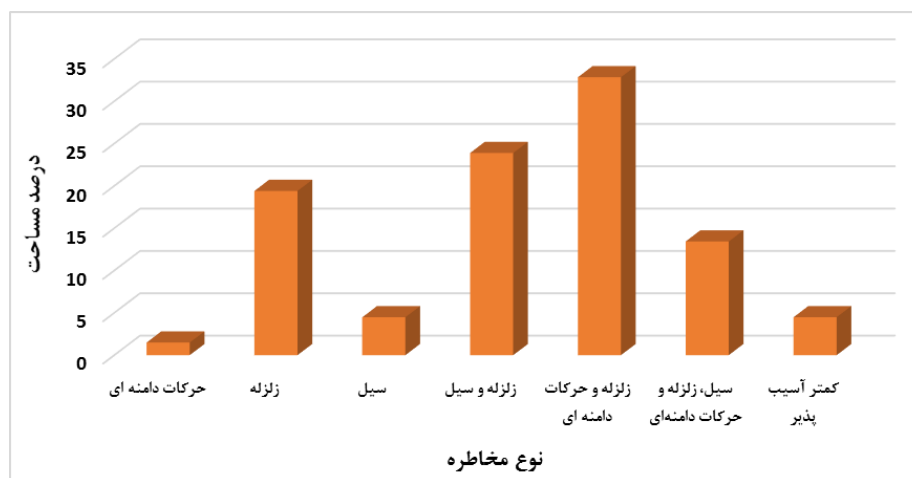


شکل ۹- نقشه مخاطرات محدوده شهری رودهن

در جدول ۴ و شکل ۱۰، مساحت و درصد مساحت محدوده شهری رودهن که در معرض هر کدام از مخاطرات قرار دارند نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله، ۱/۵ درصد از مساحت شهر رودهن، بیش تر در معرض مخاطرات حرکات دامنه‌ای قرار دارد. ۱۹/۴ درصد از آن که شامل مناطق غربی این شهر است، پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر زلزله دارند. ۴/۵ درصد از آن که شامل مناطق مجاور رودخانه است، در معرض سیلاب قرار دارند. ۲۳/۹ درصد از آن که شامل مناطق میانی این شهر است در معرض سیل و زلزله قرار دارند. ۳۲/۸ درصد از آن که شامل مناطق شمالی و شرقی این شهر است در معرض زلزله و حرکات دامنه‌ای قرار دارد. ۱۳/۴ درصد از این شهر که عمدتاً شامل مناطق میانی این شهر است در معرض هر سه مخاطره قرار دارند و همچنین ۴/۵ درصد از محدوده این شهر نیز دارای پتانسیل آسیب پذیری کمی هستند. با توجه به موارد مذکور، حدود ۹۵ درصد از مساحت شهر رودهن دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی در برابر مخاطرات طبیعی است.

جدول ۴- مساحت و درصد مساحت مناطق آسیب پذیر شهر رودهن در برابر مخاطرات طبیعی

نوع مخاطره	حرکات دامنه‌ای	زلزله	سیل	زلزله و سیل	زلزله و حرکات دامنه‌ای	سیل، زلزله و حرکات دامنه‌ای	کم تر آسیب پذیر
مساحت	۰/۱	۱/۳	۰/۳	۱/۶	۲/۲	۰/۹	۰/۳
درصد مساحت	۱/۵	۱۹/۴	۴/۵	۲۳/۹	۳۲/۸	۱۳/۴	۴/۵



شکل ۱۰- نمودار درصد مساحت مناطق آسیب‌پذیر شهر رودهن در برابر مخاطرات طبیعی

۴- جمع‌بندی

مخاطرات محیطی همواره با خسارات جانی و مالی زیادی همراه هستند و همین مسئله سبب شده است تا بررسی مخاطرات و شناسایی مناطق مخاطره‌آفرین دارای اهمیت زیادی باشد. در مورد شناسایی مناطق مخاطره‌آفرین تحقیقات مختلفی صورت گرفته است، اما در این تحقیق، بر خلاف بسیاری از تحقیقات پیشین که به بررسی یک مخاطره پرداخته شده است، مخاطرات مختلف شهر رودهن ارزیابی شده است و در نهایت نقشه مناطق مستعد وقوع هر مخاطره در این شهر تهیه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مناطق شمالی و غربی شهر رودهن به دلیل داشتن ارتفاع و شیب زیاد، نزدیکی به رودخانه و همچنین راه ارتباطی، پتانسیل بالایی جهت وقوع حرکات دامنه‌ای است. مناطق میانی این شهر نیز به دلیل نزدیکی به رودخانه اصلی، ارتفاع و شیب کم، پتانسیل بالایی جهت وقوع مخاطره سیلاب دارد. همچنین بخش‌های میانی و غربی محدوده نیز به دلیل نزدیکی به کانون‌های زلزله و خطوط گسل و همچنین به دلیل داشتن شیب زیاد، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره سیلاب دارند. با توجه به موارد مذکور، شهر رودهن پتانسیل بالایی جهت وقوع مخاطرات طبیعی دارد و به‌صورت کلی بخش‌های غربی و شمالی شهر رودهن به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، کانون‌های زلزله و شیب زیاد، مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای و همچنین دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا در برابر زمین‌لرزه هستند. بخش‌های میانی منطقه به دلیل نزدیکی به رودخانه، ارتفاع و شیب کم مستعد وقوع سیلاب هستند، همچنین این مناطق نیز پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی در برابر زمین‌لرزه دارند. همچنین بر اساس نقشه مذکور، بخش‌های جنوب شرقی محدوده مطالعاتی بر اساس پارامترهای مورد استفاده در تحقیق، نسبت به سایر مناطق محدوده، پتانسیل آسیب‌پذیری کم‌تری در برابر مخاطرات طبیعی دارند.

کتابنامه

- امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌الله؛ قنبری نسب، علی؛ ۱۳۹۳. شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو. فصلنامه پدافند غیرعامل. دوره ۳. صص ۱۸-۵. https://www.joem.ir/article_11584.html
- آزادخانی، پاکزاد؛ حسین‌زاده، جعفر؛ صیدی، روح‌الله؛ ۱۳۹۹. شناسایی و تعیین پهنه‌های مناسب مخاطرات محیطی مؤثر در توسعه کالبدی شهر ایلام. مجله مخاطرات محیطی. دوره ۹. شماره ۲۳. صص ۴۰-۱۹. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2019.28273.1484>
- بهاروند، سیامک؛ سارویی، حمزه؛ سوری، سلمان؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (مطالعه موردی: حوضه ده سفید لرستان). فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال ۱۰. شماره ۳۵. صص ۸۶-۷۵. https://jopg.larestan.iau.ir/article_532550.html
- تیموری، مهدی؛ اسدی نلیوان، امید؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی حساسیت و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (مطالعه موردی: استان لرستان). مجله هیدروژئومورفولوژی. دوره ۶. شماره ۲۱. صص ۱۷۹-۱۵۵. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_10115.html
- رنجبر، محسن؛ بیات، سارا؛ ۱۳۸۹. بررسی مخاطرات طبیعی شهرستان خمین با تأکید بر زلزله و مدیریت بحران، فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس. سال ۲. شماره ۴. صص ۴۹-۳۷. <https://www.sid.ir/paper/175735/fa>
- ساسان‌پور، فرزانه، آهنگری، نوید؛ حاجی‌نژاد، صادق؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تاب‌آوری منطقه ۱۲ کلانشهر تهران در برابر مخاطرات طبیعی. مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. سال ۴. شماره ۳. صص ۹۸-۸۵. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2701-fa.html>
- صفاری، امیر؛ هاشمی، معصومه؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال ۹. شماره ۴۳. صص ۶۲-۴۳. <https://www.sid.ir/paper/501033/fa>
- قائدرحمتی، صفر؛ خادم‌الحسینی، احمد؛ سیاوشی، طاهره؛ ۱۳۹۲. تحلیل میزان ریسک‌پذیری سکونتگاه‌های شهری استان لرستان از خطر زلزله. جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای. سال ۹. شماره ۳. صص ۱۴-۱. <https://doi.org/10.22111/GAIJ.2014.1385>
- کاوایی‌راد، مراد؛ ۱۳۸۹. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی و بحران‌های بوم‌شناسی در ایران. فصلنامه مطالعات راهبردی. سال ۱۳. شماره ۲. صص ۵۷-۳۳. <https://www.sid.ir/paper/92789/fa>
- کریمی، محمدرضا؛ امیریان، سهراب؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل-Fuzzy AHP (مطالعه موردی: شهر تبریز). فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه کالبدی. دوره ۵. شماره ۲. صص ۱۲۴-۱۱۰. <https://ensani.ir/fa/article/470321>

گنجائیان، حمید؛ ۱۳۹۹. مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری، روش‌های مطالعه و راهکارهای کنترل آن. *انتشارات*

انتخاب. ۱۴۴ صفحه. <https://www.gisoom.com/book/11628118>

محمودزاده، حسن؛ موسی‌زاده، عهدیه؛ ۱۳۹۹. ارزیابی مکان‌گزینی مسیرهای مترو کلان‌شهر تبریز نسبت به مخاطرات

طبیعی با تاکید بر سیلاب و زلزله. *مجله مخاطرات محیطی*. دوره ۹. شماره ۲۶. صص ۹۱-۱۱۰. <https://doi.org/>

10.22111/JNEH.2020.32430.1587

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany–Liptovsky' Mikulaš Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, V 35, pp: 162-171.

<https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.002>

Bourenane, H., Bouhadad, Y., Guettouche, M.S., 2019. Flood hazard mapping in urban area using the hydrogeomorphological approach: case study of the Boumerzoug and Rhumel alluvial plains (Constantine city, NE Algeria), *Journal of African Earth Sciences*, V 160. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103602>

Bronfman, N. C., Cisternas, P. C., Repetto, P. B., Castañeda, J. V., 2019. Natural disaster preparedness in a multi-hazard environment: Characterizing the sociodemographic profile of those better (worse) prepared, *PLoS One*, V 14 (4).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214249>

Dintwa, K. F., Letamo, G., Navaneetham, K., 2019. Quantifying social vulnerability to natural hazards in Botswana: An application of cutter model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. V 37. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101189>

Duszyński, F., Jancewicz, K., Kasprzak, m., Piotr, M., 2017. The role of landslides in downslope transport of caprock-derived boulders in sedimentary tablelands, Stołowe Mts, SW Poland, *Geomorphology*, V 295, pp: 84–101. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.06.016>

Mia, M. T., Sultana, N., Paul, A., 2016. Studies on the Causes, Impacts and Mitigation Strategies of Landslide in Chittagong city, Bangladesh. *J. Environ. Sci.* V 8 (2), pp: 1-5. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v8i2.26854>

Pelling, M., 2003. The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience, *Earthscan Publications Ltd, London*. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v8i2.26854>

Qiang, Y., Nina, S.N., Lam, H. C., Lei, Z., 2017. Changes in Exposure to Flood Hazards in the United States, *Annals of the American Association of Geographers*, V 107. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1320214>

Soriano, D. G., Roman, A. Q., Orozco, J. J. Z., 2020. Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City, *Journal of South American Earth Sciences*, and V 102. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102667>

Tang, A & Wen, A., 2009. An Intelligent Simulation System for Earthquake Disaster Assessment, *Computers & Geosciences*, V 35, pp: 871– 879 .

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.03.003>



Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake

Monir Shirzad Gurjan^a, Hossein Namfar^{b*}, Abolfazl Ghanbari^c

^a PhD Candidate in Geography and Urban Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

^b Professor, Department of Geography and Urban and Rural Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

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

Received: 22 August 2022

Revised: 18 October 2022

Accepted: 3 December 2022

Abstract

The purpose of this study is determining the most suitable method to evaluate the vulnerability of informal settlements in Tabriz city against a possible earthquake. ELECTRE FUZZY models and the WASPAS model were used in relation to 13 criteria (passage width, building quality, materials, the number of floors, distance from public open space, distance from urban facilities, distance from medical centers, population density, building density, distance from fault, geological type, plot area, land use) were compared. For this purpose, all informal settlements in Tabriz city were analyzed and the results of both models were evaluated by the authors' field studies. Then, the most suitable method was chosen. The results of the research indicate that according to the WASPAS model, informal settlements located in Region 5 with a rank of 1 are the least vulnerable and region 10 is the most vulnerable with a rank of 6. Moreover, more than 57% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, 11.05% are exposed to high vulnerability, 03.27% are exposed to moderate, and only 4.01% are exposed to low vulnerability. The results of the ELECTRE FUZZY model calculations indicated that the informal settlements located in Mentafah 3 with the rank of 1 are the least and areas 1 and 10 are the most vulnerable with the rank of 5. Moreover, more than 34% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, more than 27% are exposed to high vulnerability, more than 25% are exposed to moderate vulnerability, and only 12.69% are exposed to low vulnerability. Based on the field studies of the researchers, the results of the ELECTRE FUZZY method are more accurate and realistic than the WASPAS method.

Keywords: Informal Settlement, Earthquake, Risk, Texture, Tabriz

*. Corresponding author: Hossein NazmFar E-mail: nazmfar@uma.ac.ir Tel: +989143019909

How to cite this Article: Shirzad Gurjan, M., Namfar, H., & Ghanbari, A. (2023). Estimating the level of vulnerability of informal settlements in Tabriz city against the risk of earthquake. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 285-305.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.78381.1273



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهارم و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۳۰۴-۲۸۵
مقاله پژوهشی

برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله

منیر شیرزاد گرجان- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
حسین نظم فر^۱- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
ابوالفضل قنبری- دانشیار دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۱۲

چکیده

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از هر دو مدل به وسیله مطالعات میدانی نویسنندگان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مناسب‌ترین روش انتخاب شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ۶ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و

Email: nazmfar@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۴۳۰۱۹۹۰۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

شیرزاد گرجان، منیر، نظم فر، حسین، قنبری، ابوالفضل. (۱۴۰۲). برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، صص ۳۰۵-۲۸۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273>

۱۱/۰۵٪ زیاد و ۲۷.۰۳٪ متوسط و فقط ۴/۰۱٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ زیاد و بیش از ۲۵٪ در متوسط و تنها ۱۲/۶۹٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر است.

کلیدواژه‌ها: سکونتگاه غیر رسمی، زلزله، ریسک، بافت، تبریز.

۱-مقدمه

امروزه نظر به رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت کشورهای در حال توسعه نوع خاصی از سکونتگاه‌ها تحت عنوان سکونتگاه‌های غیر رسمی در حال گسترش می‌باشند این سکونتگاه‌ها نماینده چالش‌های توسعه شهری می‌باشند (انزو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) و به دلیل نداشتن فرصت‌ها و گزینه‌های مناسب دچار محرومیت اجتماعی می‌شوند در نتیجه تبدیل به لکه‌های نامطلوب شهری می‌شوند (نیرج و ساندرآ، ۲۰۱۹). سکونتگاه‌های غیر رسمی به دلیل تراکم بالای جمعیت، کیفیت نامناسب ابنیه، استفاده از مصالح نامرغوب و... در زمان وقوع مخاطرات طبیعی دچار آسیب بسیار جدی خواهند شد. با تحلیل و مشخص کردن مناطق آسیب‌پذیر و همچنین طرح‌های از پیش تعیین شده می‌توان به‌طور جدی میزان خسارت را کاهش داد. رسیدن به این هدف نیازمند تصمیم‌گیری‌های صحیح و به‌موقع است؛ بنابراین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، صورتی دیگر از برنامه‌ریزی مسئله محور می‌باشند که با در نظر گرفتن پارامترهای موجود منجر به انتخاب بهترین گزینه می‌شوند. به دلیل پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های مشکلات شهری، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تلفیق آن‌ها با سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مناسب به‌منظور مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری مناطق حادثه‌خیز می‌باشند؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، مقایسه مدل WASPAS و ELECTRE FUZZY به‌منظور مشخص شدن مناسب‌ترین روش جهت تعیین میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز می‌باشد. سکونتگاه‌ها غیر رسمی شهر تبریز ۴۰۰ هکتار از مساحت این شهر را به خود اختصاص داده‌اند و دارای جمعیتی بیش از ۴۵۰ هزار نفر می‌باشند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). این سکونتگاه‌ها در مجاورت گسل فعال تبریز توسعه پیدا کرده‌اند که از لحاظ نوع ابنیه و برنامه‌ریزی شهری در وضعیت غیر استاندارد قرار دارند و هنگام مواجهه با مخاطره زلزله با وجود سطح بالای جمعیتی و سایر عوامل مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری شاهد خسارات جبران‌ناپذیر خواهیم بود. در زمینه پیشینه تحقیق به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: **خدمت زاده و**

1 Enzo et al

2 Neeraj and Sandra

همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهر ارومیه با رویکرد مدیریت بحران زلزله پرداخته‌اند نتایج مطالعات آن‌ها نشان‌دهنده آن است که، بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق با شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و نواحی با تراکم جمعیتی بالا مشاهده می‌شود. نواحی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد با ۳۴/۱۲ درصد، زیاد با ۱۱/۸۱ درصد، متوسط با ۳۰/۳۷ درصد، کم با ۲۰/۸۹ درصد و خیلی کم با ۷/۲ درصد از مساحت بلوک‌های آماری را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی می‌توان گفت که ۴۵/۹۳ درصد از محدوده مورد مطالعه بر اساس معیارهای استفاده شده در تحلیل آسیب‌پذیرند. شمعی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از مدل Fuzzy AHP و سیستم اطلاعات مکانی به تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله پرداخته‌اند، یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که از لحاظ آسیب‌پذیری ۱۱ درصد مساحت بافت شهر در طیف خیلی کم، ۷ درصد در طیف کم، ۱۵ درصد در طیف متوسط، ۲۲ درصد در طیف بالا، و ۴۵ درصد در طیف خیلی بالا قرار دارد. بایرون و اکد و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای به ارزیابی چند معیاره مبتنی بر GIS برای پاسخ به زلزله و نکوور کانادا پرداخته‌اند، در این مطالعه، پاسخ سهامداران ناآگاه، مطلع و غیر متخصص و خبره را در مدل‌سازی MCE برای برنامه‌ریزی پاسخ به زلزله در ونکوور، کانادا مقایسه می‌شوند. با استفاده از مدل‌های MCE با پیچیدگی متوسط تا پایین، شباهت‌ها و تفاوت‌ها را در اهمیت متغیرهای زیرساختی و اجتماعی اقتصادی، خدمات اضطراری و پتانسیل روانگرایی بین MCE غیر وزنی، MCE غیر متخصص آگاه با پیچیدگی متوسط و MCE کم برجسته شده است. جنا و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر باندآچه^۳ در کشور اندونزی، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS استفاده کردند. در تحقیق مذکور، عوامل مختلف اجتماعی، ساختاری و ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بخش مرکزی شهر در منطقه آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته است. همچنین در رابطه با پیشینه تحقیق می‌توان به مواردی همچون اسمیت و همکاران^۴ (۲۰۲۰)، گوا و کاپوکو^۵ (۲۰۲۰)، راترجان و همکاران^۶ (۲۰۲۰)، یاریان و همکاران^۷ (۲۰۲۰)، لَبانویا و همکاران^۸ (۲۰۱۸)، لیو^۹ و همکاران (۲۰۱۸) قریب‌نازاده و همکاران (۲۰۱۸)، ونتورا و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۶)، ضرابی و همکاران (۱۳۹۹)، خدادادی و همکاران (۱۳۹۹)، بازدار و همکاران (۱۳۹۹)، حسینی‌خواه و ضرابی (۱۳۹۸)، پاشاپور و همکاران (۱۳۹۸)، حیدریان (۱۳۹۶)، نیز اشاره کرد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌ها در رابطه با زلزله انجام شده است، ولی در رابطه با میزان

1 Byron Wakd et al

2 Jana et al

3 Banda Aceh

4 Smith et al

5 Goa and Capoco

6 Rutherjan et al

7 Yariyan

8 Abaniva et al

9 Lyu et al

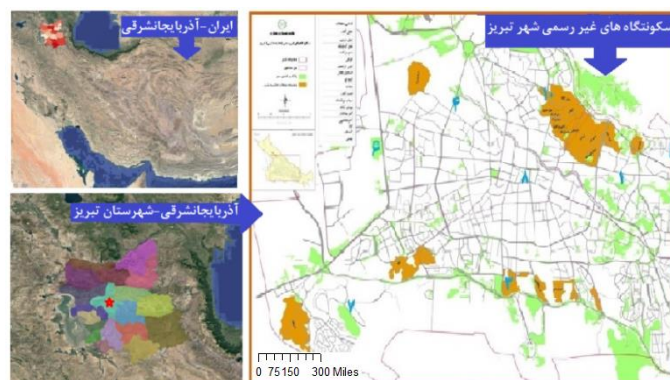
10 Ventura et al

آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر مخاطره زلزله مطالعات چندانی صورت نگرفته است و بیشتر از روش AHP استفاده شده است. همچنین مطالعات انجام شده در رابطه با سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز فقط چند ناحیه از سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر را مورد تحلیل قرار داده‌اند؛ بنابراین تحلیل کل سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز و مقایسه مدل ترکیبی WASPAS و ELECTRE FUZZY به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش سنجش میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله نوآوری پژوهش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهر تبریز دارای ۱۰ منطقه و ۳۸ ناحیه شهری است که از این بین ۶ منطقه و ۱۱ ناحیه دارای جمعیت ساکن سکونتگاه غیر رسمی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

این مطالعه از نظر روش توصیفی - تحلیلی و هدف کاربردی محسوب می‌شود. برای گردآوری داده‌ها از اسناد و مدارک نوشتاری (مقالات)، داده‌های آماری، اسناد تصویری و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آذربایجان شرقی، نقشه شهری ۱/۲۰۰۰، مدل ارتفاع رقومی (DEM) ده متر آذربایجان شرقی، نقشه طبقات ارتفاعی آذربایجان شرقی، نقشه شیب آذربایجان شرقی، نقشه گسل‌های اصلی و فرعی آذربایجان شرقی و نقشه کاربری اراضی شهر تبریز مورد استفاده در پژوهش بودند. در پژوهش حاضر به منظور تبیین وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر

شاخص‌های (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) به‌عنوان معیارهای نهایی انتخاب شدند. به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌ها و متغیرها از مدل ELECTRE FUZZY و از تکنیک WASPAS استفاده شده است. بعد از اعمال وزن‌ها در لایه‌های ورودی در نرم‌افزار GIS، لایه‌ها با هم تلفیق شدند و خروجی نهایی به دست آمد. در مرحله آخر نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY و تکنیک WASPAS با هم مقایسه شدند.

۲-۳- تکنیک WASPAS

این روش، یکی از روش‌های نسبتاً جدید تصمیم‌گیری چند معیاره با دقت بسیار بالا است که در واقع برگرفته از دو مدل (مدل مجموع وزنی) و (مدل ضرب وزنی) می‌باشد (زاوادسکاس، ۲۰۱۲). در روش WASPAS مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری شروع می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{M1} & X_{M2} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{ماتریس تصمیم‌گیری}$$

در ماتریس تصمیم‌گیری فوق، m نشان دهنده تعداد گزینه‌ها و n نشان دهنده تعداد معیارها است. پس از تشکیل این ماتریس، معیارهای مثبت و منفی در آن به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲)، نرمال‌سازی می‌شوند. اندازه‌های مثبت، اندازه‌هایی هستند که زیاد شدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد و اندازه‌های منفی اندازه‌هایی هستند که کم شدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد. به این مرحله، بی‌قاعده سازی می‌گویند که دلیل ضرورت انجام آن، متفاوت بودن جنس و واحد معیارها می‌باشد.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad \text{رابطه (1)}$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{رابطه (2)}$$

که در این رابطه \bar{x}_{ij} نرمال‌سازی شده x_{ij} و i و j به و j ترتیب اندکس گزینه‌ها و معیارها می‌باشند. در ادامه باید وزن معیارها با یکی از روش‌های وزن‌دهی به دست آیند (W_j). سپس مقادیر $Q_i^{(1)}$ و $Q_i^{(2)}$ که به ترتیب مربوط به جمع و ضرب وزنی می‌باشند، با استفاده از روابط (۳) و (۴) به دست می‌آیند.

$$Q_i^{(1)} = y_{ijsum} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (3)}$$

$$Q_i^{(2)} = y_{ijmult} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه (4)}$$

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad \text{رابطه (5)}$$

گام بعدی محاسبه معیار مشترک است رابطه (۵) که در این مرحله به نسبت مساوی و از طریق فرمول ۳ و ۴

اهمیت گزینه‌ها محاسبه می‌شود

بر اساس مقدار Q_i می‌توان مقادیر را طبقه‌بندی نمود. دقت و تأثیرگذاری روش و اسپاس در این است که مهم بودن گزینه i ام از طریق محاسبه لاندا در فرمول زیر محاسبه شود. به منظور افزایش دقت و اثربخشی رتبه‌بندی فرآیند تصمیم‌گیری، در روش WASPAS یک معادله تعمیم یافته‌تر برای تعیین اهمیت نسبی کل گزینه i ام، مانند رابطه (۶) ایجاد می‌شود:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (\lambda = 0.0.1 \dots 1) \quad \text{رابطه (6)}$$

$$Q_i^\lambda = \lambda i \sum_{j=1}^n y_{ijSUM} + (1 - \lambda i) \prod_{j=1}^n y_{ijMULT} \quad \text{رابطه (7)}$$

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2(Q_i^{(1)}) + \sigma^2(Q_i^{(2)})} \quad \text{رابطه (8)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{(\prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j w_j})}{(\bar{x}_{ij})^{w_j (\bar{x}_{ij})^{(1-w_j)}}} \right)^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (9)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n w_j^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (10)}$$

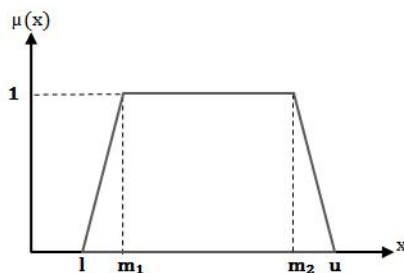
$$\sigma^2(\bar{x}_{ij}) = (0.05 \bar{x}_{ij})^2 \quad \text{رابطه (11)}$$

در نهایت، گزینه‌ها می‌توانند بر مبنای ارزش Q رتبه‌بندی شوند. مقدار بهینه λ بر اساس معادلات بالا به دست می‌آید. مقدار λ ، سهم معادله جمع وزنی و معادله ضرب وزنی در معادله نهایی را مشخص می‌کنند (دانی و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۴- روش ELECTRE FUZZY

حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم فازی شروع می‌شود (رابطه ۱۳):

برای تشکیل آرایه تصمیم فازی از m گزینه و n معیار استفاده می‌شود، ابتدا اهمیت فازی هر معیار مشخص می‌شود این اهمیت همان وزن معیار است که توانایی دارد مستقیم توسط تصمیم گیرنده تعیین شود و یا از روش‌هایی نظیر AHP FUZZY و یا مدل بهترین بدترین فازی تعیین شود. هرچند می‌توان وزن‌ها را به صورت حتمی تعیین کرد و جهت فازی کردن آن وزن را سه بار تکرار نمود. لازم به ذکر است در تحقیق پیش رو، از روش الکترو فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است (شکل ۲). با توجه به این که اعداد فازی به صورت سلیقه‌ای در نظر گرفته می‌شوند، در پژوهش حاضر عددها بین ۰ و ۱ در نظر گرفته شده است (جدول ۱).



شکل ۲- عدد فازی دوزنقه‌ای

جدول ۱- تعیین حدود فازی و پارامترهای زبانی

اعداد فازی دوزنقه‌ای	عبارت اختصاری	پارامترهای زبانی
(۰،۰،۰/۱،۰/۲)	VL	Very Low (خیلی پایین)
(۰/۰،۰/۲،۰/۲،۰/۳)	L	Low (پایین)
(۰/۲،۰/۳،۰/۴،۰/۵)	ML	Medium Low (نسبتاً پایین)
(۰/۴،۰/۵،۰/۵،۰/۶)	M	Medium (متوسط)
(۰/۵،۰/۶،۰/۷،۰/۸)	MH	Medium High (نسبتاً بالا)
(۰/۷،۰/۸،۰/۸،۰/۹)	H	High (بالا)
(۰/۸،۰/۹،۱،۱)	VH	Very High (خیلی بالا)

منبع: سینوار و همکاران، ۲۰۱۴

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} \bar{W}_1 & \bar{W}_2 & \dots & \bar{W}_n \\ \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (13)}$$

۶-۲- Normalization آرایه تصمیم

در روش الکره فازی توسط دو فرمول زیر برای معیارهای مثبت و منفی انجام می‌شود اگر معیار حالت مثبت داشت از رابطه (۱۴) استفاده می‌کنیم و اگر معیار حالت منفی داشته باشد از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^i, r_{ij}^y, r_{ij}^w) = \left(\frac{x_{ij}^i}{c_j^*}, \frac{x_{ij}^y}{c_j^*}, \frac{x_{ij}^w}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max(r_{ij}^w), j \in B \quad \text{رابطه (14)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^i, r_{ij}^y, r_{ij}^w) = \left(\frac{a_j^-}{x_{ij}^w}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^y}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^i} \right), \quad a_j^- = \min(x_{ij}^i), j \in C \quad \text{رابطه (15)}$$

۷-۲- تشکیل آرایه Normalization وزن دار

در این مرحله وزن معیارهایی را که در گام ۱ بدست آورده بودیم، در آرایه نرمال شده ضرب می‌کنیم. تا آرایه وزن دار به وجود آید (جدول ۴).

۸-۲- محاسبه امتداد بین هر دو انتخاب

در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۶) امتداد بین هر دو انتخاب مساله را نسبت به هر رابطه بدست می‌آوریم. مجموعه سازگار و ناسازگار از آرایه وزن دار شده بدست می‌آیند و برای تشکیل آرایه‌های سازگار و ناهماهنگ از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود.

$$d = (\bar{A}, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (A_k - B_k)^2} \quad \text{رابطه (16)}$$

۲-۹- ساخت کلکسیون هماهنگ و ایجاد آرایه هماهنگ

کلکسیون هماهنگ کلکسیونی از گزینه است که $V_{xz} > V_{yz}$ است که V همان آرایه نرمال وزن دار است که آ؛ که هماهنگ از مجموع وزن تمام گزینه‌ها موجود در گزینه‌های هماهنگ بر اساس رابطه (۱۷) حاصل می‌شود (جدول ۵).

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \dots & \tilde{C}_{1X} & \dots & \tilde{C}_{1(m-1)} & \tilde{C}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{x1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{C}_{x(m-1)} & \tilde{C}_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{(m-1)1} & \dots & \tilde{C}_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{m1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{C}_{m(m-1)} & \tilde{C}_{mm} \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \tilde{C}_{xy} = (c_{xy}^i, c_{xy}^y, c_{xy}^w) = \left(\sum_{j \in j^c} W_j^i, \sum_{j \in j^c} W_j^y, \sum_{j \in j^c} W_j^w \right) \quad \text{رابطه (17)}$$

در نهایت مقدار نهایی کلکسیون هماهنگ را از رابطه (۱۸) بدست می‌آوریم؛ که این همان میانگین حسابی از آرایه هماهنگ است.

$$\bar{C} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{(m-1)} \frac{\tilde{C}_{xy}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (18)}$$

۲-۱۰- تشکیل آرایه بولین هماهنگ

با استفاده از مقدار نهایی و آرایه هماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد مطابق رابطه (۱۹). اگر درایه آرایه هماهنگ از مقدار نهایی بزرگ‌تر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین ۱ می‌شود و برعکس.

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1X} & \dots & e_{1(m-1)} & e_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{x1} & \dots & \dots & \dots & e_{x(m-1)} & e_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{(m-1)1} & \dots & e_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & \dots & \dots & \dots & e_{m(m-1)} & e_{mm} \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \{ \tilde{C}_{xy} \geq \bar{C} \leftrightarrow e_{xy} = 1, \quad \text{and } \tilde{C}_{xy} < \bar{C} \leftrightarrow e_{xy} = 0 \quad \text{رابطه (19)}$$

۲-۱۱- ساخت کلکسیون ناهماهنگ و ایجاد آرایه ناهماهنگ

کلکسیون ناهماهنگ کلکسیونی از گزینه‌ها $V_{xz} < V_{yz}$ است. آرایه ناهماهنگ یک آرایه مربعی می‌باشد که بعد آن تعداد انتخاب‌هاست. هر یک از درایه‌های این آرایه، شاخص ناهماهنگ بین دو انتخاب نامیده می‌شود (جدول ۶) جدول ۶ این شاخص از رابطه (۲۰) بدست می‌آید.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1X} & \dots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{x1} & \dots & \dots & \dots & d_{x(m-1)} & d_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{(m-1)1} & \dots & d_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & \dots & \dots & \dots & d_{m(m-1)} & d_{mm} \end{bmatrix}$$

where

$$d_{xy} = \frac{\max_{j \in j^p} |\tilde{v}_{xj} - \tilde{v}_{yj}|}{\max_j |\tilde{v}_{xj} - \tilde{v}_{yj}|} = \frac{\max_{j \in j^p} |d(\max(\tilde{v}_{xj}, \tilde{v}_{yj}), \tilde{v}_{xj})|}{\max_j |d(\max(\tilde{v}_{xj}, \tilde{v}_{yj}), \tilde{v}_{xj})|} \quad \text{رابطه (20)}$$

همچنین مقدار نهایی ناهماهنگی با استفاده از رابطه (۲۱) بدست می‌آید:

$$\bar{d} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{(m-1)} \frac{d_{xy}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (21)}$$

۲-۱۲- تشکیل آرایه بولین ناهماهنگ

با استفاده از مقدار نهایی و آرایه ناهماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد. اگر درلیه آرایه ناهماهنگ از مقدار نهایی بیشتر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین صفر می‌شود و بر عکس مطابق رابطه (۲۲).

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1x} & \dots & f_{1(m-1)} & f_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{x1} & \dots & \dots & \dots & f_{x(m-1)} & f_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & e_{xy} & \dots & \dots \\ f_{(m-1)1} & \dots & f_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & \dots & \dots & f_{m(m-1)} & f_{mm} \end{bmatrix}$$

where $\{d_{xy} \geq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 0, \quad \text{and } d_{xy} \leq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 1$ رابطه (22)

۲-۱۳- تشکیل آرایه انتهایی

آرایه انتهایی از ضرب درایه‌های متناظر دو آرایه بولین هماهنگ و ناهماهنگ بدست می‌آید. به عبارتی $H=E*F$. ماتریس H نیز یک آرایه صفر و یک است (جدول ۷).

۲-۱۴- طبقه‌بندی انتهایی انتخاب‌ها

آرایه تسلط انتهایی (H) اولویت‌های جزئی انتخاب‌ها را بیان می‌کند. به‌طور مثال، اگر مقدار h_{ke} برابر یک باشد به این معنی است که برتر بودن انتخاب k بر انتخاب e در هر دو حالت هماهنگ و غیر هماهنگ قابل قبول است؛ بنابراین هنوز انتخاب k شانس مسلط شدن توسط انتخاب‌های دیگر را دارد. انتخابی باید انتخاب شود که بیشتر از آن که مغلوب شود، تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را طبقه‌بندی کرد (جدول ۸) (جاسمی و احمدی، ۲۰۱۸).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از مدل WASPAS

پس از مشخص شدن معیارهای مورد بررسی در آسیب‌پذیری بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در مدل WASPAS وزن هر معیار بر اساس روش آنتروپی شانون مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲- وزن معیارهای پژوهش با استفاده از روش آنتروپی شانون

معیار	عرض مهر	کنیت آبیه	جس مصالح	کاربری اراضی	نماد طبقات	مساحت قطعات	زمین شناسی	فاصله از تأسیسات شهری	فاصله از فضای باز عمومی	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از گسل	تراکم جمعیت	تراکم ساختمانی
وزن	۰.۰۹۵	۰.۰۷۲	۰.۰۷۵	۰.۰۶۴	۰.۰۹۴	۰.۰۸۵	۰.۰۵۲	۰.۰۸۳	۰.۰۶۲	۰.۰۶۵	۰.۰۶۳	۰.۰۹۶	۰.۰۹۱
	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸	۸	۱	۴	۱

به منظور تشکیل ماتریس (گزینه ها و معیارها) در تکنیک WASPAS باید گزینه‌ها مشخص شوند؛ بنابراین مناطقی که سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در آنجا واقع شده‌اند به عنوان گزینه‌های مدل WASPAS در نظر گرفته شدند. (گزینه ۱ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱، گزینه ۲ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳، گزینه ۳ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۴، گزینه ۴ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵، گزینه ۵ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷، گزینه ۶ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱۰) در مرحله بعد مقادیر هر معیار برای تک تک گزینه‌ها مشخص شد. در نهایت بر اساس روابط ذکر شده برای تکنیک WASPAS، محاسبات در محیط نرم افزار متلب انجام گردید که نتایج مدل مذکور در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج محاسبات بر اساس مدل WASPAS برای مناطق آسیب پذیر

گزینه‌ها	wsm	wpm	Q1	Q2	λ	score
گزینه ۱	۰.۱۸۱۸۸۲	۰.۰۹۵۷۰۵	۰.۱۷۹۰۰۰	۰.۱۸۲۰۰۶	۰.۰۹۲۵۳	۰.۱۰۳۶۷۹
گزینه ۲	۰.۳۰۸۲۵۲	۰.۱۴۴۲۶۳	۰.۵۲۱۰۰۵	۰.۴۱۴۰۰۶	۰.۰۷۳۶۴۹	۰.۱۵۶۳۴۱
گزینه ۳	۰.۳۸۳۰۹۳	۰.۱۸۵۵۹۵	۰.۶۴۳۰۰۵	۰.۶۸۵۰۰۶	۰.۰۹۶۳۵۳	۰.۲۰۴۶۲۵
گزینه ۴	۰.۶۵۹۷۱۱	۰.۳۵۵۰۳۹	۰.۰۰۰۱۲۳	۰.۲۵۱۰۰۵	۰.۱۶۹۵۲۲	۰.۴۰۶۶۸۷
گزینه ۵	۰.۲۷۶۲۴۹	۰.۱۱۱۱۷۱	۰.۳۶۹۰۰۰	۰.۲۴۶۰۰۶	۰.۰۶۲۴۹۹	۰.۱۲۱۴۸۹
گزینه ۶	۰.۲۱۷۹۲۷	۰.۰۹۱۴۰۶	۰.۲۶۲۰۰۵	۰.۱۶۶۰۰۶	۰.۰۵۹۵۸۲	۰.۰۹۸۹۴۵

وزن‌های اختصاص داده شده به هر یک از معیارها نرمال شده و در جدول ۲ ارائه شده است که بر اساس جدول فوق سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ از نظر آسیب‌پذیری در رتبه اول قرار دارد و سکونتگاه‌های واقع

در منطقه ۵ رتبه ۶ را کسب کرده‌اند؛ بنابراین بر اساس نتایج حاصل از جدول فوق آسیب‌پذیرترین سکونتگاه‌های غیر رسمی متعلق به منطقه ۱۰ می‌باشد. در مرحله بعد تغییرات وزن‌های اندازه‌گیری شده طبق تکنیک پژوهش، بر روی تک تک شاخص‌های پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

۲-۳- نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY

رتبه‌بندی سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق شهر تبریز بر اساس محاسبات ماتریس چیرگی نهایی (جدول ۷) به ترتیب زیر است:

سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ < سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۴ و ۵ < سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۷ < سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۱ و ۱۰

اختلاف امتیاز محاسبه شده با روش الکره فازی، حاکی از وجود اختلاف و شکاف بین سکونتگاه‌های غیر رسمی مناطق شهر تبریز در برابر آسیب‌پذیری از خطر زلزله است، به طوری که سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین میزان آسیب‌پذیری را تجربه خواهد کرد در حالی که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را از مخاطره زلزله تجربه خواهند کرد.

جدول ۴- اعداد فازی و ماتریس موزون شاخص‌ها

c2 (کیفیت ابنیه)				c1 (عرض معبر)					مناطق			
موزون فازی			فازی	موزون فازی				فازی				
0.00000	0.00072	0.00072	0.00151	L	0.00342	0.00352	0.00418	0.00590	MH	منطقه ۱		
0.00144	0.00195	0.00238	0.00260	MH	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۳		
0.00505	0.00079	0.00108	0.00159	ML	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۴		
0.00166	0.00187	0.00187	0.03749	H	0.00342	0.00418	0.00418	0.00932	H	منطقه ۵		
0.00144	0.00180	0.00180	0.00209	M	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۷		
0.00000	0.00000	0.00094	0.00130	VL	0.00342	0.00352	0.00418	0.00590	MH	منطقه ۱۰		
۰.۰۷۲۱					۰.۰۹۵۱						وزن	
C4 (کاربری اراضی)					C3 (جنس مصالح)							
موزون فازی			فازی		موزون فازی				فازی		مناطق	

0.00641	0.00128	0.00128	0.00154	L	0.00173	0.00210	0.00210	0.03980	H	منطقه ۱
0.00449	0.00083	0.00096	0.00205	ML	0.00150	0.00188	0.00188	0.00218	M	منطقه ۳
0.00128	0.00224	0.00224	0.00244	M	0.00000	0.00075	0.01000	0.00083	VL	منطقه ۴
0.00128	0.00173	0.00212	0.01987	MH	0.00000	0.00000	0.00098	0.00128	L	منطقه ۵
0.00000	0.00000	0.00071	0.00083	VL	0.00526	0.00083	0.00113	0.00143	ML	منطقه ۷
0.00641	0.00128	0.00128	0.00154	L	0.00150	0.00203	0.00248	0.00270	MH	منطقه ۱۰
۰.۰۶۴۱					۰.۰۷۵۱					وزن
C6 (مساحت قطعات)					C5 (تعداد طبقات)					مناطق
موزون فازی				فازی	موزون فازی				فازی	
0.00000	0.00085	0.00085	0.00179	L	0.00000	0.00094	0.00094	0.00198	L	منطقه ۱
0.00170	0.00213	0.00213	0.00247	M	0.00659	0.00104	0.00141	0.00207	ML	منطقه ۳
0.00170	0.00230	0.00281	0.00306	MH	0.00188	0.00198	0.00311	0.02635	MH	منطقه ۴
0.00196	0.00221	0.00221	0.04425	H	0.00188	0.00198	0.00311	0.02635	MH	منطقه ۵
0.00596	0.00094	0.00128	0.00187	ML	0.00188	0.00235	0.00235	0.00301	M	منطقه ۷
0.00000	0.00000	0.00111	0.00153	VL	0.00000	0.00000	0.00122	0.00169	VL	منطقه ۱۰
۰.۰۸۵۱					۰.۰۹۴۱					وزن
C8 (فاصله از تأسیسات شهری)					C7 (زمین شناسی)					مناطق
موزون فازی				فازی	موزون فازی				فازی	
0.00582	0.00091	0.00125	0.00183	ML	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۱
0.00000	0.00000	0.00108	0.00150	VL	0.00365	0.00057	0.00068	0.00125	ML	منطقه ۳

0.00166	0.00224	0.00274	0.00299	MH	0.00000	0.00000	0.00068	0.00089	VL	منطقه ۴
0.00191	0.00216	0.00216	0.04321	H	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۵
0.00000	0.00083	0.00083	0.00175	L	0.00000	0.00000	0.00068	0.00089	VL	منطقه ۷
0.00166	0.00208	0.00208	0.00241	M	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۱۰
۰.۰۸۳۱					۰.۰۵۲۱					وزن

ادامه جدول ۴- اعداد فازي و ماتريس موزون شاخص‌ها

C10 (فاصله از مراکز درمانی)					C9 (فاصله از فضاهای باز عمومی)					مناطق
موزون فازي				فازي	موزون فازي				فازي	
0.00000	0.00000	0.00086	0.00118	VL	0.00144	0.00163	0.00163	0.00427	H	منطقه ۱
0.00132	0.00165	0.00165	0.02171	M	0.00126	0.00157	0.00157	0.00182	M	منطقه ۳
0.00461	0.00072	0.00099	0.00987	ML	0.00440	0.00069	0.00094	0.00170	ML	منطقه ۴
0.00461	0.00072	0.00099	0.00987	ML	0.00270	0.00364	0.00458	0.00528	VH	منطقه ۵
0.00000	0.00066	0.00066	0.00171	L	0.00126	0.00170	0.00207	0.00245	MH	منطقه ۷
0.00000	0.00000	0.00086	0.00118	VL	0.00270	0.00364	0.00458	0.00528	VH	منطقه ۱۰
					۰.۰۶۲۸					وزن
C12 (تراکم جمعیت)					C11 (فاصله از گسل)					مناطق
موزون فازي				فازي	موزون فازي				فازي	
0.00000	0.00096	0.00096	0.00202	L	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۱
0.00000	0.00000	0.00125	0.00174	VL	0.00000	0.00063	0.00063	0.00133	L	منطقه ۳
0.00193	0.00260	0.00318	0.02603	MH	0.00145	0.00164	0.00164	0.03912	H	منطقه ۴
0.00193	0.00241	0.00241	0.00386	M	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۵
0.00193	0.00260	0.00318	0.02603	MH	0.00126	0.00170	0.00208	0.00574	MH	منطقه ۷
0.00675	0.00106	0.00145	0.00212	ML	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۱۰
۰.۰۹۶۴					۰.۰۶۳۱					وزن
C13 (تراکم ساختمان)										مناطق
موزون فازي					فازي					
0.00000	0.00091	0.00091	0.00191	L						منطقه ۱
0.00000	0.00091	0.00091	0.00191	L						منطقه ۳

0.00182	0.00228	0.00228	0.00310	M	منطقه ۴
0.00000	0.00000	0.00118	0.00164	VL	منطقه ۵
0.00210	0.00237	0.00237	0.05375	H	منطقه ۷
0.00638	0.00100	0.00137	0.00200	ML	منطقه ۱۰
۰.۰۹۱۱					وزن

جدول ۵- تشکیل ماتریس هماهنگ

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰.۴۱۰	۰.۴۳۲	۰.۱۶۶	۰.۴۳۲	۰.۵۲۹	۰	منطقه ۱
۰.۳۸۰	۰.۳۴۸	۰.۲۹۵	۰.۱۸۲	۰	۰.۳۸	منطقه ۳
۰.۶۳۵	۰.۵۸۰	۰.۳۲۶	۰	۰.۷۲۳	۰.۵۶۸	منطقه ۴
۰.۵۵۹	۰.۶۷۴	۰	۰.۵۱۴	۰.۷۰۵	۰.۷۱۹	منطقه ۵
۰.۵۶۸	۰	۰.۳۲۹	۰.۱۷۶	۰.۵۵۷	۰.۵۶۸	منطقه ۷
۰	۰.۴۳۲	۰.۲۶۳	۰.۳۸۶	۰.۶۲	۰.۳۹	منطقه ۱۰

جدول ۶- تشکیل ماتریس نا هماهنگ

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰.۲۲	۰.۶۳	۰.۱۷	۰.۶۷	۰.۶۳	۰	منطقه ۱
۰.۳۳	۰.۹۹	۰.۳۴	۰.۷۸	۰	۰.۱	منطقه ۳
۰.۹۵	۱.۰۲	۰.۹۵	۰	۰.۵۸	۰.۳۸	منطقه ۴
۰.۸۳	۰.۸۳	۰	۰.۱۹	۰.۱۷	۱.۰۲	منطقه ۵
۰.۹۶	۰	۰.۶۲	۰.۶۳	۰.۹۹	۰.۱۴	منطقه ۷
۰	۰.۲۴	۰.۸۳	۰.۵۷	۰.۹۹	۰.۹۷	منطقه ۱۰

جدول ۷- تشکیل ماتریس چیرگی نهایی H

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰	۱	۰	۱	۱	۰	منطقه ۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	منطقه ۳
۰	۱	۰	۰	۱	۰	منطقه ۴
۱	۱	۰	۰	۰	۱	منطقه ۵
۱	۰	۰	۰	۱	۰	منطقه ۷
۰	۰	۰	۱	۱	۱	منطقه ۱۰

جدول ۸- رتبه‌بندی نهایی

Rank	Diff	Loss	WIN	
۵	۰	۳	۳	منطقه ۱
۱	۶	۶	۰	منطقه ۳
۲	۳	۳	۳	منطقه ۴
۲	۳	۳	۳	منطقه ۵
۴	۲	۴	۲	منطقه ۷
۵	۰	۳	۳	منطقه ۱۰

۳-۳- وزن‌دهی و طبقه‌بندی آسیب‌پذیری هر کدام از متغیرها

بعد از اختصاص دادن داده‌ها به هر لایه، براساس طیف آسیب‌پذیری هر کدام از پارامترها، پارامترها وزن‌دهی شدند. اساس طبقه‌بندی‌ها بر اساس مطالعات پیشین بوده است. توابع مربوط به تک تک پارامترها و وزن‌دهی به آنها داخل شکل هر پارامتر آورده شده است.

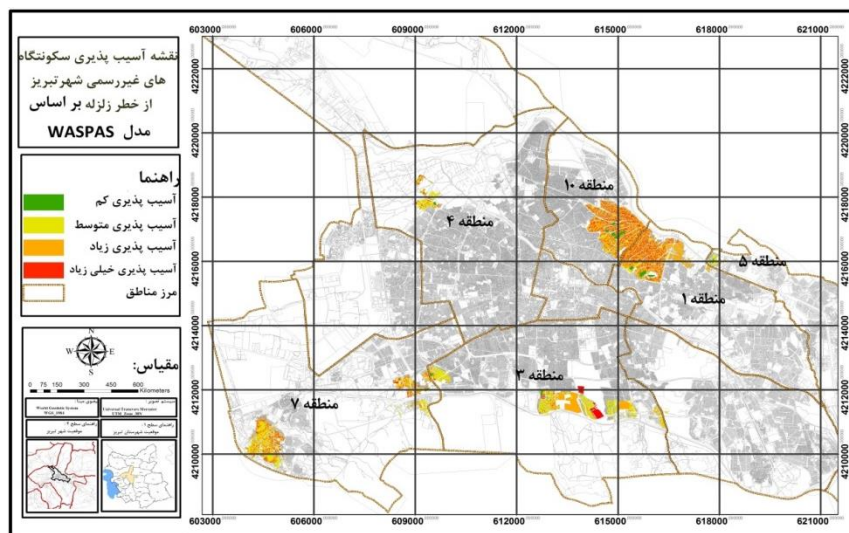
۳-۴- تلفیق نقشه‌ها و برآورد آسیب‌پذیری کل بر اساس مدل WASPAS

برای برآورد میزان آسیب‌پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر مخاطره زلزله بعد از مشخص شدن میزان آسیب‌پذیری هر پهنه بر اساس مدل WASPAS لایه‌های هم‌مقیاس شده مورد استفاده در پژوهش در محیط نرم‌افزار GIS با هم تلفیق شدند؛ بنابراین در نقشه نهایی (شکل ۳) میزان آسیب‌پذیری در چهار گروه دسته‌بندی شدند. نتایج نهایی حاکی از آن است ۵۷.۹۱٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱.۰۵٪ در معرض آسیب‌پذیری زیاد و ۲۷.۰۳٪ در معرض آسیب‌پذیری متوسط و تنها ۴.۰۱٪ از بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۹). همچنین از نظر طیف‌های آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ و ۱ در طیف خیلی زیاد، سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد تا متوسط، پس از آن سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۴ در طیف متوسط تا کم و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ در طیف کم تا متوسط آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۹- مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۲۴۸۲۷۰۱.۰۱	۵۷.۹۱
آسیب‌پذیری زیاد	۴۷۳۱۷۶.۶۹	۱۱.۰۵

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب پذیری متوسط	۱۱۵۸۷۱۹.۵۹	۲۷.۰۳
آسیب پذیری کم	۱۷۲۱۳۱.۷۶	۴.۰۱



شکل ۳- نقشه میزان کلی آسیب پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله بر اساس روش WASPAS

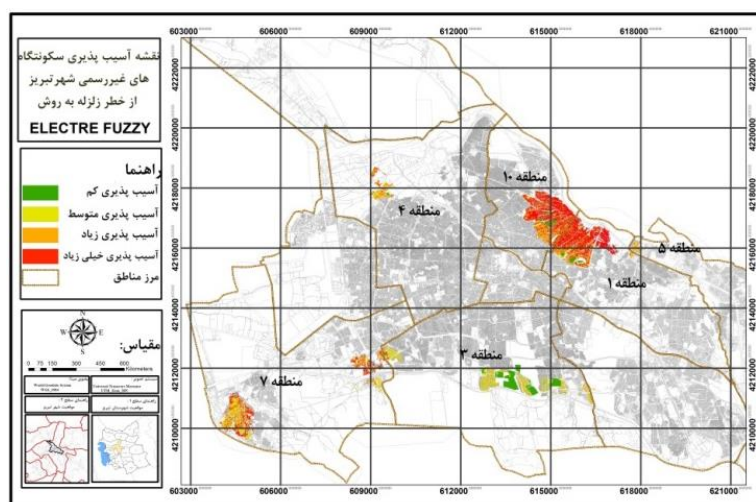
۳-۶- تلفیق نقشه ها و برآورد آسیب پذیری کل بر اساس مدل ELECTRE FUZZY

در این مرحله از پژوهش به منظور برآورد میزان آسیب پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز از گامای فازی استفاده شد. بدین منظور ابتداء داده‌ها، فازی سازی شدند سپس برای تلفیق لایه‌های فازی شده با یکدیگر و تهیه نقشه نهایی از روش الکتراه فازی استفاده کردیم تا نقشه‌ها وزن دار شوند و تأثیر هر شاخص در محاسبه میزان آسیب پذیری واقعی باشد. بدین ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل گاماهای مورد استفاده (۰.۸۰، ۰.۸۵، ۰.۹۰، ۰.۹۵) به منظور تهیه نقشه نهایی با استفاده از ابزار zonal statistics برای تک تک مناطقی که سکونتگاه غیر رسمی شهر تبریز در آنها واقع شده بود محاسبه شد و از این بین گامای ۰.۹۵ به عنوان بهترین گاما به منظور پهنه بندی آسیب پذیری انتخاب شد. در نقشه نهایی (شکل ۴) میزان آسیب پذیری در چهار گروه دسته بندی شدند. نتایج نهایی حاکی از آن است که بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ در معرض آسیب پذیری زیاد و بیش از ۲۵٪ در معرض آسیب پذیری متوسط و تنها ۱۲.۶۹٪ از بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۱۰). همچنین از نظر طیف‌های آسیب پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ در طیف خیلی زیاد،

سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد، سکونتگاه‌های واقع در مناطق ۴ و ۵ در طیف زیاد تا متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط تا کم آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۰- مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۱۴۸۳۶۴۶	۳۴.۶۱
آسیب‌پذیری زیاد	۱۱۶۳۰۰۲	۲۷.۱۳
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۹۶۲۹۱	۲۵.۵۷
آسیب‌پذیری کم	۵۴۳۷۸۹	۱۲.۶۹



شکل ۴- نقشه میزان کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله با عملگر گامای ۰.۹۵

و روش ELECTRE FUZZY

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل ترکیبی WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با

کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ۶ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱/۰۵٪ زیاد و ۲۷.۰۳٪ متوسط و فقط ۴/۰۱٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ زیاد و بیش از ۲۵٪ در متوسط و تنها ۱۲/۶۹٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر می‌باشد. روش ELECTRE FUZZY دارای توانایی تحلیل چندین محیط با حاکمیت ابهام می‌باشد. سکونتگاه‌های غیر رسمی که در طیف خیلی زیاد آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند، شامل محلاتی می‌باشند که دارای بیشترین تراکم جمعیتی و بافت ریز دانه هستند، اکثراً فاقد بناهای مقاوم‌اند و بدون برنامه‌ریزی اصولی بنا شده‌اند و از نظر پارامتر معبر، دارای معبرهای تنگ و کم‌عرض هستند؛ و اکثراً در حریم گسل شمال تبریز گسترش پیدا کرده‌اند؛ بنابراین افزایش مقادیر پارامترهای مانند تراکم جمعیت، کیفیت ابنیه، فاصله از گسل، تراکم ساختمان و... باعث شده تا سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در این محلات در طیف آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار بگیرند. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت مدیریت صحیح ساخت‌وساز و رعایت دقیق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز شاهد نزول خطرات ناشی از زلزله خواهیم بود.

کتابنامه

- بازدار، سجاد؛ زندمقدم، محمدرضا؛ کامیابی، سعید؛ ۱۳۹۹. سنجش و ارزیابی کمی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله نمونه موردی: استان ایلام. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال بیستم، شماره ۵۹. صص ۲۱۲-۱۹۷.
- <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3315-fa>
- پاشاپور، حجت‌الله؛ قربانی، رامین؛ فرهادی، ابراهیم؛ درودی‌نیا، عباس؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز. *فصلنامه آمایش محیط*، شماره ۴۵. صص ۶۹-۵۰.
- <https://sid.ir/paper/130783/fa>
- حسینی‌خواه، حسین و ضرابی، اصغر؛ ۱۳۹۸. نقش مدل ترکیبی تصمیم‌گیری WASPAS در شناسایی پهنه‌های لرزه‌خیز پژوهش موردی: مراکز جمعیتی شهرستان بهمئی در استان کهگیلویه و بویراحمد. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، سال ششم، شماره ۲، صص ۱۶۴-۱۷۵.

<https://sid.ir/paper/380009/fa>

حیدریان، شیدا؛ رحیمی، محمود؛ فتح الهی، ثریا؛ غفوری، سیروان؛ ۱۳۹۶. تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی نمونه موردی: محله فرحزاد تهران. *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، شماره ۱۱، ۲۶۰-۲۴۶.

<https://sid.ir/paper/505222/fa>

خدادادی فاطمه؛ انتظاری، مژگان؛ ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۵۶، صص ۹۳-۱۱۳.

<https://sid.ir/paper/390384/fa>

خدمت زاده، علی؛ موسوی، میر نجف؛ یوسف‌زاده، اردشیر؛ ۱۴۰۰. تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله مطالعه موردی: شهر ارومیه. *فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۶۲۲-۴۳.

<http://jshsp.iaurasht.ac.ir>

شماعی، علی؛ دانشور خرم، عاطفه؛ روان‌بخش، احمد؛ افسر، مجید؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۵۲، شماره ۱، صص ۱۳۰-۱۱۱

<https://sid.ir/paper/379608/fa>

ضرابی، اصغر؛ عباسی، شایسته؛ مشکینی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۹. ارزیابی توسعه پایدار شهری با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری در سکونتگاه‌های غیررسمی مورد مطالعه سکونتگاه‌های غیررسمی شهر سنندج. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۴، شماره ۷۴، صص ۱۳۳-۱۱۹.

[doi: 10.22034/gp.2021.10776](https://doi.org/10.22034/gp.2021.10776)

ملکی، سعید؛ امانپور، سعید؛ صفایی پور، مسعود؛ پورموسوی، سیددانا؛ مودت، الیاس؛ ۱۳۹۶. ارزیابی طیف تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی، نمونه موردی شهر ایلام. *نشریه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، سال ۲، شماره ۱۱، صص ۲۰۰-۹.

<https://sid.ir/paper/220148/fa>

Abunywah M, Gajendran T and Maund K., 2018. Profiling Informal Settlements for Disaster Risks, *Procedia Engineering*, Vol. 212: 238-245.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.031>

Byron Walker B, Nadine S, David S, John J., 2021. GIS-based multicriteria evaluation for earthquake response: a case study of expert opinion in Vancouver, Canada. *Natural Hazards*, 105:2075-2091. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04390-1>

Enzo F., Zambrano-Verratti, J., and Reinout, K., 2019. Web-Based Participatory Mapping in Informal Settlements: The Slums of Caracas, Venezuela, *Habitat International*, in Press, Corrected Proof, Available Online, Article 102038.

<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102038>

Guoa X, Kapucub N., 2020. Assessing social vulnerability to earthquake disaster using rough analytic hierarchy process method: A case study of Hanzhong City, China, *Safety Science* 125 :104625. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104625>

- Ghorbanzadeh O, Feizizadeh B, Blaschke T., 2018. Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1): 127-151.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1413012>
- Jena R, Pradhan B, Beydoun G., 2020. Earthquake vulnerability assessment northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 46: 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101518>
- Jasemi M and Ahmadi E., 2018. A new fuzzy ELECTRE-based multiple criteria method for personnel selection, Sharif University of Technology, *Scientia Iranica E Transactions E: Industrial Engineering* . 25(2): 943-953. <https://www.scientiairanica.sharif.edu>
- Lyu H, Shuilong J, Arulrajah A., 2018. Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China." *Sustainability* 10(2). 304. <https://doi.org/10.3390/su10020304>
- Neeraj, D., and Sandra, C., 2019. Residents' self-Initiatives for Flood Adaptation in Informal Riverbank Settlements of Kathmandu, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 40, Article 101156. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101156>
- Ratiranjana J, Biswajeet P, Ghassan B, Nizamuddin H, Ardiansyah A, Muzailin A., 2020. Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia, *Geoscience Frontiers* 11:613-634.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.07.006>
- Smith H, Coupé F, Ferrari S, Rivera H, Mera W., 2020. Toward negotiated mitigation of landslide risks in informal settlements: reflections from a pilot experience in Medellín, Colombia, *Ecology and Society* 25(1). 19. <https://doi.org/10.5751/ES-11337-250119>
- Senvar, O, Tuzkaya, G., Kahraman, C., 2014. Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method, *Journal of Department of Industrial Engineering Marmara University*, 3 (12).21-34. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53939-8_2
- Ventura S, Frigerio I, Strigaro D, Mattavelli M, Amicis M, Mugnano S, Boffi M., 2016. A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy, *Applied Geography* 74 : 12-22. <https://www.elsevier.com/locate/apgeog>
- Yariyan P, Avand M, Soltani F, Ghorbanzadeh O, Blaschke T., 2020. Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models, *Symmetry* 12(405): 1-31.
<https://doi.org/10.3390/sym12030405>
- Yazdani M, Zavadskas E, Ignatius J, Doval Abad M., 2016. Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics* 27(4) 382.
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.27.4.14005>



CONTENTS

- **Analysis of Climatic Zones and the Danger of Desertification in Karun Basin under Climate Change Conditions using UNEP Index** 1
Hossein Behzadi Karimi, Gholam Ali Mozaffari, Kamal Omidvar, Ahmad Mazidi
- **The Impact of Land Use Change on Water Yield in the Teraz Watershed, Khuzestan Province, Southwestern Iran** 2
Fazlolah Ahmadi Mirghaed, Babak Souri
- **Investigating the Accuracy and Efficiency of Hydrological Re-Analyzed Models in Estimating the Evaporation Rate from Dam Reservoirs (Case Study: Yamchi Dam, Ardabil)** 3
Zahra Vahabzadeh, Atabak Feizi, Leila Malekani
- **Spatial Analysis of Flood Risk with the Approach of Landuse Planning and Management in Urmia City** 4
Hassan Ahmadzadeh, Mostafa Davar panah
- **Spatial Analysis of Migration and Drought in Iran using Hot Spot Analysis and Standardized Precipitation Index** 5
Ali Azizi, Rasoul Sadeghi
- **Estimation and Detection of Air Pollution in the Coastal Provinces of the Persian Gulf with a Regional Climate Approach** 6
Ata Ghafari Gilandeh, Vahid Safarian Zengir
- **Forecasting Hazardous Heat Waves in East Azerbaijan by Modeling the Sixth Climate Change Report** 7
Sayyed Mohammmd Hosseini, Farhnaz Khoramabadi
- **The Impact of Air Quality Index (AQI) and Meteorological Factors on Covid-19 Outbreak (Case Study: Tehran Province)** 8
Ali Mohammadhasani, Hamidreza Kamyab, Hasan Razaei
- **Development of Machine Learning Algorithms to Predict Urban Air Quality Index (Study Area: Tehran City)** 9
Peyman Karami, Seyed Ahmad Eslaminezhad, Mobin Eftekhari, Faraz boroumand, Mohammad Akbari
- **Investigating the Impacts of Heavy Metals and the Environmental on the Soil Biodiversity (Hexapoda: Collembola)** 10
Ensieh Saberi Pour, Fatemeh Tabatabaei Yazdi, Morteza Kahrarian
- **Factors Affecting the Fragility of Metropolises using Structural Analysis Approach (Case Study: Tehran Metropolitan)** 11
Neda Eskandari, Zahra Sadat Saeideh Zarabadi, Farah Habib
- **Assessing the Role of Ngos in Increasing Social Resilience After the Flood Crisis (Case Study: Poldakhtar City)** 12
Shadi Galehdar, Shabnam Galehdar, Mandana Masoudi Rad
- **Assessment of Urban Resilience using an Objective and Subjective Approach during Hurricane Harvey** 13
Samane Kelidari, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, Mostafa Ghodousi
- **Potential Assessment of Vulnerable Areas Against Natural Hazards(Case Study: Roodehen City)** 14
Amir Saffari, Sara kiani, AmirAli Abbaszadeh
- **Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake** 15
Monir Shirzad Gurjan, Hossein Namfar, Abolfazl Ghanbari

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Editor – in – Chief:
Dr. S. R. Hosseinzadeh
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.

Executive Coordinator:
Sayyed Mohammad Ali Moosavi

English Language Editor:
Abdullah Nowruzy

Director:
Dr. S. R. Hosseinzadeh
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.

Managing Editor:
Dr. Neda Mohseni

Editorial Board:

Prof. Victor R. Baker
Department of Hydrology and Water Resource,
University of Arizona, USA

Prof. Ziyadin Çakir
Department of Geology, Istanbul Technical University,
Turkey

Prof. Gao-Lin Wu
Institute of Water and Soil Conservation, Chinese
Academy of Sciences

Dr. B. Feizizadeh
Department of Geography, Letters and Humanities
University of Tabriz

Professor Z. B. Hejazizadeh
Department of Geography,
University of Alkharazmi, Tehran, Iran.

Dr. S. R. Hoseinzadeh
Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Professor M. Ghahroudi Tali
Department of Geography,
University of Alkharazmi, Tehran, Iran.

Professor J. Javan
Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Professor A. Masudian
Department of Physical Geography,
University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Dr. M. Minaei
Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Dr. H. Negaresh
Department of Physical Geography,
University of Sistan, Zahedan, Iran.

Professor A. Nohegar
Department of Planning,
management, and education of
environment, University of Tehran,
Tehran, Iran.

Professor B. Sari Sarraf
Department of Physical
Geography University of Tabriz,
Tabriz, Iran.

Dr. Sh. Shataee Joybari
Department of forest sciences
University of Gorgan, Gorgan,
Iran.

Professor S. Velayati
Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran.

Professor M. Yamani
Department of Physical Geography,
University of Tehran, Tehran, Iran.

Geography and Environmental Hazards (ISSN:2322-1682) is published four times a year in June, September, December and March by Ferdowsi University of Mashhad, Postal Code 9177948883, mashhad-Iran, tel: +98(0) 5138805273

Fax: +98(0) 51 38794144 E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website: <http://geoeh.um.ac.ir>

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Notes For Contributors

AIMS AND SCOPE

Geography and environmental Hazards is an Iranian Interdisciplinary research journal devoted to the publication of original scientific and technical papers in natural and technological hazards. The subjects include of full rang of Hazardous events from extreme Geological, Geomorphological, Hydrological, Atmospheric and Biological events such as earthquakes, subsidence, floods, debris flows, landslids, storms, desertification, air pollution and epidemics to technological Impacts and Human malfunction such as industrial explosions, fires, nuclear and toxic waste releases. With an approach to Geography this journal highlightes issues of Geographically risk degree of regions, human exposure, vulnerability, awareness, respons to disasters and planning.

The role of hazards in affecting development process particularly in under development countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

NOTES FOR CONTRIBUTORS

Geography and Environmental Hazards is a bilingual Journal in Persian and English languages. Persian authors with papers in their own language must submit an extended abstract in English. authors with English papers must submit the initial electronic manuscript to one of the following Addresses:

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

Journal Email: geo.eh@um.ac.ir

The initial manuscript must be sent in two separate files, **word** and **pdf** form.

Manuscript Style

All submissions must be printed on A4 paper size, be double- line spaced and have a margin of 3.5 cm all round.

Illustrations and tables must be printed on separate sheets and not be incorporated into the text.

Title Page must list full title, short title, names and affiliations of author(s), and full address of each author. The precise mailing address, Telephon, Fax, and Email address of the corresponding author.

Supply an abstract of up to 300 words and a keyword list up to 6 words below the abstract. The abstract should precise the paper, giving a clear indication of Its conclusions. It should contain no citation to other published works.

Reference Style

References should be presented in the text as name of author and year within brackets and listeted at the end of the paper alphabetically. All references in the reference list should appear in the text.

Where reference is made to more than one work by the same author published in the same year, identify each citation in the text as follows: (Baker, 1987 a), (Baker 1987b). Where three or more outhors are listed in the reference list, cite in the text as (Baker et al 1998) References should be listed in the following style:

- **Journals:** Baker, V.R., 1994. Geomorphological understanding of floods. *Geomorphology* 10, 139–156.
- **Books:** Huggett, R., 1989. *Cataclysms and Earth history: the Development of Diluvialism*. Clarendon Press, Oxford, 220 pp.
- **Proceedings:** Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood Hydrology. In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Lavish, D.R. (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. Water Science and Application, vol. 5. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1–19.

Illustrations must relate clearly to the section in which appear and sholud be referred to in the text as **figure 1**, **figure 2**, etc. Illustrations should be supplied as **JPEG** or **TIFF** files, the filename must include the corresponding author, Surname and figure number. This journal is only greyscale so All figures (**Maps, graphs and pictures**) must be comprehensible in black and white, please use patterns to differentiate sections.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents (Abstracts)

VOLUME 12, NO 46, Summer 2023

Pages

- **Analysis of Climatic Zones and the Danger of Desertification in Karun Basin under Climate Change Conditions using UNEP Index** 1
Hossein Behzadi Karimi, Gholam Ali Mozaffari, Kamal Omidvar, Ahmad Mazidi
- **The Impact of Land Use Change on Water Yield in the Teraz Watershed, Khuzestan Province, Southwestern Iran** 2
Fazlollah Ahmadi Mirghaed, Babak Souri
- **Investigating the Accuracy and Efficiency of Hydrological Re-Analyzed Models in Estimating the Evaporation Rate from Dam Reservoirs (Case Study: Yamchi Dam, Ardabil)** 3
Zahra Vahabzadeh, Atabak Feizi, Leila Malekani
- **Spatial Analysis of Flood Risk with the Approach of Landuse Planning and Management in Urmia City** 4
Hassan Ahmadzadeh, Mostafa Davar panah
- **Spatial Analysis of Migration and Drought in Iran using Hot Spot Analysis and Standardized Precipitation Index** 5
Ali Azizi, Rasoul Sadeghi
- **Estimation and Detection of Air Pollution in the Coastal Provinces of the Persian Gulf with a Regional Climate Approach** 6
Ata Ghafari Gilandeh, Vahid Safarian Zengir
- **Forecasting Hazardous Heat Waves in East Azerbaijan by Modeling the Sixth Climate Change Report** 7
Sayyed Mohammad Hosseini, Farhnaz Khoramabadi
- **The Impact of Air Quality Index (AQI) and Meteorological Factors on Covid-19 Outbreak (Case Study: Tehran Province)** 8
Ali Mohammadhasani, Hamidreza Kamyab, Hasan Razaee
- **Development of Machine Learning Algorithms to Predict Urban Air Quality Index (Study Area: Tehran City)** 9
Peyman Karami, Seyed Ahmad Eslaminezhad, Mobin Eftekhari, Faraz boroumand, Mohammad Akbari
- **Investigating the Impacts of Heavy Metals and the Environmental on the Soil Biodiversity (Hexapoda: Collembola)** 10
Ensieh Saberi Pour, Fatemeh Tabatabaei Yazdi, Morteza Kahrarian
- **Factors Affecting the Fragility of Metropolises using Structural Analysis Approach (Case Study: Tehran Metropolitan)** 11
Neda Eskandari, Zahra Sadat Saeideh Zarabadi, Farah Habib
- **Assessing the Role of Ngos in Increasing Social Resilience After the Flood Crisis (Case Study: Poldakhtar City)** 12
Shadi Galehdar, Shabnam Galehdar, Mandana Masoudi Rad
- **Assessment of Urban Resilience using an Objective and Subjective Approach during Hurricane Harvey** 13
Samane Kelidari, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, Mostafa Ghodousi
- **Potential Assessment of Vulnerable Areas Against Natural Hazards(Case Study: Roodehen City)** 14
Amir Saffari, Sara kiani, AmirAli Abbaszadeh
- **Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake** 15
Monir Shirzad Gurjan, Hossein Namfar, Abolfazl Ghanbari



JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS



Research Journal

Volume. 12, No. 46, Summer 2023

- **Analysis of Climatic Zones and the Danger of Desertification in Karun Basin under Climate Change Conditions using UNEP Index**
Hossein Behzadi Karimi, Gholam Ali Mozaffari, Kamal Omidvar, Ahmad Mazidi
- **The Impact of Land Use Change on Water Yield in the Teraz Watershed, Khuzestan Province, Southwestern Iran**
Fazlolah Ahmadi Mirghaed, Babak Souri
- **Investigating the Accuracy and Efficiency of Hydrological Re-Analyzed Models in Estimating the Evaporation Rate from Dam Reservoirs (Case Study: Yamchi Dam, Ardabil)**
Zahra Vahabzadeh, Atabak Feizi, Leila Malekani
- **Spatial Analysis of Flood Risk with the Approach of Landuse Planning and Management in Urmia City**
Hassan Ahmadzadeh, Mostafa Davar panah
- **Spatial Analysis of Migration and Drought in Iran using Hot Spot Analysis and Standardized Precipitation Index**
Ali Azizi, Rasoul Sadeghi
- **Estimation and Detection of Air Pollution in the Coastal Provinces of the Persian Gulf with a Regional Climate Approach**
Ata Ghafari Gilandeh, Vahid Safarian Zengir
- **Forecasting Hazardous Heat Waves in East Azerbaijan by Modeling the Sixth Climate Change Report**
Sayyed Mohammad Hosseini, Farhnaz Khoramabadi
- **The Impact of Air Quality Index (AQI) and Meteorological Factors on Covid-19 Outbreak (Case Study: Tehran Province)**
Ali Mohammadhasani, Hamidreza Kamyab, Hasan Razaei
- **Development of Machine Learning Algorithms to Predict Urban Air Quality Index (Study Area: Tehran City)**
Peyman Karami, Seyed Ahmad Eslaminezhad, Mobin Eftekhari, Faraz boroumand, Mohammad Akbari
- **Investigating the Impacts of Heavy Metals and the Environmental on the Soil Biodiversity (Hexapoda: Collembola)**
Ensieh Saberi Pour, Fatemeh Tabatabaei Yazdi, Morteza Kahrarian
- **Factors Affecting the Fragility of Metropolises using Structural Analysis Approach (Case Study: Tehran Metropolitan)**
Neda Eskandari, Zahra Sadat Saeideh Zarabadi, Farah Habib
- **Assessing the Role of Ngos in Increasing Social Resilience After the Flood Crisis (Case Study: Poldakhtar City)**
Shadi Galehdar, Shabnam Galehdar, Mandana Masoudi Rad
- **Assessment of Urban Resilience using an Objective and Subjective Approach during Hurricane Harvey**
Samane Kelidari, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, Mostafa Ghodousi
- **Potential Assessment of Vulnerable Areas Against Natural Hazards(Case Study: Roodehen City)**
Amir Saffari, Sara kiani, AmirAli Abbaszadeh
- **Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake**
Monir Shirzad Gurjan, Hossein Namfar, Abolfazl Ghanbari



دانشگاه بهرگان



دانشگاه علوم کشاورزی و علوم طبیعی کرمان



دانشگاه سیستان و بلوچستان



دانشگاه خوارزمی تهران



دانشگاه تبریز



دانشگاه اصفهان

ISSN:2322-1682

Published by

Ferdowsi University of Mashhad