

مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی



(نشریه علمی)

سال نهم، شماره ۳۵، پاییز ۱۳۹۹، شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

- بررسی الگوهای همدیدی آلودگی های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان شهر تهران
حسن لشکری، قاسم کیخسروی، ندا کریمیان
- منشأیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار در شهرستان سرخس
معصومه درمانی، هایده آراء، علیرضا راشکی، آبرادات مافی
- تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS...
مهدی مدیری، محمد اسکندری، سمیرا حسن زاده
- ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه های حبله رود و کردن بر اساس شاخص های ژئومورفیک
مهران مقصودی، منصور جعفر بگلو، رضا جعفری
- پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای با استفاده از مدل WASPAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی...
سارا بهشتی فر، ستار صحرایی
- ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای فضا های شهری با کاربری تئوری کاتاستروف (مورد: شهر ورزقان)
پریچهر مصری علمداری، منصور خیری زاده آروق
- مدلسازی مسیرهای آتش در اکوتون های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان
رقیه جهدی، مهدی عربی
- پارامترهای موثر بر مسایل زیست محیطی در شمال غرب ایران (مورد: خشک شدن دریاچه ارومیه)
محسن جان پرور، فرید عباسی، الهام قباسفیدی، دریا مازندرانی
- سنجش میزان آسیب پذیری کشاورزان در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده رود...
جمشید عینالی، محمدرضا شفیعی
- ارزیابی و پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و...
محمد عبیات، سینا عطار روشن، محمود عبیات
- بررسی اثر شاخص های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه های سیلاب با استفاده از داده های سنجش از...
کامران گنجی، سعید قره چلو، احمد احمدی
- بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸
محمد مرادی، عباس رنجبر سعادت آبادی



فصلنامه

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال نهم، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

- بررسی الگوهای همدیدی آلودگی های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان شهر تهران
حسن لشکری، قاسم کیخسروی، ندا کریمیان
- منشأیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار در شهرستان سرخس
معصومه درمانی، هایده آراء، علیرضا راشکی، ابرادات مافی
- تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS...
مهدی مدیری، محمد اسکندری، سمیرا حسن زاده
- ارزیابی تکنیک فعال در حوضه های حبله رود و کردان بر اساس شاخص های ژئومورفیک
مهران مقصودی، منصور جعفریگلو، رضا جعفری
- پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای با استفاده از مدل WASPAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی...
سارا بهشتی فر، ستار صحرایی
- ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای فضاها شهری با کاربری تئوری کاتاستروف (مورد: شهر ورزقان)
پریچهر مصری علمداری، منصور خیری زاده آروق
- مدل سازی مسیرهای آتش در اکوتون های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان
رقیه جهدی، مهدی عربی
- پارامترهای موثر بر مسایل زیست محیطی در شمال غرب ایران (مورد: خشک شدن دریاچه ارومیه)
محسن جان پرور، فرید عباسی، الهام قیاسفیدی، دریا مازندرانی
- سنجش میزان آسیب پذیری کشاورزان در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده رود...
جمشید عینالی، محمدرضا شفیعی
- ارزیابی و پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و...
محمد عیبات، سینا عطار روشن، محمود عیبات
- بررسی اثر شاخص های مورفولوژیکی رودخانه گرانرود بر پهنه های سیلاب با استفاده از داده های سنجش از...
کامران گنجی، سعید قره چلو، احمد احمدی
- بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸
محمد مرادی، عباس رنجبر سعادت آبادی



دانشگاه موهفقی
دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر سیدرضا حسین زاده

سرمدیر: دکتر محمد رحیم رهنما

هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

ویکتور بیکر - استاد دانشگاه آریزونا - توسان آمریکا (دکترای ژئومورفولوژی رودخانه‌ای)	منیژه قهرودی تالی - استاد دانشگاه شهید بهشتی تهران (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
جعفر جوان - استاد دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای جغرافیا - روستایی)	ابوالفضل مسعودیان - استاد دانشگاه اصفهان (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)
زهرا بیگم حجازی زاده - استاد دانشگاه خوارزمی تهران (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)	مسعود مینائی - دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد (دکتری جغرافیا - سنجش از دور GIS)
سید رضا حسین زاده - دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)	حسین نگارش - دانشیار دانشگاه سیستان و بلوچستان (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
بهروز ساری صراف - استاد دانشگاه تبریز (دکترای جغرافیا - اقلیم شناسی)	احمد نوحه گر - استاد دانشگاه تهران (گروه برنامه ریزی مدیریت و آموزش محیط زیست)
حمید شایان - استاد دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای جغرافیا - روستایی)	سعدالله ولایتی - استاد دانشگاه فردوسی مشهد (دکترای زمین شناسی)
شعبان شتایی جویباری - دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (دکترای علوم جنگل - سنجش از دور)	مجتبی یمانی - استاد دانشگاه تهران (دکترای جغرافیا - ژئومورفولوژی)
بختیار فیضی زاده - دانشیار دانشگاه تبریز (دکتری جغرافیا - سنجش از دور و GIS)	

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

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 است

مدیر داخلی: دکتر ندا محسنی کارشناس اجرایی: سید محمد علی موسوی ویراستاری انگلیسی: مرکز ویراستاری و دانشکده ادبیات و علوم انسانی (عبداله نوروزی)
ویراستاری ادبی: دکتر جواد میزبان حروف نگاری و صفحه آرایی: الهه تجویدی طراحی جلد: امیراسفندیار عامل محرایی

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

نشانی: مشهد دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی، کد پستی ۹۱۷۳۹۴۸۸۳

<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 پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

- پایگاه استادی علوم جهان اسلام (ISC)
- پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
- پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال نهم، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

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 همایش ها به چاپ نرسیده باشد و همچنین به طور همزمان برای مجله دیگری ارسال نشده باشد.

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

۳-مقاله های مروری که پیشرفت های جدید در موضوعات مجله را در بر می گیرد، از نویسندگان مجرب و دارای مقالات پژوهشی در زمینه مورد نظر پذیرفته می شود.

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

نکته: لطفاً دقت شود که همه بخش ها و زیر بخش ها به استثنای تیتیر "چکیده" شماره گذاری شوند. همچنین زیر بخش های مربوط به "مواد و روش ها" 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 سانتی متر از بالا، ۳,۵ سانتی متر از پایین، ۳ سانتی متر از چپ و ۳ سانتی متر از راست صورت گیرد. Header: ۲,۷۵ و Footer: ۳ عنوان مقاله با قلم ۱۳ پرنرنگ B Lotus، اسم، فامیل - مرتبه علمی با قلم ۱۱ پرنرنگ B Lotus، نویسنده مسؤول، شماره تلفن و ایمیل نویسنده به صورت پاورقی و با قلم ۱۱ B Lotus باشد. چکیده ۱۲ پرنرنگ B Lotus، متن چکیده ۱۲ B Lotus. (چکیده و متن آن با فواصل ۲ سانتی متر از سمت چپ و ۲ سانتی متر از سمت راست از متن اصلی باشد). تیتیرهای اصلی متن ۱۲ پرنرنگ B Lotus با فاصله ۱۲ pt از پاراگراف قبل و ۸ pt از پاراگراف بعد. کل متن با ۱۳ B Lotus.

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

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

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

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

کتاب انگلیسی:

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

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

مقالات فارسی:

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

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

کتاب فارسی:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. ابوالفضل آرادی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)
۲. یوسف آزادی (دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی دانشگاه زنجان)
۳. عبدالمجید احمدی (استادیار دانشگاه بزرگمهر قائنات)
۴. لیلا امینی (استادیار دانشگاه تهران)
۵. تورج جمشیدی خزلی (دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفیک پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو)
۶. مهدی جوانشیری (استادیار دانشگاه فردوسی مشهد)
۷. حسن حاجی حسینلو (استادیار تکنیک و زمین شناسی ساختمانی دانشگاه آزاد اسلامی خوی)
۸. میلاد حسینعلی زاده (دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زنجان)
۹. سولماز دشتی (دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز)
۱۰. بهزاد رایگانی (دانشیار دانشکده محیط زیست)
۱۱. سمیه رفعتی (استادیار دانشگاه سیدجمال الدین اسدآبادی)
۱۲. محسن رضایی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری)
۱۳. غلامرضا سبزیایی (استادیار دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان)
۱۴. فاطمه طباطبائی یزدی (استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۵. حسین طهماسی مقدم (دانشجوی دکتری گروه جغرافیا دانشگاه زنجان)
۱۶. منصور غنیان (دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)
۱۷. ابراهیم فتاحی (دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو تهران)
۱۸. زهرا قصابی (دکتری هواشناسی - پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو)
۱۹. رضا هاشمی معصوم آباد (دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی)
۲۰. دکتر اسماعیل نجفی (استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه دامغان)
۲۱. فریا همتی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز)
۲۲. مجتبی یمانی (استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران)
۲۳. محمد رضا یوسفی روشن (استادیار گروه جغرافیا دانشگاه فرهنگیان تهران ایران)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱	● بررسی الگوهای همدیدی آلودگی های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان شهر تهران حسن لشکری، قاسم کیخسروی، ندا کریمیان
۲۱	● منشأیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار در شهرستان سرخس معصومه درمانی، هایده آراء، علیرضا راشکی، آبرادات مافی
۳۹	● تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS... مهدی مدیری، محمد اسکندری، سمیرا حسن زاده
۵۷	● ارزیابی تکنونیک فعال در حوضه های حبله رود و کردن بر اساس شاخص های ژئومورفیک مهران مقصودی، منصور جعفریگلو، رضا جعفری
۷۹	● پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای با استفاده از مدل WASPAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی... سارا بهشتی فر، ستار صحرایی
۹۹	● ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای فضاهای شهری با کاربرست تئوری کاتاستروف (مورد: شهر ورزقان) پریچهر مصری علمداری، منصور خیری زاده آروق
۱۲۵	● مدل سازی مسیرهای آتش در اکوتون های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان رقیه جهدی، مهدی عربی
۱۴۳	● پارامترهای موثر بر مسایل زیست محیطی در شمال غرب ایران (مورد: خشک شدن دریاچه ارومیه) محسن جان پرور، فرید عباسی، الهام قباسفیدی، دریا مازندرانی
۱۵۹	● سنجش میزان آسیب پذیری کشاورزان در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده رود... جمشید عینالی، محمدرضا شفیعی
۱۸۳	● ارزیابی و پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و... محمد عبیات، سینا عطار روشن، محمود عبیات
۲۰۵	● بررسی اثر شاخص های مورفولوژیکی رودخانه گرگانود بر پهنه های سیلاب با استفاده از داده های سنجش از... کامران گنجی، سعید قره چلو، احمد احمدی
۲۲۷	● بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸ محمد مرادی، عباس رنجبر سعادت آبادی



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 دبیرانجمن 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

[Signature]



معاونت پژوهش و فن‌آوری

دکتر مجتبی یمانی

رییس هیأت مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۰-۱

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

مقاله پژوهشی

بررسی الگوهای همدیدی آلودگی‌های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان‌شهر تهران

حسن لشکری^۱ - دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

قاسم کیخسروی - استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

ندا کریمیان - کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۵

چکیده

آلودگی هوا امروزه یک مشکل اساسی در کلان‌شهر تهران محسوب می‌شود. هدف این تحقیق معرفی الگوهای همدیدی پر تکرار و شایع در بروز آلودگی‌های شدید و بحرانی شهر تهران است. برای این منظور ابتدا داده‌های مربوط به آلودگی هوا در بازه زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۷) دریافت و سپس براساس شاخص AQI روزه‌های خطرناک در هر یک از ایستگاه‌های سنجش آلودگی شناسایی گردید. در ادامه از داده‌های بازتحلیل پایگاه NCEP/NCAR با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۲/۵ درجه برای ترازهای ۷۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰، ۱۰۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دریافت شد. پس از ترسیم نقشه‌های همدیدی ترازهای فوق، الگوهای همدیدی غالب و پرتکرار شناسایی شد. در طول دوره آماری ۱۵۷ روز همراه با آلودگی شدید و خطرناک شناسایی گردید. از میان آلاینده‌ها تأثیرگذار بر روی شهر تهران بیش‌ترین میزان تأثیرگذاری آلاینده‌ها مربوط به آلاینده‌های PM_{2.5}، PM₁₀ و NO₂ می‌باشد. در مجموع ۵ الگوهای همدیدی آلودگی شدید شناسایی گردید. الگوی پرفشارهای مهاجر، پرفشار سیبری، الگوی ترکیبی پرفشار سیبری و پرفشار عربستان و کم فشار پاکستان. سه الگو از پنج الگوی فوق بیش‌ترین تکرار را داشتند. در یک الگو که عموماً در دوره گرم سال رخ می‌دهد، کم فشار پاکستان مهم‌ترین نقش را در ایجاد بادهای شدید در بیابان‌های اطراف تهران داشته و بیش‌ترین آلاینده‌ها در این‌گونه آلودگی‌ها ذرات ریزگرد PM₁₀ و PM_{2.5} می‌باشد. الگوی دوم مرتبط با آلودگی‌های دوره سرد سال می‌باشد. در این الگو پرفشار سیبری در لایه زیرین وردسپهر با فرارفت سرد عامل اصلی پایداری و انباشت آلاینده‌ها و در ترازهای بالاتر پشته‌ای از پرفشار عربستان باعث تشدید پایداری و ماندگاری شرایط جوی است. در الگوی غالب سوم پرفشار عربستان و زیانه آن در تمام لایه‌های

جوی سبب پایداری خیلی شدید و ماندگاری آلودگی و پایداری هوا می‌شود. در این الگو به دلیل ماهیت دینامیکی سامانه علیرغم پایداری، دمای هوا به تدریج افزایش یافته و شرایطی کاملاً متفاوت از شرایط فصلی حاکم می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آلودگی‌های شدید، شاخص کیفیت هوا، لایه مرزی جوی، الگوهای همدید، تهران

۱. مقدمه

هوای پاک برای زندگی سالم هر انسانی، از غذا و آب ضروری‌تر است و جز نیازهای اساسی یک انسان برای ادامه زندگی محسوب می‌شود، اضافه شدن هر عنصری که برای زندگی انسان، جانوران، گیاهان، خطرناک باشد به عنوان آلودگی هوا تلقی می‌شود. بر اساس تعریف انجمن مشترک مهندسان آلودگی هوا و کنترل آن، به وجود یک یا چند آلوده‌کننده در هوا مانند گرد و غبار، گازها، بو، دود و بخار که در هوای آزاد برای زندگی انسان، گیاه یا زندگی حیوانات مضر باشند و یا به‌طور غیر قابل قبولی، مخل استفاده راحت از زندگی و اموال شوند، آلودگی هوا گفته می‌شود (غیاث‌الدین، ۱۳۸۵). اصولاً آلودگی کلان‌شهرها ناشی از وضعیت توپوگرافی، مانند محصور شدن محیط شهری ما بین کوهستان‌های مرتفع و یا اینکه ناشی از مساله افزایش جمعیت، افزایش تردد خودروها، صنایع و ... می‌باشد. اگرچه عوامل یاد شده از اهمیت و جایگاه خاصی در رابطه با مساله آلودگی برخوردارند، لیکن عامل یا عاملان مهم فرآیندهای جوی می‌باشند که اثر عوامل مذکور را شدت داده و به صورت گسترده‌تری عمل می‌کنند. در این راستا مساله مهم، توجه به وارونگی دما می‌باشد که به عنوان یک فرآیند جوی در لایه مرزی جو، به همراه مساله پایداری هوا مطرح می‌شود به این دلیل که پایداری هوا مانع از صعود و جابه‌جایی توده‌های هوایی شده و پالایش و جابه‌جایی معمولی در درون هوای شهری را دچار اختلال می‌کند و باعث اشباع شدن جو سطح زمین از آلاینده‌ها می‌شود. وارونگی‌های شدید به تبع آن آلودگی هوا، آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر انسان و محیط پیرامون آن دارد. اولین کار در مورد آلودگی هوای تهران اولین بار به وسیله رولف آلیسن در سال ۱۹۷۱ انجام گرفته است. وی عناصر آلاینده موجود در هوای تهران را مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌دهد و رابطه این عناصر را برخی بیماری‌ها بیان می‌کند. (کوکویلو^۱ و همکاران، ۲۰۰۲) در بررسی ارتباط سامانه‌های هواشناسی با غلظت آلاینده ذرات معلق در برزیل به این نتیجه رسیدند که مقادیر بالای غلظت آلاینده‌ها، همراه با سیستم‌های پرفشار جنب حاره‌ای اطلس جنوبی می‌باشد. (دوهرتی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر اوزون سطح زمین، دریافتند که بین تغییرات دما و نوسانات آلودگی هوا ارتباط مثبت وجود دارد. (فنگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۳) در بررسی ارتباط تغییر اقلیم و آلودگی هوا در جهان به این نتیجه رسیدند که کاهش کربن و متان می‌تواند منجر به کاهش سرعت تغییر اقلیم و کاهش غلظت آلودگی هوا از نظر PM_{2.5} و O₃ شود.

1 Ccoyllo

2 Doherty

3 Fang

(ماکرا^۱ و همکاران، ۲۰۰۷) با بررسی رابطه میان الگوهای جوی بزرگ مقیاس و آلودگی هوا نشان دادند که افزایش غلظت آلاینده‌های هوا در پیکزلی مجارستان، هم در تابستان و هم در زمستان در شرایط استقرار سامانه و اچرخندی و پراارتفاع سطوح میانی جو رخ می‌دهد و کاهش آلاینده‌ها نه فقط هنگام استقرار چرخنده‌های دینامیکی، بلکه به هنگام استقرار پراارتفاع‌ها، هم می‌تواند رخ دهد. (گوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳) در بررسی تأثیر الگوی سینوپتیکی و لایه مرزی جوی بر PM₁₀ و جزیره گرمایی شهری به این نتیجه رسیدند که بین الگوهای سینوپتیک و خصوصیات دینامیکی لایه مرزی شهری با غلظت PM₁₀ و شدت جزیره گرمایی شهری رابطه معنی داری وجود دارد. ارتفاع لایه مرزی جوی با اختلاط زیاد و عمق وارونگی ضعیف باعث کاهش غلظت PM₁₀ و شدت جزیره گرمایی شهری می‌شود. (ایگید^۳ و همکاران، ۲۰۱۸) در بررسی رابطه بین دما و آلودگی هوا و ارتباط آن با امواج گرمایی در مناطق شهری و روستایی بیرمنگام به این نتیجه رسیدند که رابطه خطی مثبت بین دما و آلودگی هوا در زمان‌های وقوع امواج گرمایی وجود دارد و آلاینده‌های هوا (PM₁₀, NO₂, O₃) با افزایش دما، زیادتر می‌شوند. (هوئی^۴ و همکاران، ۲۰۰۲) در تحقیقی تحت عنوان استفاده از شاخص استاندارد مواد آلاینده به عنوان شاخص کیفیت هوا در تایوان، کشور تایوان را به چهار بخش شمالی، مرکزی، شرقی و جنوبی تقسیم و PSI این مناطق را در طول یک سال تعیین کردند. (بی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶) تأثیر شرایط همدیدی بر آلودگی هوا در فصل زمستان را در حوضه گانزونگ چین با استفاده از شش مدل برای شش روز از سال ۲۰۱۳ بررسی کردند و تغییرات PM_{2.5} را به وارونگی دما، سطح پایین سرعت باد افقی، وقوع شرایط نامطلوب سینوپتیکی در طول فصل زمستان مربوط دانستند. دلجو (۱۳۷۸)، با مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران نتیجه گرفت که حداقل ارتفاع وارونگی در اواخر پاییز و اوایل زمستان رخ می‌دهد و ارتفاع وارونگی با شدت آن ضریب همبستگی منفی دارد و اینکه گاز منواکسیدکربن به سمت و سرعت باد ضریب همبستگی منفی و غلظت آن با شدت وارونگی رابطه مستقیم دارد و گاز دی‌اکسید نیتروژن در برابر شدت وارونگی افزایش کلی نشان می‌دهد. چراغی (۱۳۸۱)، در تحقیقی تحت عنوان بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان و ارائه راهکارهایی جهت بهبود آن، کیفیت هوای این دو شهر را با شاخص استاندارد آلاینده تعیین و مشخص نمودند که غلظت آلاینده‌ها با توجه به شاخص محاسبه شده ۳۲۹ روز در شهر تهران و ۳۴ روز در شهر اصفهان از حد استاندارد تجاوز کرده بود. همچنین در این تحقیق مشخص شده است که در موارد تجاوز کیفیت هوا از حد استاندارد در شهر تهران در ۹۶ درصد از موارد و در شهر اصفهان در ۷۰ درصد از موارد آلاینده مسئول منواکسید کربن بوده است. بیدختی و بنی‌هاشم (۱۳۸۳)، به مطالعه لایه آمیخته شهری و رابطه آن با شدت و ضعف هوا پرداخته و دریافتند

1 Makra

2 Guang

3 Egide

4 Huei

5 Bei

که نحوه رشد لایه آمیخته نقش مؤثری در غلظت آلودگی هوا دارد. آن‌ها دو مدل یکی تلاطمی و دیگری انتگرالی جهت پیش‌بینی آلودگی هوا در محیط‌های شهری ارائه نمودند. شرعی پور و بیدختی (۱۳۸۳)، داده‌های گازهای SO₂-NO₂-CO-PM از ایستگاه‌های سنجش آلودگی شهر تهران و چگونگی تغییرات میانگین ماهانه آلاینده‌ها را در ارتباط با پارامترهای هواشناسی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی‌های بیات و همکاران (۱۳۸۳)، نشان داد که ۹۰ درصد وزن کل آلاینده‌های هوای شهر تهران از وسایل نقلیه منتشر شده و ۱۰ درصد مابقی مربوط به منابع ثابت می‌باشد. بیش از سه چهارم وزن آلاینده‌های هوا را مونواکسیدکربن تشکیل می‌دهد که ۹۸/۷٪ آن مربوط به وسایل نقلیه است. نزدیک به نیمی از این مقدار را خودروهای سبک شهری و ۲۰٪ آن را موتورسیکلت‌ها منتشر می‌نمایند. آلاینده بعدی هیدروکربن‌ها با سهم ۱۱/۴٪ است که بیش از ۷۰٪ مربوط به منابع متحرک می‌باشد. اکسیدهای نیتروژن با سهم ۸/۴٪ در رده بعد قرار دارند که ۶۷/۵٪ آن مربوط به منابع متحرک است. اکسیدهای گوگرد ۲/۹٪ کل آلاینده‌ها را تشکیل می‌دهند و سهم عمده به میزان ۸۵/۸٪ از منابع ثابت منتشر می‌شود. ذرات معلق با سهم ۲/۴٪ از نظر وزنی در رده آخر قرار می‌گیرند. قسامی و همکاران (۱۳۸۶)، به بررسی وضعیت همدیدی برخی شرایط حاد آلودگی هوای تهران در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ میلادی پرداخته‌اند. در این بررسی ابتدا نحوه تغییرات روزانه و ماهانه آلاینده‌ها در ماه‌های سرد سال بررسی شده و سپس نوع و عمده‌ترین آلاینده‌های شهر تهران، شامل منواکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر پدیده‌های هواشناسی از قبیل وارونگی دمایی همراه با شرایط همدیدی بر کمیت و کیفیت آلاینده‌ها بررسی شده است. نتیجه نشان داد، زمانی که سامانه پرفشار منطقه‌ای، از نوع سامانه‌های عرض‌های میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده‌ها افزایش یافته و گاهی اوقات ممکن است دو تا سه برابر بیشتر از حد مجاز باشد. عطایی و هاشمی نسب (۱۳۹۰)، در پژوهشی تحت عنوان شناسایی، تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، به این نتیجه رسیدند که الگوهای تراز میانی جو تأثیر به سزایی در آلودگی هوای شهر اصفهان داشته که در دوره‌های سرد و گرم کانونی از پرفشارهای گسترده بر روی قلمروی وسیعی از ایران و به خصوص منطقه مورد مطالعه مشاهده شده که حضور این کانون پرفشار سبب پایداری و تراکم ذرات بر روی شهر اصفهان شده است. نتایج تحقیقات شمسی پور و همکاران (۱۳۹۱)، در مدلسازی ترمودینامیکی و واکاوی همدید آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق PM₁₀) نشان داد که استقرار الگوهای واپرخندی روی شهر بیش از دیگر سامانه‌های جوی در تشدید آلودگی هوای تهران مؤثر هستند، به‌طوری که علاوه بر ایجاد پایداری و هوای آرام از عوامل مهم رخداد پدیده وارونگی دمایی هستند. در ضمن در دوره سرد سال کاهش ضخامت لایه آمیخته ناشی از انقباض و برودت هوا به‌طور غالب در شرایط حاکمیت شرایط پرفشار رخ می‌دهد. کیخسروی و لشکری (۱۳۹۳)، در تحقیقی تحت عنوان تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، به بررسی عوامل آلودگی شهر تهران پرداخته و نتایج کار آن‌ها نشان داد که علاوه بر عوامل جغرافیایی عوامل اقلیمی مانند پایداری هوا

و بادهای آرام و وارونگی هوا در تشدید آلودگی هوای شهر تهران مؤثر است و زمانی که ارتفاع اینورژن به سطح زمین نزدیک می‌شود بر شدت آلودگی هوا افزوده شده است. زبردست و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی آلودگی هوای شهر تهران به وسیله‌ی مدل علی معلولی (DPSIR) به این نتیجه رسیدند که تمرکز و تراکم جمعیت (ساکن و غیر ساکن) در تهران و به دنبال آن نیاز به حمل و نقل و در نتیجه استفاده از سوخت‌های فسیلی از جمله مهم‌ترین نیروهای محرکه ایجاد آلودگی هواست. او مهم‌ترین دلیل تأثیر آلودگی هوا را بر سلامت انسان بیماری‌های قلبی عروقی می‌داند. نتایج تحقیق ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی آلودگی هوای کرمانشاه نشان داد که تمام انواع آلودگی‌های هوای کرمانشاه در قالب سه الگو قابل ارائه است. الگوی نوع A زمانی شکل می‌گیرد که پرفشارهای دینامیکی اروپایی در دوره سرد سال با پرفشار کوچک قفقاز ادغام شده و تا منطقه زاگرس جنوبی نفوذ می‌کنند. این وضعیت سبب پایداری هوا و کاهش ارتفاع لایه وارونگی دما شده و شدیدترین آلودگی‌های هوا را موجب می‌شود. در الگوی نوع B پرفشارهای آسیایی و سیبری که ناشی از سرمایش سطح زمین در دوره سرد سال هستند، با نفوذ به ایران از سمت شمال شرق و گسترش تا ارتفاعات زاگرس، شرایط را برای تقویت پایداری هوا در کرمانشاه فراهم می‌کنند. در الگوی نوع C آلودگی‌های که می‌توان آن را آلودگی ذرات معلق نیز نامید با استقرار فرود مدیترانه‌ای در شرق این پهنه آبی تا شبه‌جزیره عربستان در سطوح بالای جو و تقویت سیستم کم فشار دینامیک در سطح زمین، انتقال ریزگرد بیابان‌های عراق و سوریه به داخل ایران و از جمله کرمانشاه صورت می‌گیرد. مسلماً آنچه در رابطه با شدت آلودگی کلان‌شهر تهران نقش اساسی دارد، عملکرد فرایندهای جوی می‌باشند که اثرات عوامل ثابتی نظیر توپوگرافی و ... را شدت بخشیده و به‌طور گسترده‌ای عمل می‌کنند. در نتیجه با توجه به اهمیت پایداری هوا در این زمینه، پیش‌بینی این عامل که در شرایط اقلیمی و سینوپتیکی خاص اتفاق می‌افتد از اهمیت بالایی برخوردار است. از طریق مطالعه شرایط سینوپتیکی جو در دوره‌های وقوع پایداری و وارونگی‌های جوی می‌توان به میزان فراوانی وقوع اینورژن‌ها، شدت و تداوم آن‌ها دست یافت و الگو و الگوهای سینوپتیکی منجر به اینورژن و پایداری‌های جوی شهر تهران را شناسایی کرد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

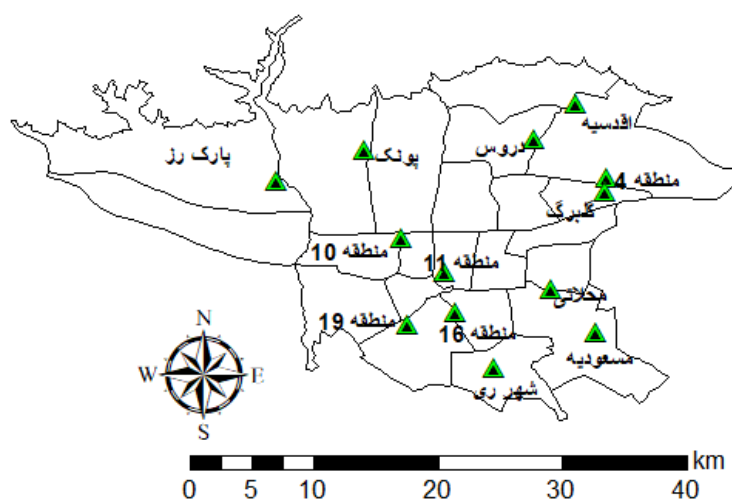
در این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به آلودگی هوا در بازه زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۷) از اداره کنترل کیفیت هوای شهر تهران دریافت و سپس براساس شاخص کیفیت هوا^۱، تعداد روزهای خطرناک آلودگی هوا طی ۱۲ ماه برای آلاینده‌های هوا، شامل ذرات معلق (PM₁₀-PM_{2.5})، میکرون، ازن (O₃)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، دی اکسید نیتروژن (NO₂)، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. با مشخص شدن روزهای آلودگی شدید، برای تعیین الگوهای همدیدی، از داده‌های بازتحلیل پایگاه NCEP/NCAR با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۲/۵ درجه شامل داده‌های میانگین روزانه و ماهانه فشار تراز دریا (Slp)، دما (Air)، بادمداری (Uwind)، باد نصف‌النهاری (Vwind) برای

1 Air quality index

ترازهای ۷۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال (چون عموماً آلاینده‌ها در لایه وردسپهر زیرین نمود پیدا می‌کنند) در عرض‌های ۷۰-۰ و طول ۸۰-۰ و تراز دریا استفاده گردید. همچنین برای بررسی روزهای انتخاب شده به عنوان روز خطرناک نقشه‌های اسکیتی آن روزها تهیه گردید و ضخامت لایه اینورژن در این روزها تعیین شد.

۳. مواد و روش‌ها

مجموع ایستگاه‌های آلودگی سنجی شهر تهران ۲۳ ایستگاه می‌باشد که از میان این تعداد تنها ۱۳ ایستگاه، که داده‌های این ایستگاه‌ها با دوره زمانی پژوهش مطابقت داشتند، انتخاب گردید. موقعیت مکانی ایستگاه‌های آلودگی سنجی در شهر تهران در شکل (۱) مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های آلودگی سنجی شهر تهران

۳.۱. شاخص آلودگی هوا

به‌طور کلی AQI شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن آن) آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند؛ به عبارت دیگر AQI به اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با هوای آلوده (ناسالم) می‌پردازد. شاخص کیفیت هوا (AQI) برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی اکسید نیتروژن، ازن سطح زمین، منواکسیدکربن و دی اکسید گوگرد محاسبه می‌شود. به منظور درک آسان، شاخص کیفیت هوا (AQI) به شش دسته طبقه‌بندی شده است که هر دسته را به سطوح مختلف سلامت انسان مربوط می‌سازد، این شش دسته به شرح جدول (۱) است. پارامترهای مندرج در جدول (۱) که نقاط شکست برای AQI را نشان می‌دهد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$IP = \frac{IHI - ILO}{BPHI - BPLO} (CP - BPHI) + ILO$$

IP = شاخص کیفیت هوا برای آلاینده p

CP = غلظت اندازه‌گیری شده برای آلاینده p

$BPHI$ = نقطه شکستی که طبق جدول (بزرگ‌تر یا مساوی CP است).

$BPLO$ = نقطه شکستی که طبق جدول (کوچک‌تر یا مساوی CP).

IHI = مقدار AQI منطبق با $BPHI$ طبق جدول (ILO = مقدار AQI منطبق با $BPLO$ طبق جدول (۱)

(ایلز، ۲۰۱۰).

اطلاعات حاصله از ایستگاه‌های سنجش آلاینده هوا، با توجه به جدول استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد و شاخص کیفیت هوا، به غلظت میانگین زمانی معیار تبدیل گردیدند. در این استانداردها، برای منواکسید کربن از ماکزیمم غلظت ۸ ساعته، برای دی اکسید نیتروژن از ماکزیمم غلظت ۱ ساعته و برای ذرات معلق و دی اکسید گوگرد از متوسط غلظت ۲۴ ساعته استفاده شده است. جهت پایش غلظت گاز CO در طول ۲۴ ساعت، سه بار میانگین غلظت بیشینه انتخاب و در جهت تبدیل به شاخص کیفیت هوا استفاده می‌شود (EPA, 2009)، (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI

نقاط شکست				AQI	وضعیت کیفیت هوا
$PM_{10}(PMM)$ ۲۴ ساعته	$CO(PMM)$ ۸ ساعته	$SO_2(PMM)$ ۲۴ ساعته	$NO_2(PMM)$ یک ساعته		
0-54	0-4/4	0-0/034	0-0/053	۰-۵۰	پاک
55-154	4/5-9/4	0/035-0/144	0/054-0/1	۵۱-۱۰۰	سالم (متوسط)
155-254	9/5-12/4	0/145-0/224	0/101-0/36	۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس
255-354	12/5-15/4	0/225-0/304	0/361-0/640	۱۵۱-۲۰۰	ناسالم
355-424	15/5-30/4	0/305-0/604	0/65-1/24	۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم
425-604	30/5-50/04	0/605-0/805	1/25-2/04	>۳۰۰	خطرناک

۴. بحث و نتایج

۴.۱. بررسی تعداد روزهای خطرناک

در دوره آماری پژوهش (۱۳۸۶-۱۳۹۶) مقدار pm_{10} به نسبت سایر آلاینده‌ها بیش‌ترین میزان غلظت را دارد و بعد از این آلاینده، میزان NO_2 فراتر از حد استاندارد بوده و باعث ایجاد شرایط نامطلوبی شده است. به دلیل نقص داده‌های آلاینده $pm_{2.5}$ در دوره آماری پژوهش، این آلاینده تا سال ۱۳۹۳ در دسترس نبوده و از سال ۱۳۹۳ به بعد در تمامی ایستگاه‌ها ثبت شده است و از سال ۱۳۹۳ تا پایان دوره پژوهش این آلاینده به نسبت سایر آلاینده‌ها بیش‌ترین میزان غلظت را دارد و می‌توان گفت که شرایط نامطلوب و فراتر از حد استاندارد را برای اقلیم شهر تهران به وجود

آورده است. بر اساس جدول (۲) بیشترین تعداد فراوانی روزهای خطرناک (AQI بالاتر از ۳۰۰) در آبان ماه است و بعدازآن به ترتیب آذرماه و دی ماه در رتبه های دوم و سوم قرار دارند همچنین می توان گفت که فصل پاییز به نسبت سایر فصل ها با این موضوع بیشتر درگیر می باشد. مسلماً یکی از علت های اصلی افزایش روزهای خطرناک علاوه بر پایداری هوا بازگشایی مدارس و ادارات و افزایش ترافیک در این فصل می باشد.

جدول ۲- تعداد روزهای خطرناک هر ماه در دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۹۶)

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه
۳	۲	۲۱	۲۶	۲۸	۲۰	۷	۹	۱۵	۹	۷	۱۰	روزهای خطرناک

۲.۴. بررسی الگوهای همدیدی آلودگی های شدید (روزهای خطرناک)

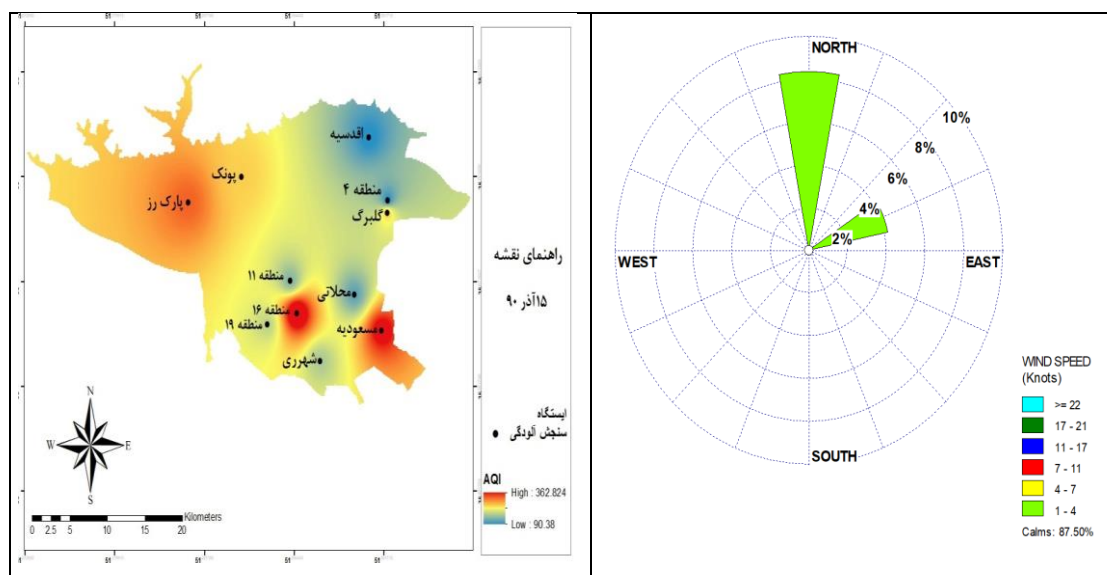
بررسی انجام شده بر روی نقشه های همدیدی ۳۵ نمونه آلودگی شدید و خیلی شدید بر روی شهر تهران نشان داد که آلودگی های شدید شهر تهران در ۵ الگوی همدیدی کلی رخ می دهد. از این ۵ الگوی همدیدی سه الگو که دارای بیشترین فراوانی (پرفشار سبیری، پرفشار مهاجر، کم فشار پاکستان) و بالاترین جمعیت عضو بوده اند در این مقاله به تفصیل تحلیل شده اند (جدول شماره ۳).

جدول ۳- بررسی وضعیت ضخامت لایه اینورژن در روزهای انتخابی دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۹۶)

نمونه انتخابی	الگوهای سینوپتیکی	ساعت (گرنیوچ)	وضعیت	ضخامت وارونگی بر اساس نقشه های اسکویی (بر حسب متر)
۹ مارس ۲۰۱۵	پرفشار مهاجر	۰۰	پایداری کامل	۱۸۷
		۱۲		
۵ دسامبر ۲۰۱۲	پرفشار سبیری	۰۰	پایداری	-
		۱۲		
۶ دسامبر ۲۰۱۱	ادغام پرفشار سبیری	۰۰	پایداری کامل	۱۸۱
		۱۲		
۲۹ نوامبر ۲۰۱۰	پرفشار عربستان	۰۰	پایداری کامل	۳۷
		۱۲		
۵ جولای ۲۰۰۹	کم فشار پاکستان	۰۰	ناپایداری قوی	-
		۱۲		

۴. ۲. ۱. الگوی پرفشار سیبری (نمونه مطالعاتی ۶ دسامبر ۲۰۱۱)

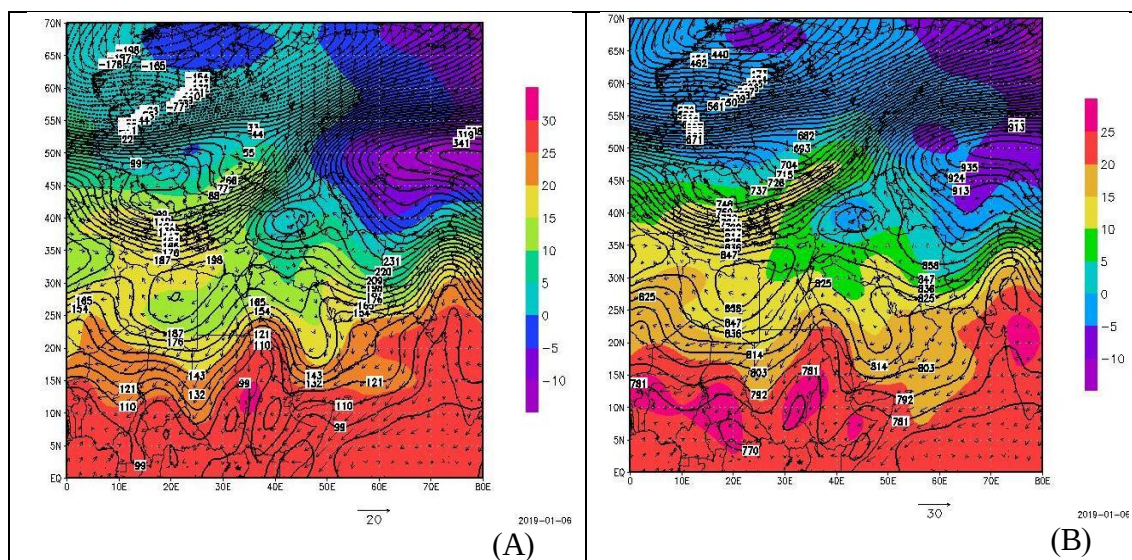
این سامانه نمونه و الگوی سامانه‌هایی می‌باشد که پرفشار سیبری عامل اصلی ایجاد کننده آلودگی شهر تهران می‌باشند. در نمونه مطالعاتی ۶ دسامبر ۲۰۱۱ (۱۵ آذر ۱۳۹۰) ایستگاه منطقه ۱۶ و مسعودیه شاخص غلظت آلاینده‌ها AQI آن‌ها در وضعیت خطرناک می‌باشد. بالا بودن میزان غلظت آلاینده PM10 در ایستگاه موجب این وضعیت شده است. ایستگاه‌های محلاتی و منطقه ۱۱ ناسالم برای گروه‌های حساس هستند. همچنین ایستگاه‌های اقدسیه و منطقه ۴ در وضعیت سالم (متوسط) است، اما با این تفاوت که در ایستگاه منطقه ۴ بالارفتن شاخص NO2 موجب شده که این ایستگاه در وضعیت ناسالم قرار بگیرد و در ایستگاه اقدسیه بالارفتن غلظت PM2/5 موجب ناسالم شدن این ایستگاه شده است. ایستگاه‌های منطقه ۱۹ و شهرری مقادیر غلظت آلاینده‌ها در وضعیت ناسالم است. اما در ایستگاه‌های پارک رز، پونک و گلبرگ غلظت آلاینده‌ها در رده بسیار ناسالم است و مقدار PM10 بیش‌ترین میزان غلظت را دارد. در این نمونه نیمه غربی شهر تهران در شرایط کاملاً بحرانی قرار دارد به‌طوری که مقادیر آلاینده‌ها به بیش از ۳۵۰ واحد رسیده و در شمال غرب تهران کمترین مقادیر آلاینده‌ها، به بالای ۹۰ واحد می‌رسد.



شکل ۲- بررسی وضعیت ایستگاه‌های آلوده سنجی شهر تهران و گلباد ایستگاه چیتگر در تاریخ ۶ دسامبر ۲۰۱۱ (۱۵ آذر ۹۰)

الگوی همدیدی حاکم در ترازهای مختلف جو در این الگو به شرح زیر می‌باشد. در تراز زیرین وردسپهر زبانه‌ای از بخش جنوبی و اچرخند سیبری با راستای شمالی - جنوبی از سمت شمال شرق بر روی ایران گسترش یافته

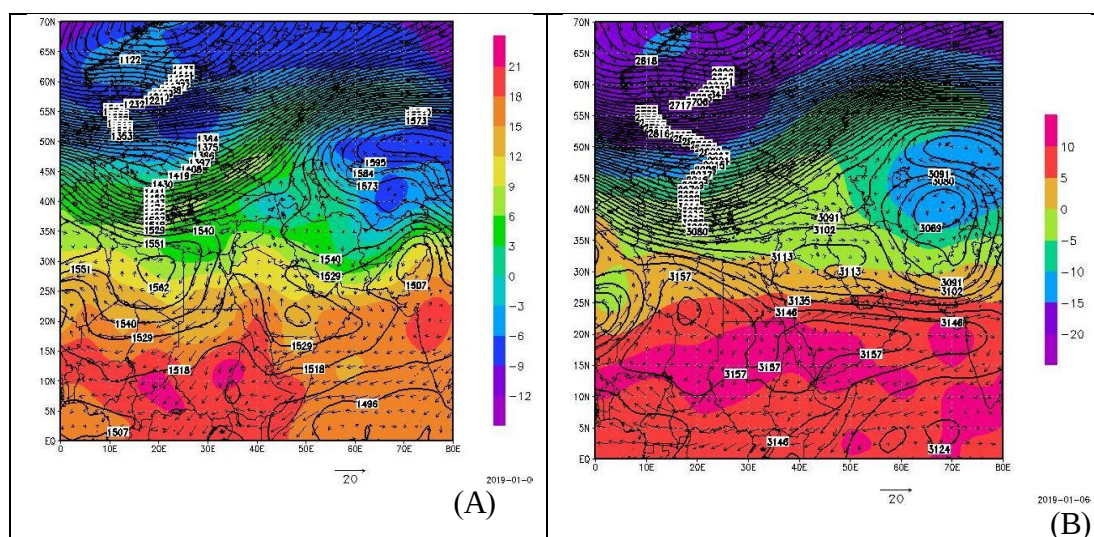
است. همان‌طور که دیده می‌شود زبانه سردی در امتداد این زبانه فشاری بر روی ایران و به خصوص نیمه شمالی گسترش دارد. با فرارفت این زبانه سرد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دما به کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است. علاوه بر کاهش شدید دما بر روی نوار شمالی ایران، هوای پایداری بر روی این منطقه و شهر تهران مسلط شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هوا کاملاً در شرایط سکون قرار دارد (شکل A۳). در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال که به‌طور متوسط در ارتفاعی حدود ۸۰۰ متری بالای تراز دریا را در بر می‌گیرد همچنان نوار شمالی کشور و شهر تهران در دامنه جنوبی البرز در مسیر زبانه و اچرخند سیبری قرار دارد. در امتداد این زبانه ارتفاعی زبانه سردی بر روی منطقه گسترش می‌یابد که با فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی هوای پایداری را بر روی شهر تهران مسلط شده است (شکل B۳). همان‌طور که در نقشه پهنه آلودگی شهر تهران نیز دیده می‌شود نیمه غربی شهر تهران دارای بالاترین شاخص آلودگی است. در بررسی نقشه‌های ارتفاعی دو تراز زیرین و ردسپهر نیز ملاحظه می‌شود در لایه زیرین هوای کاملاً پایداری حاکم بوده است. این سکون و پایداری سبب شده است که عناصر آلاینده خروجی از منابع آلاینده در درون این جو پایداری تجمع پیدا کرده و بر غلظت آلاینده‌ها افزوده شود. در تمام ایستگاه‌های داخل شهر تهران در بیش از ۸۰ تا ۸۵ درصد از اوقات روز هوا کاملاً آرام بوده و در سایر اوقات نیز جریان هوا شمالی بوده و سرعت باد در محدوده‌ای بین ۱ تا ۴ نات بوده است. این شرایط به خوبی پهنه آلودگی شهر را توجیه می‌کند (شکل ۲).



شکل ۳- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۱۰۰۰ (A) و ۹۲۵ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۶ دسامبر ۲۰۱۱

الگوی همدیدی حاکم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز شباهت زیادی با الگوهای تراز زیرین لایه مرزی دارد. همچنان زبانه و اچرخند سیبری، پدیده غالب بر روی نوار شمالی کشور و تهران می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه

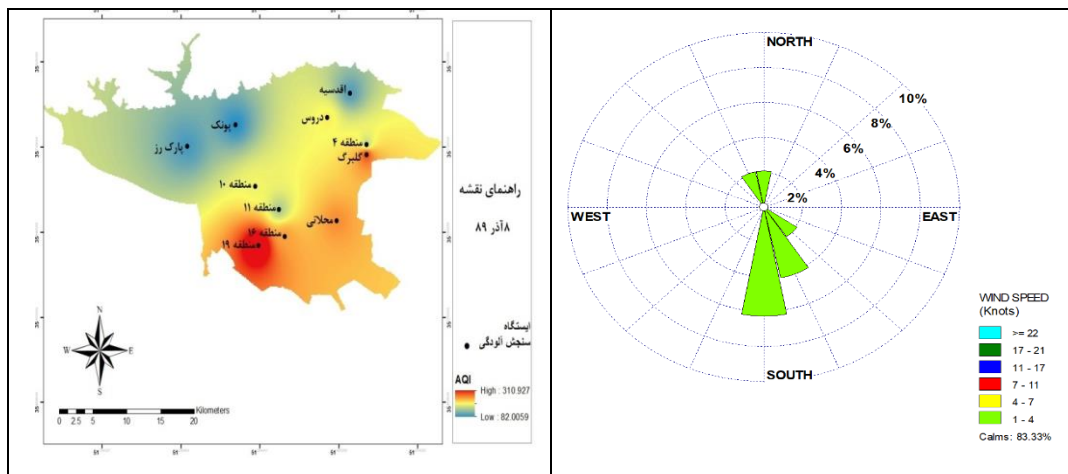
می شود در این تراز نیز زبانه سردی با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی تمام عرصه نوار شمالی کشور را فراگرفته است. فرارفت سرد باعث شکل گیری هوای پایدار بر سطح منطقه شده است. همان طور که مشاهده می شود جریان هوا در پهنه این زبانه کاملاً آرام، و سرعت باد به کمتر از یک نات کاهش یافته و فرونشینی هوا را در این تراز توجیه می کند. در جو بالای لایه مرزی، شرایط همدیدی تغییر پیدا کرده و زبانه حرارتی لایه زیرین به تدریج به یک جریان همدید دینامیکی تغییر ماهیت داده است (شکل A۴). همان طور که دیده می شود در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مرکز واپرخندی در امتداد مرکز واپرخندی عربستان بر روی جنوب غرب ایران تشکیل می شود، زبانه آن بخش عمده از عرصه کشور ایران را در بر گرفته است. در نتیجه جریان آرام لایه زیرین و ردسپهر به جریانات با سوی غربی تبدیل شده است. بر خلاف لایه زیرین جریان فرارفت شده بر روی شهر تهران فرارفت گرم عرض های جنوبی می باشد این تغییر الگوی وزشی سبب شده است یک لایه وارونه قوی بر روی لایه سرد زیرین و ردسپهر حاکم شده و بر شدت پایداری هوا بر روی نوار شمالی و شهر تهران بیفزاید. همان طور که ملاحظه شد دمای فرارفت شده بر روی منطقه در تمام لایه زیرین مرزی کمتر از ۵ درجه سانتی گراد بوده و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسال به ۳ درجه سانتی گراد می رسد، درحالی که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (در ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر) دمای فرارفت شده در محدوده ای بین صفر تا ۵- درجه قرار دارد. این مساله وارونگی قوی را در تراز ۸۵۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسال نشان می دهد (شکل B۴).



شکل ۴- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۸۵۰ (A) و ۷۰۰ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۶ دسامبر ۲۰۱۱

۴.۲.۲. الگوی پرفشار عربستان (نمونه مطالعاتی ۲۹ نوامبر ۲۰۱۰)

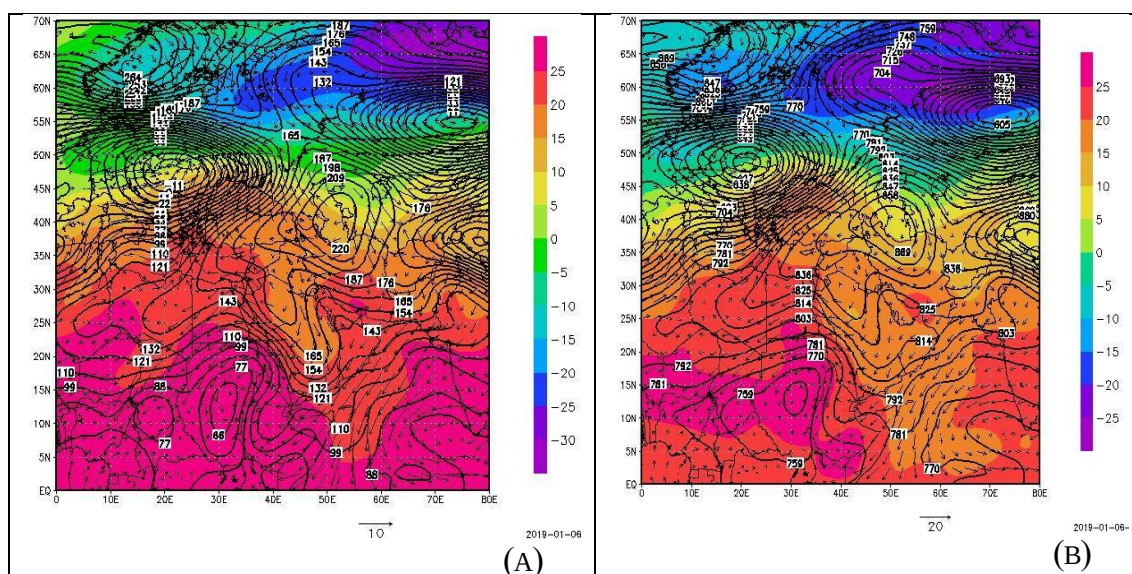
در نمونه مطالعاتی ۲۹ نوامبر ۲۰۱۰ (۸ آذر ۱۳۸۹) تنها ایستگاه گلبرگ شاخص غلظت آلاینده‌ها AQI آن‌ها در وضعیت خطرناک می‌باشد و مسبب این وضعیت بالا بودن میزان غلظت آلاینده PM10 در ایستگاه است. ایستگاه‌های محلاتی و منطقه ۱۹ در وضعیت بسیار ناسالم هستند. همچنین ایستگاه‌های اقدسیه، پارک رز و پونک در وضعیت سالم (متوسط) هستند. ایستگاه‌های منطقه ۴ و منطقه ۱۱، در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس قرار دارد با این تفاوت که در ایستگاه منطقه ۴ بالا بودن میزان غلظت NO2 موجب وضعیت ناسالم شده است. ایستگاه منطقه ۱۱، بالا رفتن غلظت آلاینده PM10 این وضعیت را به وجود آورده است. در این الگو بر اساس شکل (۵) بیش‌ترین تجمع آلاینده‌ها در نیمه شرقی تهران و به خصوص بخش جنوبی مشاهده می‌شود.



شکل ۵- نقشه بررسی وضعیت ایستگاه‌های آلوده سنجی تهران و گلباد ایستگاه مهرآباد در تاریخ ۲۹ نوامبر ۲۰۱۰

شرایط همدیدی حاکم در این الگو در ترازهای مختلف جو به صورت زیر بوده است. همان‌طور که دیده می‌شود در تراز زیرین و ردسپهر مرکز و اچرخندی با پرند ۲۲۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای مازندران قرار دارد. زبان‌های این مرکز و اچرخندی تقریباً تمام پهنه ایران را در بر می‌گیرد. استقرار دو مرکز چرخندی قوی در ضلع غربی و شرقی این و اچرخند و شیو حرارتی ناشی از آن سبب ایجاد تندی باد در دو بال غربی و شرقی و اچرخندی، بر روی بیابان‌های دشت کویر و بیابان‌های اطراف تهران (بیش از ۱۰ نات) شده است. در نتیجه بر خلاف الگوی قبل (الگوی پرفشار سبیری) که جریان باد در تمام لایه زیرین و ردسپهر بسیار آرام بوده و در شرایط سکون قرار داشت. در این الگو باد حاشیه‌ای تهران از تندی زیادی برخوردار است. با توجه به دینامیک سامانه غالب بر روی منطقه دما در این الگو در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده‌ای بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. بنابراین سرما دلیلی برای

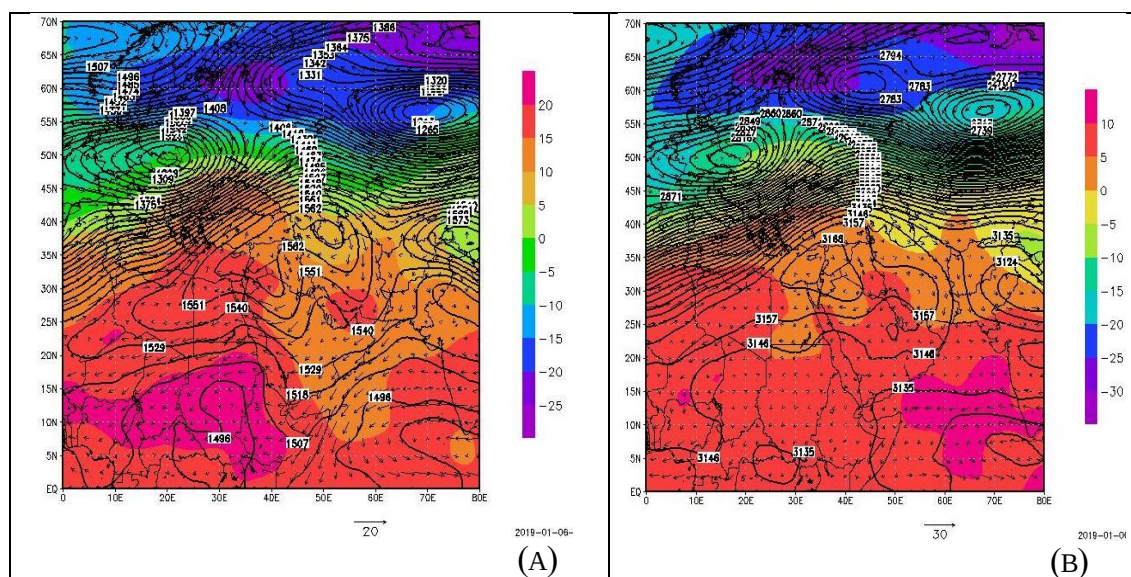
تشدید آلودگی هوا نیست. بلکه سامانه ماهیتی دینامیکی دارد. بر عکس جریان تند باد اطراف شهر، هوا بر روی شهر از تندی زیادی برخوردار نیست (شکل A6). در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نیز که لایه نزدیک به سطح زمین و در ارتفاعی معادل ۸۰۰ تا ۹۰۰ متری و تقریباً در ارتفاعی معادل ارتفاع شهر تهران قرار دارد الگوی همدیدی حاکم شباهت زیادی به تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دارد. مرکز واپرخندی همچنان بر روی دریای مازندران قرار دارد و با تراز زیرین کاملاً منطبق است. زبانه جنوبی این واپرخند علاوه بر ایران در گسترش جنوب سوی خود تمام شبه جزیره عربستان و بخش شرقی صحرا را در بر گرفته است. همانند لایه زیرین جریانات تندباد شمالی بر روی بیابان‌های جنوبی تهران حاکمیت دارد. ولی بر روی تهران تندی باد بشدت کاهش یافته است (شکل B6).



شکل ۶- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۱۰۰۰ (A) و ۹۲۵ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۲۹ نوامبر ۲۰۱۰

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل A۷) که با لایه پر تلاطم مرزی نزدیک می‌شود همچنان الگوی غالب همان الگوی تراز زیرین و ردسپهر پایینی می‌باشد. هسته مرکزی واپرخند با جابجایی جنوب سو نسبت با ترازهای زیرین در جنوب دریای مازندران استقرار دارد. الگوی گسترش زبانه همچنان با گسترش جنوب سو تمام ایران و شبه جزیره عربستان را در بر گرفته است. در این تراز نیز باوجود این که تندی باد در حاشیه واپرخند زیاد است ولی در اطراف هسته مرکزی واپرخند به دلیل دینامیک حاکم در مرکز سامانه تندی باد بشدت تقلیل یافته و سکون نسبی حاکمیت دارد. این دینامیک پایداری را بر روی شهر تهران تشدید کرده و بر غلظت آلاینده‌ها افزوده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال هسته مرکزی واپرخند با تمایل به عرض‌های جنوبی و با غلبه جریانات گرم جنوبی به داخل هسته واپرخندی سبب تقویت ترمودینامیک واپرخند شده است. هسته مرکزی واپرخند در این تراز بر روی شمال شرق

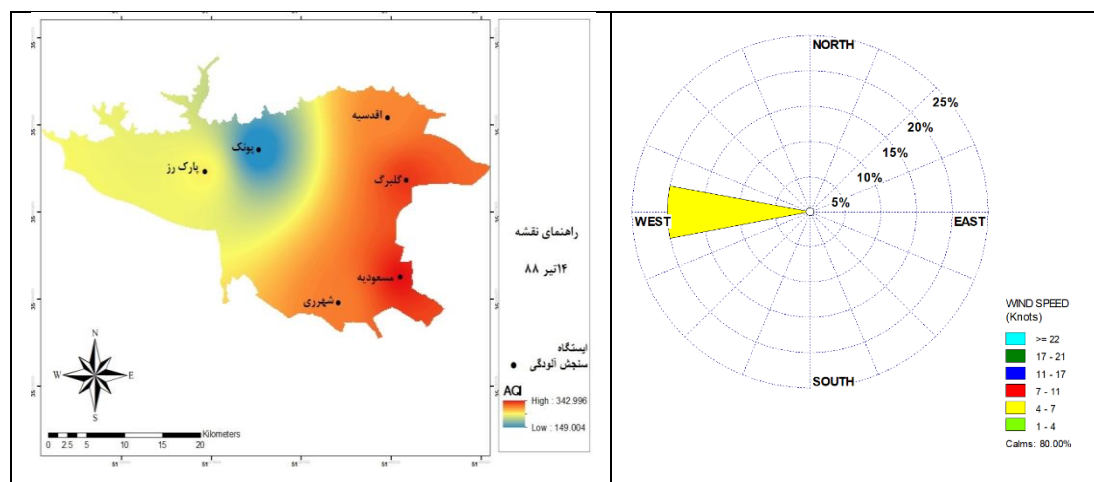
عربستان قرار دارد. دامنه شمالی این واچرخند تمام پهنه کشور ایران را در بر گرفته می‌گیرد. این شرایط دینامیکی سبب ایجاد جوی پایدار بر روی منطقه شده است، به‌طوری که تندی باد حاکم در ترازهای زیرین کاملاً از بین رفته و جوی ساکن بر کل پهنه کشور حاکمیت پیدا کرده است. دامنه دمایی بر روی شهر تهران به بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که این نشان دهنده وارونگی قوی در این تراز می‌باشد. بنابراین الگو همدیدی، ماهیتی دینامیکی دارد. پایداری حاکم در ضخامت زیادی از جو عامل اصلی این آلودگی در شهر تهران می‌باشد (شکل BV).



شکل ۷- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۸۵۰ (A) و ۷۰۰ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۲۹ نوامبر ۲۰۱۰

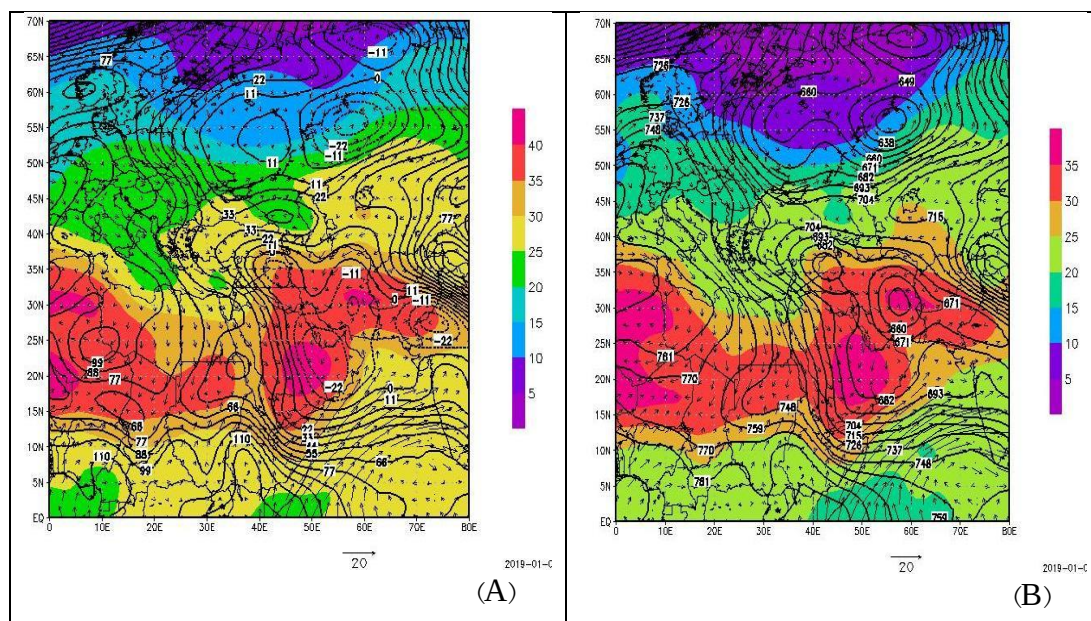
۴.۲.۳. الگوی کم فشار پاکستان و ایران مرکزی (نمونه مطالعاتی ۵ جولای ۲۰۰۹)

این الگو نمونه الگوی سامانه‌هایی است که یک سامانه کم فشار و ناپایدار سبب آلودگی هوای شهر تهران شده است. شکل شماره (۸) نقشه پراکنش آلودگی شهر تهران و گلباد را برای روز ۵ جولای ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. در این روز نیمه شرقی شهر تهران کاملاً در شرایط بحرانی و آلودگی خیلی شدید قرار داشته است به‌طوری که مقادیر آلاینده‌ها در بخش‌هایی از شرق و جنوب شرق تا بالای ۳۴۰ واحد نیز رسیده است. حتی در بخش شمال غرب و منطقه ۵ شهرداری تهران که کمترین مقادیر آلاینده‌ها را داشته‌اند مقادیر آلاینده‌ها بیش از ۱۴۹ واحد و یا در شرایط ناسالم برای تمام گروه‌های مردم قرار دارد. اشکال شماره (۹) و (۱۰) نقشه‌های ترکیبی جریان، دما و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای زیرین و میانی جو را نشان می‌دهد.



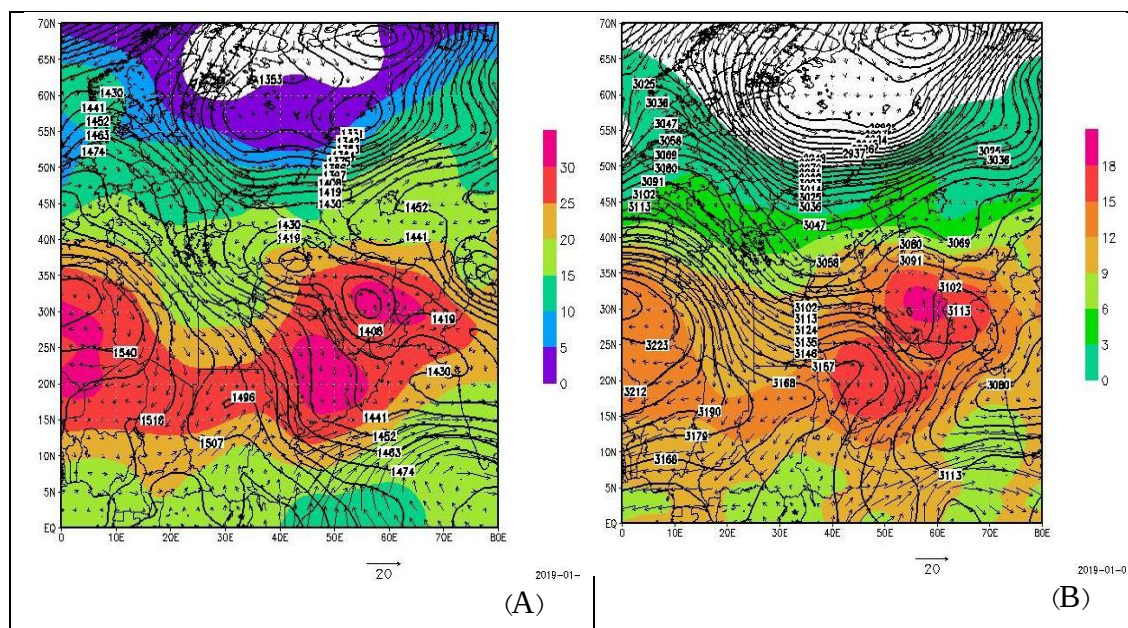
شکل ۸- بررسی وضعیت ایستگاه‌های آلوده سنجی تهران و گلباد ایستگاه چیتگر در تاریخ ۵ جولای ۲۰۰۹ (۱۴ تیر ۱۳۸۸)

در این الگو از دو تا سه روز قبل از شروع آلودگی مرکز کم فشاری ترکیبی بر روی شبه جزیره عربستان و پاکستان تشکیل می‌شود که زبانه شمالی آن با امتداد جنوب شرقی - شمال غربی بر روی ایران مرکزی و در ادامه استان تهران گسترش دارد. این زبانه گرم با جریان گرمی همراه است که با دمای بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد همراهی می‌شود. این فرارفت گرم شیو حرارتی و به تبع ناپایداری را بر روی منطقه بشدت افزایش داده است (شکل A۹). به‌طوری که سرعت باد در برخی ایستگاه‌های داخل و اطراف شهر تهران بشدت افزایش یافته است. سرعت باد در برخی ایستگاه‌ها همانند ایستگاه فرودگاه امام خمینی به بیش از ۱۱ نات نیز رسیده است (شکل ۸). در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال هسته کم فشار کاملاً به سمت شمال و بر روی دشت کویر منتقل شده است. با جابجایی هسته کم فشار به سمت دشت کویر شیو حرارتی و چینش قائم باد نیز قوی‌تر شده و بر شدت ناپایداری افزوده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود جریان باد در شرق تهران شرقی می‌باشد و سرعت باد در ساعاتی به بیش از ۱۰ تا ۱۵ نات نیز رسیده است. شهر تهران درست در حاشیه شمالی این چرخند حرارتی قرار دارد. هسته گرمایی این چرخند در جنوب دشت کویر استقرار دارد که با فرارفت گرم به دامنه‌های جنوبی البرز شیو حرارتی افزایش یافته و شدت جریان در شرق تهران تشدید شده و باعث انتقال ریزگرد از روی بیابان‌های اطراف بر روی شرق تهران شده است. به همین دلیل شدت آلودگی در شرق شهر تهران بشدت افزایش داشته و در نقاطی از آن به ۳۴۰ واحد نیز رسیده است (شکل B۹).



شکل ۹- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۱۰۰۰ (A) و ۹۲۵ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۵ جولای ۲۰۰۹

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰A) نیز الگویی شبیه لایه زیرین حاکمیت دارد. مرکز چرخند همچنان در همان موقعیت چرخند لایه‌های زیرین قرار دارد. توسعه قائم چرخند تا این تراز بیانگر عمق ناپایداری چرخند و تشدید ناپایداری تا این ارتفاع از جو می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دمای هسته گرمایی در این تراز نیز همچنان به بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این زبانه گرمایی همچنان بر روی شهر تهران گسترش دارد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰B). ناوه عمیقی در غرب ایران با راستای شمالی جنوبی تا شمال عربستان امتداد دارد. در این الگو کشور ایران در جلو ناوه قرار گرفته است. مزید بر آن مرکز کم ارتفاعی بر روی چرخند لایه زیرین قرار دارد که با هسته گرمی همراهی می‌شود. چینش قائم ایجاد شده در یک ضخامت مناسب از جو منجر به ایجاد ناپایداری قوی در لایه زیرین با سرعت باد نسبتاً زیاد گردیده است که عامل اصلی انتقال ذرات ریزگرد بر روی تهران و تشدید آلودگی گردیده است. سرعت باد در برخی از ایستگاه‌های شهر تهران و اطراف آن مانند ایستگاه فرودگاه امام خمینی تا بیش از ده نات نیز رسیده است. بیش‌ترین عناصر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های آلوده سنجی تهران در این نمونه مطالعاتی ذرات ریز گرد PM10 و MP2.5 بوده است.



شکل ۱۰- نقشه روزانه دما و فشار تراز ۸۵۰ (A) و ۷۰۰ (B) هکتوپاسکال در تاریخ ۵ جولای ۲۰۰۹

۵. نتیجه گیری

در بررسی داده های آلودگی هوا در طول دوره آماری (۱۳۹۶-۱۳۸۶)، تعداد روزهای خطرناک در تمامی ایستگاه های آلوده سنجی انتخاب شده شهر تهران ۱۵۷ روز بوده است. آبان (نوامبر) ماه با ۲۸ بار و ماه آذر با ۲۶ بار تکرار بیشترین روزهای خطرناک در دوره آماری این پژوهش را دارد. مقدار آلاینده های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و NO_2 نسبت به سایر آلاینده ها بالاترین میزان درصد آلودگی را داشته اند. بالاترین تعداد روزهای خطرناک در این دوره آماری در ایستگاه منطقه ۱۰ با ۷۴ روز بوده که غلظت آلاینده NO_2 نسبت به سایر آلاینده ها بیشترین میزان را داشته است، این امر می تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی منطقه ۱۰ نیز باشد که بیشترین میزان تردد وسایل نقلیه در این منطقه است. کمترین تعداد روزهای خطرناک در ایستگاه منطقه ۴ و دروس به ثبت رسیده است. به طور کلی عمده سامانه های همدیدی منجر به آلودگی در شهر تهران، از ۳ الگوی کلی پیروی می کنند. در الگوهای پرفشار سبیری در تراز زیرین و ردسپهر زبانه ای از بخش جنوبی و اچرخند سبیری با راستای شمالی - جنوبی از سمت شمال شرق بر روی ایران گسترش می یابد. با فرارفت این زبانه سرد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دمای آن به کمتر از ۵ درجه سانتی گراد بالغ می شود علاوه بر کاهش شدید دما بر روی نوار شمالی ایران، هوای پایداری بر روی شهر تهران حاکم می شود. در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نوار شمالی کشور و شهر تهران در دامنه جنوبی البرز در مسیر زبانه پرفشار سبیری قرار دارد. در امتداد این زبانه ارتفاعی زبانه سردی بر روی منطقه گسترش می یابد که با فرارفت سرد عرض های جنب قطبی هوای پایداری را بر روی شهر تهران حاکم می کند. بنابراین در الگوهای پرفشار سبیری عامل اصلی پدید

آورنده شرایط آلودگی در شهر تهران فرارفت سرد همراه با یک پایداری حرارتی به وسیله پرفشار سیبری، و در لایه زیرین و میانی وردسپهر زبانه‌ای از واچرخند دینامیکی عربستان می‌باشد که شرایط همدیدی را برای ایجاد یک جو پایدار برای تجمع و تشدید آلودگی بر روی شهر تهران فراهم می‌کند. در الگوهای کم فشار پاکستان و ایران مرکزی از دو تا سه روز قبل از شروع آلودگی مرکز کم فشاری ترکیبی بر روی شبه‌جزیره عربستان و پاکستان شکل می‌گیرد و زبانه‌های آن تا استان تهران گسترش می‌یابد. این زبانه‌های گرم با فرارفت گرم شیو حرارتی و به تبع آن ناپایداری را بر روی منطقه افزایش می‌دهد. در ترازهای ۸۵۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال با جابجایی هسته کم فشار به سمت دشت کویر شیو حرارتی و چینش قائم باد نیز قوی‌تر شده و بر شدت ناپایداری می‌افزاید. هسته گرمایی این چرخند با فرارفت گرم به دامنه‌های جنوبی البرز شیو حرارتی افزایش داده و شدت جریان را در شرق تهران تشدید و باعث انتقال ریزگرد از روی بیابان‌های اطراف بر روی شرق تهران می‌شود. بنابراین در الگوهای کم فشار پاکستان و ایران مرکزی در لایه‌های زیرین وردسپهر تا سطوح میانی شاهد وجود جوی ناپایدار بر روی ایران هستیم. مرکز این سامانه‌ها در محدوده جنوب شرقی کشور، پاکستان و شبه‌جزیره عربستان واقع گردیده است. معمولاً در فصول گرم سال تشکیل می‌شوند و با گردش پا ساعت گرد چرخند در ترازهای زیرین و میانی جو و با ایجاد فرارفت گرم و شیو حرارتی باعث انتقال ریزگردها از بیابان اطراف بر روی شهر تهران می‌گردند. در الگوهای پرفشار عربستان بیش‌ترین تجمع آلاینده‌ها در نیمه شرقی تهران و به خصوص بخش جنوبی مشاهده می‌شود. پراارتفاع عربستان به عرض‌های شمالی جابه‌جا شده، نقش پایداری و نزول هوا را بر روی منطقه به وجود می‌آورد. این الگو ماهیت دینامیکی دارد و با پایداری حاکم در ضخامت زیادی از جو عامل اصلی آلودگی در شهر تهران می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد الگوهای گردشی تراز میانی جو و پرفشار و کم فشارهای تشکیل شده در سطح زمین، تأثیر بسزایی در آلودگی کلان‌شهر تهران ایفاء می‌کنند. پژوهشگران دیگری نیز که در این زمینه در مناطق مختلف ایران تحقیق کردند از جمله مطالعات (عطایی و هاشمی نسب، ۱۳۹۰)، (پناهی، ۱۳۹۵)، (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳)، به نتایج مشابهی دست پیدا کردند.

کتابنامه

- بیات، رضا؛ ترکیان، ایوب؛ ۱۳۸۳. سهم بندی منابع آلودگی هوای شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران، صص ۱-۳۲.
- بیدختی، علی‌اکبر؛ بنی‌هاشم، تاج‌الدین؛ ۱۳۸۳. لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، مجله محیط‌شناسی دانشگاه تهران، شماره ۲۰.
- پناهی، علی؛ ۱۳۹۵. بررسی الگوهای همدیدی بر اساس دوره‌های بحرانی آلودگی هوا در وارونگی دمایی شدید شهر تبریز، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۲۸، شماره ۴، صص ۶۰۷-۶۲۵.

- چراغی، مهرداد؛ ۱۳۸۰. بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال های ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی جهت بهبود آن، پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- حسین زاده، سید رضا؛ دوستان، رضا؛ حقیقت ضایری، مرضیه؛ حقیقت ضایری، مریم؛ ۱۳۹۲. بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلان شهر مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، دوره ۱۱، شماره ۲۱، صص ۸۱-۱۰۱.
- دلجو، امیر هوشنگ؛ ۱۳۸۷. مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
- ذوالفقاری، حسن؛ صحرایی، جلیل؛ شاقبادی، فریاد؛ جلیلیان، آذر؛ ۱۳۹۳. تحلیلی بر جنبه های سینوپتیکی - دینامیکی آلودگی هوا در کرمانشاه، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره نهم، صص ۷۵-۹۶.
- زبردست، لعبت؛ صالحی، اسماعیل؛ مؤمنی، محمود رضا؛ افراسیابی، هادی؛ محمدامینی، مروارید؛ ۱۳۹۴. ارائه ی رهیافت سیستمی در برنامه ریزی محیط زیستی آلودگی هوا با استفاده از چهارچوب نیروی محرکه، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ (DPSIR)، مطالعه موردی شهر تهران، محیط شناسی، شماره ۱، صص ۱۲۹-۱۴۱.
- شرعی پور، بیدختی؛ ۱۳۸۴. بررسی آلودگی هوای شهر تهران و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی، همایش ملی آلودگی هوا.
- شمسی پور، علی اکبر؛ حسین پور، زینب؛ نجیب زاده، فهیمه؛ ۱۳۹۱. مدل سازی ترمودینامیکی و واکاوی همدید آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق PM_{10})، پژوهش های اقلیم شناسی، سال سوم، شماره دوازدهم.
- ضرابی، اصغر؛ محمدی، جمال؛ عبدالحی، علی اصغر؛ ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۶.
- عطایی، هوشمند؛ هاشمی نسب، سادات؛ ۱۳۹۰. شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری، دوره ۲، شماره ۴، صص ۹۷-۱۱۲.
- غیاث الدین، منصور؛ ۱۳۸۵. آلودگی هوا، منابع، اثرات و کنترل، انتشارات دانشگاه تهران.
- قسامی، طاهره؛ بیدختی، علی اکبر؛ صداقت کردار، عبدالله؛ صحراییان، فاطمه؛ ۱۳۸۶. بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، مجله علوم تکنولوژی محیط زیست.
- کرمانی، مجید؛ دولتی، محسن؛ لنگری زاده،؛ شکاریان، رضا؛ اسدزاده، سیده نسترن؛ ۱۳۹۶. کیفیت بهداشتی هوای شهر بجنورد بر اساس شاخص AQI در سال ۹۳، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، دوره ۹، صص ۲۶۲-۲۵۳.
- کیخسروی، قاسم؛ لشکری، حسن؛ ۱۳۹۳. تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، صص ۲۵۷-۲۳۱.

Bei, N., Li, G., Huang, R., Cao, J., Meng, N., Feng, T., Liu, S., Zhang, T., Zhang, Q., Molina, L. T., 2016. Typical synoptic situations and their impacts on the wintertime air pollution in the Guanzhong basin, China, Journal Atmospheric Chemistry and Physics, NO.0:1-34.

- Ccoyllo, S. O. R., Andrade, M. F., 2002. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil, *Environmental Pollution*, 116, Issue 2, 257-263.
- Doherty, R. M., Wild, O., Shindell, D. T., Zeng, G., MacKenzie, I. A., Collins, W. J., Fiore, A. M., Stevenson, D. S., Dentener, F. J., Schultz, M. G., Hess, P., Derwent, R. G., Keating, T. J., 2013. Impacts of climate change on surface ozone and intercontinental ozone pollution: A multi-model study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118, 1– 20, doi:10.1002/jgrd.50266.
- Egide, K., Sulaiman, F., Mabano, A., Lamek, N., Gabriel, H., 2018. Temperature and air pollution relationship during heatwaves in Birmingham, UK, *Sustainable Cities and Society*, Volume 43, Pages 111-120.
- Ellis, J., 2010. The effects of fossil-fuel subsidy reform: a review of modeling and empirical studies, Geneva: International Institute for Sustainable Development Global Subsidies Initiative.
- EPA., 2009. Air Quality Index (AQI) - A Guide to Air Quality and Your Health, U.S.A.
- Fang, Y., Mauzerall, D. L., Liu, J., Fiore, A. M., Horowitz, L. W., 2013. Impacts of 21st century climate change on global air pollution-related premature mortality.
- Guang-Xing, H., Chuck, W. F., Yua, C. L., Hong Deng, Q., 2013. The Influence of Synoptic Pattern and Atmospheric Boundary Layer on PM10 and Urban Heat Island, *Indoor Built Environ* 2013;22;5:796–807.
- HueiLin, N. and Yang, C., 2002. Use of Pollution Standard Index as the Indicator of Air Quality in Taiwan, Cloud and Aerosol Lab Dept, Atmospheric Sciences, National Central University Chung-Li, Taiwan. P.17.
- Makra, L., Mika, J., Bartzokas, A., Sumeghy, Z., 2007. Relationship between the Peczely's large-scale weather types and air pollution levels in Szeged southern Hungary. *Fresenius Environmental Bulletin* Vol. 16, No. 6, pp. 660-673.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۳۷-۲۱

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i3.87970>

مقاله پژوهشی

منشأ یابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گردوغبار در شهرستان سرخس

معصومه درمانی - دانش آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، ایران

هایده آراء^۱ - استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

علیرضا راشکی - دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

آبرادات مافی - کارشناس زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور، مری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۱۵

چکیده

شهرستان سرخس در شمال شرقی ایران، با آب و هوایی خشک و بیابانی در استان خراسان رضوی قرار دارد. این شهرستان اگرچه در حوزه آلاینده‌های گازی مشکلی ندارد، اما ریزگردها بیشتر از گذشته باعث بروز روزهای ناسالم می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، بر فراز شهرستان سرخس و شناسایی منابع و کانی‌های تشکیل‌دهنده گردوغبار است. نمونه‌برداری به صورت تکرار مکانی در هنگام فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۸ صورت پذیرفته است. این پژوهش بر روی ذرات ریز گرد با اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر در ارتفاع ۲-۴ متری از سطح زمین انجام شده است. با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی القایی، پراش پرتوایکس، فلزات و کانی‌های حاضر در ذرات گردوغبار شناسایی و با به کارگیری میکروسکوپ الکترونی و آنالیز لیزری، شکل ذرات و اندازه آن‌ها تعیین گردیده است. طبق نتایج به دست آمده. فلزات: کلسیم، آلومینیوم، سدیم، آهن، گوگرد، تیتانیوم، بر، منگنز، روی و استرانسیوم بالاترین میزان غلظت را در گردوغبار روستاهای تعیین شده، دارند. بررسی کانی‌شناسی ذرات گردوغبار نشان می‌دهد که بیشترین غلظت کانی رسی تشکیل‌دهنده ذرات شامل: کائولینیت، کلریت، کوارتز، کلسیت، ژیبس است. کلسیم و آلومینیوم نیز با بالاترین میزان غلظت در بین فلزات محلول نشانگر منشأ خاکزاد بودن گردوغبار منطقه می‌باشد. همچنین برای عناصر همانند: استرانسیوم و گوگرد و ژیبس می‌توان منشأ تبخیری برای آن در نظر گرفت، از سوی دیگر غلظت بالای عناصر سمی و شیمیایی شامل:

آرسنیک، سرب و روی را می‌توان به پالایشگاه خانگیران نسبت داد. بنابراین گردوغبار منطقه سرخس دارای سه منشأ خاکزاد، تبخیری و شیمیایی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ذرات گردوغبار، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، XRD, SEM

۱. مقدمه

گردوغبار به عنوان یکی از مهم‌ترین منبع آلودگی‌های جوی از ابعاد مختلف مورد توجه محققان بوده است. اگرچه رویدادی طبیعی است، اما فعالیت‌های انسانی در تشدید آن می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. این پدیده در بخش‌هایی از جهان که دارای مناطق خشک و بیابانی وسیع هستند، ایجاد می‌شود. کشور ایران به دلیل این مشکل و همجوار بودن با بخش وسیعی از پهنه‌های بیابانی تحت اثر نامطلوب پدیده گردوغبار قرار می‌گیرد (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی سابقه مطالعات توفان گردوغبار از منابع اطلاعاتی نشان داد که بیشتر محققان (۶۱/۴۰ درصد) از روش آماری- سینوپتیکی برای مطالعه توفان‌های گردوغبار استفاده کردند و مهم‌ترین شاخص‌هایی که در ویژگی‌های فیزیکی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت، فراوانی و تراکم بود که به ترتیب ۳۴/۲۱ و ۳۴/۲۱ درصد از مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند (آرامی و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد ترکیب کانی‌شناسی ذرات گردوغبار با توجه به منطقه‌ای که ذرات از آن منشأ گرفته‌اند تغییر می‌کند و به عبارت دیگر منعکس کننده ترکیب کانی‌شناسی منبع می‌باشد (زراسوندی، ۱۳۸۸).

کریمیان و همکاران در سال (۱۳۹۵) به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گردوغبار ریزشی بر فضای شهر اهواز پرداخته‌اند و منشأ توفان‌های گردوغبار با غلظت و مدت زیاد را به عوامل خارجی مانند اراضی خشک شده و مستعد فرسایش در مرز ایران و عراق مانند: تالاب هورالعظیم نسبت دادند که فاکتورهای داخلی تشدیدکننده آن‌ها می‌باشد. خاتونی در سال (۱۳۹۵) به بررسی رسوب‌شناسی و زمین‌شیمی رسوبات دشت خوزستان با نگرش بر پتانسیل ایجاد ریزگرد پرداخت. در این مطالعه، ۷۱ نمونه رسوب سطحی از دشت برداشت گردید. نمونه‌ها در آزمایشگاه مورد آنالیز دانه‌بندی و عنصری قرار گرفت. بررسی‌های رسوب‌شناسی نشان داد که اندازه رسوبات در حد گل، گل ماسه‌ای و ماسه گلی در برخی نقاط با کمی گراول می‌باشد که غالباً دارای منشأ رودخانه‌ای می‌باشد، با توجه به پراکنش درصد رس (ذرات زیر ۲ میکرون) می‌توان مناطق دارای پتانسیل ایجاد ریزگرد را شناسایی کرد. بر اساس مطالعات زمین‌شیمی، سه منشأ اصلی برای عناصر موجود در رسوبات دشت خوزستان می‌توان در نظر گرفت: عناصر As, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, La, Li, Lu, Mn, Nb, Nd, Ni, P, Pr, Rb, Sc, Sm, Sn, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tm, U, V, Y, Yb, Zn, Zr با منشأ آواری، عناصر B, Ag, Mo, S, Sr با منشأ آواری، عناصر Ba, Pb, Se, Dy, Tl, W با منشأ آلودگی‌های برجای مانده از جنگ تحمیلی و عناصر Ba, Pb, Se, Dy, Tl, W تحت تأثیر آلودگی‌های شیمیایی و آلی می‌باشد، نتیجه تغییرات عناصر نادر و نسبت آن‌ها، خاستگاه رسوبی و نزدیک به

سطح را، برای سنگ یا رسوبات مادر نمونه‌های دشت خوزستان تأیید می‌کند. بشیری خوزستانی در سال (۱۳۹۵) نیز به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق بزرگ‌تر از ۱۱ میکرومتر در استان کردستان، غرب ایران پرداخت. او اندازه‌گیری میزان بارش ذرات معلق در واحد سطح از دانشگاه کردستان انجام داد. همچنین مقادیر فلزات قلیایی و قلیایی خاکی Na , K , Ca و Mg را با استفاده از روش جذب اتمی و در کنار آن فراوانی و نوع کانی‌های تشکیل دهنده این ذرات با استفاده فروردین‌ماه لغایت اسفندماه ۱۳۸۹ به مدت یک سال را به روش سنجش انباشت در محوطه از آنالیز تفرق اشعه ایکس (XRD) در نمونه‌های آوری شده مورد بررسی قرارداد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ترکیبات موجود در این ذرات می‌تواند تأکیدی بر منشأ خاک‌زاد برای این ذرات معلق در غرب ایران باشد. همچنین جعفری در سال (۱۳۹۶) با بررسی ریزگردهای شهر کرمان منشأ گردوغبار را از خاک‌های شور و قلیایی اطراف کرمان معرفی نمود.

در پژوهشی که توسط مودیش^۱ بر روی ریزگردهای موجود در شهر ریاض در عربستان سعودی صورت پذیرفت به بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ترکیب کانی‌شناسی و نیز مطالعات دانه‌بندی ذرات پرداخته شد و منجر به شناخت منشأ رسوبات در سه بیابان احاطه‌کننده منطقه مورد مطالعه گشت. همچنین نتایج حاکی از این بوده است که تمامی نمونه‌های برداشت شده دارای مقادیر فراوان کربنات کلسیم بوده است که نشانگر وجود خاک‌های غنی از آهک و دولومیت متعلق به قاره عربی می‌باشد.

برومندی^۲ و همکاران در سال (۲۰۱۷) به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گردوغبار شهر اهواز پرداخت و به منظور توزیع دانه‌بندی از آنالیز لیزری و بررسی ترکیبات شیمیایی از اشعه فلورانس X اسپکتروفتومتر جذب اتمی پراش اشعه X استفاده نمود. نتایج حاکی از آن بود که طوفان‌های شهر اهواز از کشورهای همسایه بود. تجزیه و تحلیل میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های گردوغبار نشان می‌دهد که گردوغبار هوا، نامنظم، زاویه‌ای گرد شده است، اندازه ذرات گردوغبار از ۰/۱ تا ۰/۵۵ میکرومتر متفاوت بوده است. تجزیه و تحلیل شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گردوغبار منطقه نشان داده است که بیشترین سهم ترکیبات تشکیل دهنده آن شامل: سیلیس، آلومین و کربنات کلسیم است و نشان داده است که منشأ احتمالی این ذرات کشورهای همسایه و جنوب غربی ایران بوده است. عناصر ردیابی تشخیصی Cr , Co , Ni , Zn , S , Mo , Hg منابع غیر پوسته‌ای داشتند به‌طورکلی، گردوغبار هوا در شهر اهواز از نظر ژئوشیمیایی بسیار مشابه نمونه‌های گردوغبار در سایر نقاط جهان است.

پاراجولی و ژندر^۳ در سال (۲۰۱۷) به بررسی ارتباط واحدهای ژئومورفولوژی و انتشار گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی، به تولید نقشه رسوب در مقیاس جهانی پرداخت و در نهایت واحد

1 Modish

2 Broomandi

3 Parajuli and Zender

پلایا و سبخاها را در تولید گردوغبار معرفی کرد و نشان داد که رسوب عرصه و ذرات گردوغبار به نوع سطح زمین مرتبط است.

طرقه^۱ و همکاران در سال (۲۰۲۰) به منظور ارزیابی و بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی ذرات گردوغبار جوی در شهر شیراز (جنوبی) پرداخته است، نمونه‌های گردوغبار جو با استفاده از سینی‌های شیشه‌ای با روش جمع‌کننده خشک جمع‌آوری شد. ترکیب عناصر از طریق نوری پلاسما به صورت القایی انجام شد. طیف‌سنجی انتشار داده‌های هواشناسی نشان داد که گردوغبارترین روزها معمولاً در بهار و تابستان بوده است، تجزیه و تحلیل پراش پرتو X از نمونه‌های گردوغبار جوی نشان داد که درصد ترکیبات کانی‌شناسی گردوغبار جوی به ترتیب از بیشترین به کمترین شامل: کلسیت و دولومیت (۲۴٪)، پالیگورسکیت (۱۸٪)، کوارتز (۱۴٪) مسکویت (۱۳٪)، آلیت (۱۱٪)، کائولونیت و گچ (۷٪)، زیرگون (۴٪)، آناز (۳٪) بوده است. میکروسکوپ الکترونی رومیشی (SEM)^۲ نشان داد: اندازه گردوغبار جمع‌آوری شده از ۵۰-۰/۸ میکرومتر متفاوت است، اما اندازه ۱۰ میکرومتر اندازه غالب بود. گردوغبار جوی جمع‌آوری شده دارای بلورهای مثلثی و اشکال نامنظم و نیمه گرد است. علاوه بر آن تولید گازهای گلخانه‌ای از دریاچه‌های خشک، مانند تالاب هور العظیم (واقع در جنوب غربی ایران)، همچنین به گردوغبار منطقه کمک کرده است.

وجود عرصه‌های بیابانی، فقر رطوبت، کاهش پوشش گیاهی، خشکسالی، هم‌جهت بودن با بادهای غالب ۱۲۱ روزه سیستان، کانون بحرانی مهم‌ترین عوامل داخلی و خارجی وقوع ریزگردها در سرخس است، بنابراین بررسی دقیق خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گردوغبار به طور کامل احساس می‌گردد. در این پژوهش با استفاده از آنالیز فلزات محلول با روش طیف القایی^۳ (ICP) (مونتینی^۴ و همکاران، ۲۰۱۸) و تکنیک میکروسکوپ الکترونی (SEM)، (پیرسیتال^۵، ۲۰۱۰) و (پی-پایپر^۶، ۲۰۱۶)، (خاتونی و همکاران، ۱۳۹۵) و دانه‌بندی لیزری^۷ (LPSA) (سیرو^۸، ۲۰۰۵) به منشأ احتمالی ذرات گردوغبار در یک دوره سه ماهه از مرداد تا مهر ۱۳۹۸ پرداخته شد. لازم به ذکر است اطلاعات حاصل از این تحقیق به بررسی اثرات ذرات گردوغبار بر هوا، آب و خاک و همچنین سلامتی انسان کمک نموده و زمینه ساز اقدامات لازم در راستای کاهش مضرات ناشی از این پدیده درحوزه‌های سلامت انسان، محیط‌زیست و اقتصاد می‌گردد.

1 Torghabeh

2 Scanning Electron Microscope

3 Inductively Coupled Plasma

4 Mounteney

5 Pearceetal

6 Pe-Piper

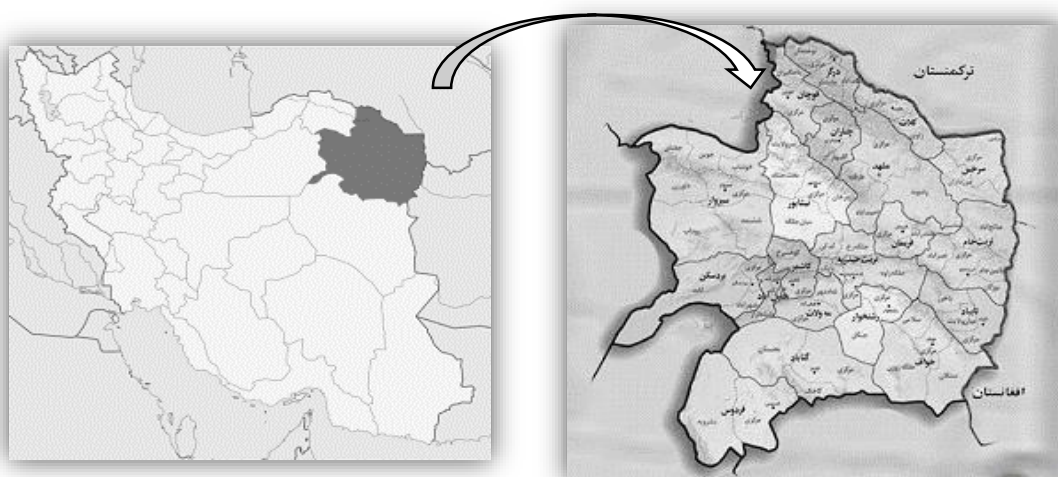
7 Laser particle Sizer Analyze

8 Siro

۲. منطقه مورد مطالعه

۲.۱. موقعیت جامعه آماری و منطقه مورد مطالعه

شهر سرخس در همسایگی جنوب صحرای بزرگ قره قوم ترکمنستان قرار دارد و از این رو تحت تأثیر عوامل حاکم بر توسعه کویر قرار دارد و منطقه از نظر طبیعی استعداد گسترش کویر را دارد که همجواری با کویر قره قوم آن را تشدید کرده است. حد طبیعی شهرستان را در جنوب، رودخانه کشف رود، حد شرقی را رودخانه تجن (بعد از پیوستن رودخانه هریرود و کشف رود) و حدود طبیعی غربی و جنوب غربی را آخرین امتدادهای ارتفاعات کپه داغ مشخص می‌نماید. به لحاظ جغرافیایی این منطقه در مختصات ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۰۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. به لحاظ ارتفاعی، قسمت عمده شهرستان را دشت نسبتاً مسطحی تشکیل می‌دهد، بطوری که حداقل ارتفاع شهرستان ۲۵۵ متر و حداکثر ارتفاع ۱۷۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد (گزارش زمین‌شناسی شهرستان سرخس: مجد آب شرق) شکل شماره ۱ موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان سرخس (منبع: یافته‌های تحقیق)

۳. مواد و روش‌ها

اقدامات لازم به منظور انجام عملیات پژوهشی و میدانی به شرح ذیل می‌باشد:

۳.۱. نمونه برداری گردوغبار

پس از هماهنگی با شوراهای اهالی روستا در روستاهای منتخب شهرستان سرخس، ۳۰ دستگاه نمونه بردار شیشه‌ای شکل در پشت بام منازل روستایی مستقر شد. نمونه‌های گردوغبار دستگاه (ابعاد ذرات زیر ۱۰ میکرون) پس

از پایان سه ماه به کمک قلم مو منحصر به فرد (به منظور جلوگیری از ترکیب شدن عناصر شیمیایی ذرات) از روی هر دستگاه جمع آوری شد و نمونه‌های هر روستا در هم ادغام شد و به آزمایشگاه مرکزی در مشهد انتقال داده شد. موقعیت استقرار دستگاه نمونه‌بردار در جدول ۱ و موقعیت روستاهای مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲.۳. اقدامات آزمایشگاهی

نوع آزمایشات شامل دانه‌بندی و آنالیز عنصری و توزیع اندازه ذرات (PSA) میکروسکوب الکترونی (SEM) برای هر نمونه انجام شد.

۲.۳.۱. آزمایش تعیین کانی و عناصر شیمیایی

در آزمایشگاه نوع کانی‌ها و عناصر آن‌ها بر اساس روش‌های ICP انجام شد. در این روش تمامی عناصر جدول تناوبی بجز گازها قابل شناسایی است. از جمله ویژگی‌های آنالیز طیف‌سنجی القایی شامل: آنالیز همزمان چند عنصر و تعیین ترکیبات عناصر می‌باشد (جهان^۱، ۲۰۰۵).

۲.۳.۲. آنالیز دانه‌بندی ذرات گردوغبار

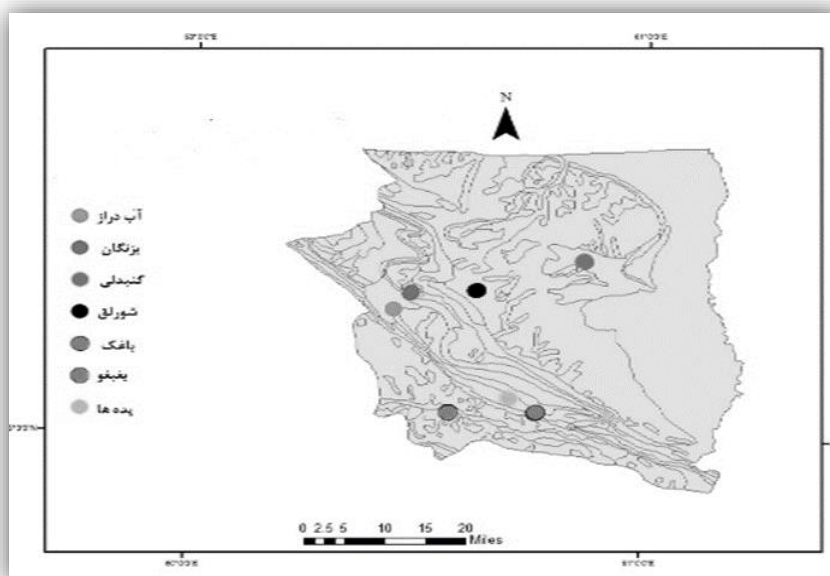
برای هر نمونه در مناطق نمونه‌برداری خصوصیات دانه‌بندی توسط دانه‌بندی تکنیک میکروسکوب الکترونی (SEM) و دانه‌بندی لیزری^۲ (LPSA) بر روی نمونه‌ها انجام شد. هدف از آنالیز میکروسکوب الکترونی تصویر برداری از سطح نمونه به صورت سه بعدی و تعیین خصوصیات مورفولوژی، شکل، اندازه و نحوه قرارگیری ذرات در سطح جسم می‌باشد.

۲.۳.۳. دانه‌بندی لیزری

به منظور تعیین الگوی توزیع اندازه ذرات نیز مقدار ۳ گرم از هر نمونه توزین و به مدت یک ساعت با ۵ میلی لیتر هگزا متا فسفات سدیم مخلوط شد تا ذرات بهم پیوسته شده به طور کامل از هم جدا شوند. سپس الگوی توزیع اندازه ذرات گردوغبار توسط دستگاه پراش اشعه لیزر تعیین می‌گردد. میکروسکوب الکترونی در کنار خروجی‌های آنالیز لیزری در شناخت نوع کانی‌ها و ترکیبات آن و ریخت‌شناسی کمک شایانی خواهد کرد (زراسوندی، ۱۳۹۰).

1 Johan

2 Laser particle Sizer Analyze



شکل ۲- موقعیت روستاهای مورد مطالعه شهرستان سرخس

جدول ۱- موقعیت قرار گرفتن دستگاه نمونه بردار شیشه‌ای در پشت بام ساختمان

نوع آزمایش	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			نام روستا
	درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه	
SEM	۶۰	۵۱	۵۷/۱	۳۶	۲۳	۷/۹	گنبدلی
SEM/PSA ^۱	۶۰	۳۷	۵۷	۳۶	۱۹	۷/۵	شورلق
PSA	۶۰	۲۹	۴/۲	۳۶	۱۸	۳۴/۶	بزنگان
SEM/PSA	۶۰	۲۶	۵۱	۳۶	۱۶	۲۶/۵	آب دراز
SEM/PSA	۶۰	۴۲	۳۲/۸	۳۶	۵	۱۰/۸	پده ها
SEM/PSA	۶۰	۴۵	۵۰/۳	۳۶	۳	۲۵/۸	باغک
SEM/PSA	۶۰	۳۴	۲۴/۹	۳۶	۳	۲۱/۶	بغیغو

¹ particle Size Analysts

۴. بحث و نتایج

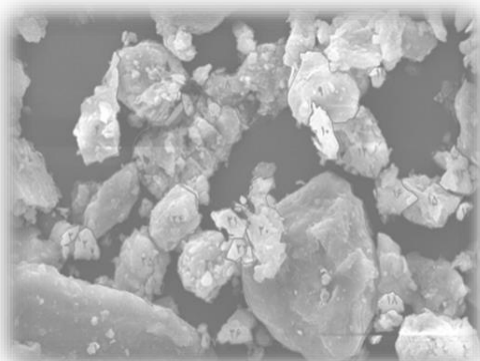
در تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۳) برای ذرات گردوغبار در روستاهای مد نظر نمونه برداری در دو مقیاس ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومتر بررسی شده است. بررسی میکروسکوپ الکترونی ذرات گردوغبار کمک شایانی به تعیین اندازه واقعی، شکل ذرات، انبوه‌های مختلف موجود در ذرات و در نهایت ترکیب شیمیایی و خاستگاه ذرات می‌کند، در بررسی‌های SEM ریخت شناسی ذرات تا حدود بسیار زیادی نشان‌دهنده نوع کانی‌های تشکیل دهنده ذرات گردوغبار است. در شش تصویر (شکل ۳) اندازه ذرات تقریباً از یکنواختی خاصی برخوردارند. شکل کروی، نامنظم، کشیده و منشوری، بلوری ماکله و یا لوزی رخ در این نمونه‌ها معرف ذرات آلومینوسیلیکاتی رسی و کوآرتز است. در ذرات گردوغبار به کمک نرم افزار آنیکس امیکا^۱ حدود ۳۰-۵۰ ذره انتخاب شد و با اندازه‌گیری میانگین قطر کوچکتر ابعاد ذره اندازه‌گیری شد و به کمک قاعده اندازه‌گیری بافت خاک بر اساس اندازه ذرات (ذرات ماسه بزرگتر از ۲ میلی متر سیلت ۰/۰۵-۲ میلی متر و رس کمتر از ۰/۰۰۲ میلی متر) درصد ذرات تشکیل دهنده محاسبه شد و غالب ذرات را سیلت تشکیل داد و بافت ذرات در کلاس سیلتی قرار گرفت (جدول ۲). همچنین خروجی نرم افزار پارتیکل سایز (جدول ۳) براساس قاعده نیز بافت ذرات را در کلاس سیلتی قرار داد. میانگین قطر ذرات ذرات گردوغبار در پارتیکل سایز و SEM در گروه کمتر از ۱۰ میکرون قرار گرفت.

جدول ۲- خروجی حاصل از آنالیز SEM به کمک نرم افزار Anix Emica

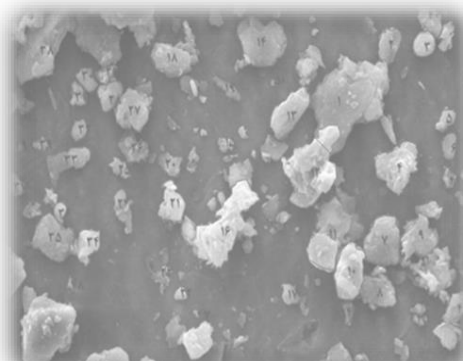
بغیغو	باغک	پده	آب دراز	شورلق	گنبدلی	
۶۷	۳/۷	۶/۳	۵/۹	۴/۴	۷/۲	میانگین (میکرون)
۱۵/۴	۷/۸	۲۱/۶	۲۰/۳	۱۱/۷	۲۵/۳	حداکثر (میکرون)
۰/۸	۱/۳	۱/۸	۱/۷	۰/۸	۱/۶	حداقل (میکرون)

جدول ۳- خروجی حاصل از آنالیز دانه‌بندی لیزری ذرات

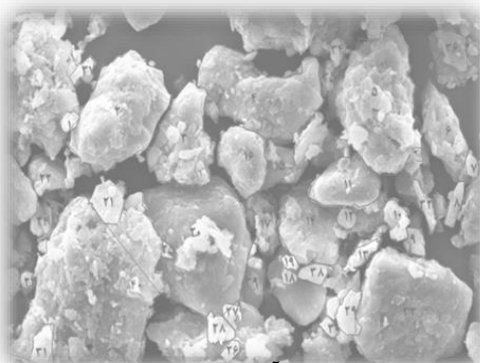
بغیغو	باغک	پده	شورلق	نام روستا
۳	۳	۳	۲	میانگین (میکرون)
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	حداکثر (میکرون)
۲	۲	۶	۲	حداقل (میکرون)



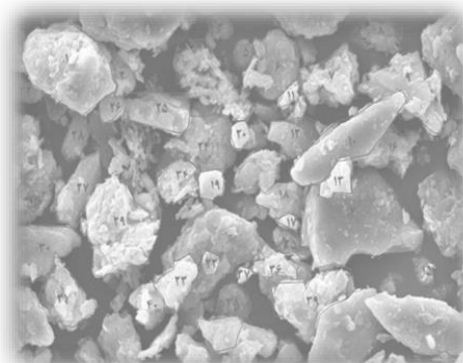
گنبدلی



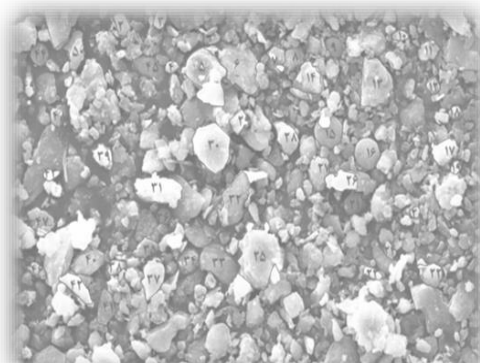
شورلق



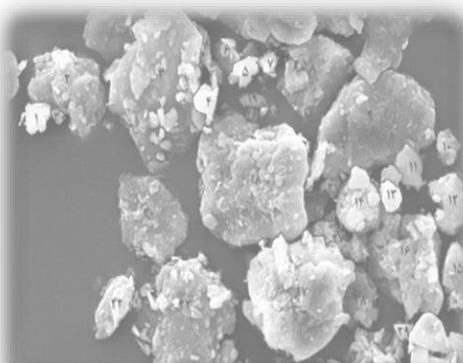
آبدراز



پدها



باغک



بغغو

شکل ۳- خروجی حاصل از آنالیز SEM در مقیاس ۵۰۰ میکرون

تکنیک تفرق اشعه ایکس امکان تشخیص فازهای کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌های گردوغبار را می‌دهد. این آنالیز با استفاده از الگوی پراش متأثر از ویژگی‌های نوع کانی و همچنین با توجه به موقعیت، شدت و عرض پیک‌های تصاویر XRD صورت می‌گیرد (موسوی و پورخباز، ۱۳۹۶). با توجه به نتایج حاصل از بررسی می‌توان گفت که عمده کانی‌های تشکیل دهنده شامل: کلسیت، ژیس و کوارتز و کائولونیت می‌باشد. نتایج حاصل از XRD در جدول (۴) شامل کانی‌های تشکیل دهنده و در شکل شماره ۴ شامل طیف عبوری از ذرات گردوغبار در روستاهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آنست که در روستای شورلق کانی رسی شامل: کائولونیت (با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و خشک منطقه و با منشأ آواری (از رسوبات واحدهای زمین‌شناسی) و تبخیری است. در روستای آب دراز و شورلق کانی کوارتز با منشأ سیلیکاتی و کانی‌های کربناته کلسیت و ژیس با منشأ تبخیری حضور دارند، درصد کانی‌های تشکیل دهنده روستای پده شامل: کلریت، کوارتز و کلسیت است، همچنین کانی‌های تشکیل دهنده روستای بغغو و باغک شامل شرایط گردوغبار مشابه روستاهای نامبرده می‌باشد.

جدول ۴- درصد کانی‌های تشکیل دهنده روستاهای مورد بررسی در منطقه سرخس

نام روستا	کائولونیت ^۱	سیلیس ^۲	کلسیت ^۳	ژیس ^۴	کلریت ^۵
شورلق	۴۶/۸	۱۰/۶	۱۶/۳	۲۶/۳	۰
آبدراز	۰	۱۷/۴	۳۱/۶	۵۱	۰
پده	۰	۱۲/۲	۵/۲	۰	۸۲/۶
باغک	۶۲/۱	۱۶/۲	۲۱/۷	۰	۰
بغغو	۰	۱۴/۴	۱۹/۲	۰	۶۶/۴

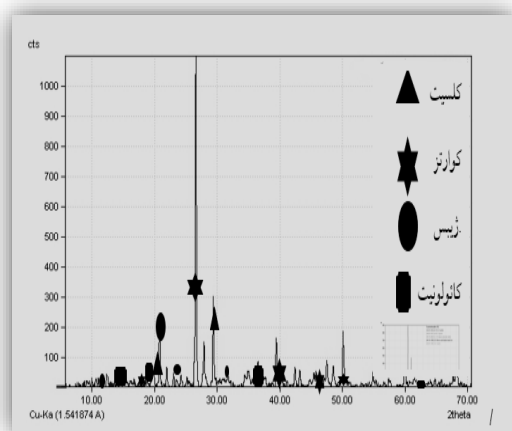
1 kaolinite($Al_2H_4O_9Si_2$)

2 sio2

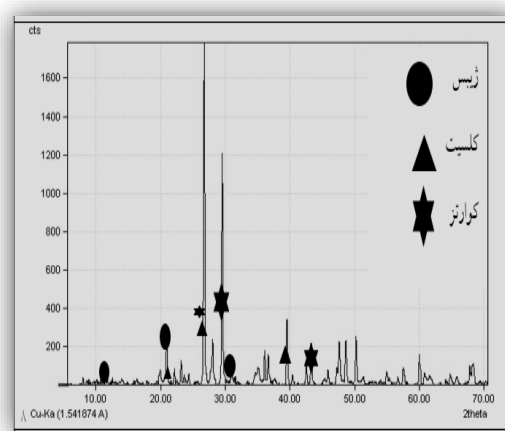
3 Calcite($CaCO_3$)

4 Gypsum

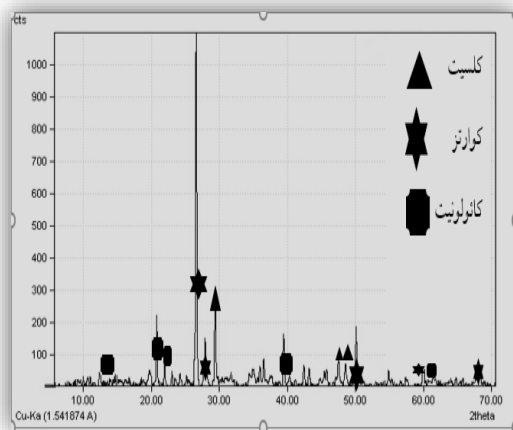
5 Cholorit($H_4Mg_3O_9Si_2$)



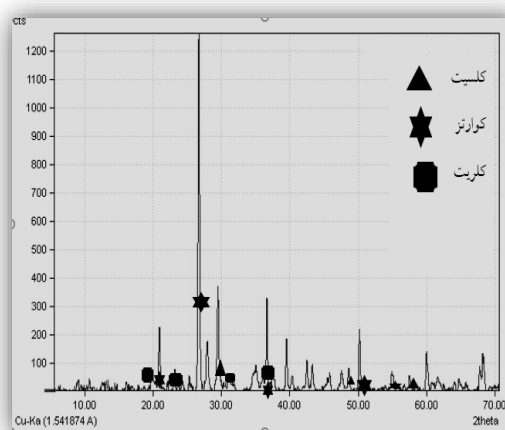
روستای آب دراز



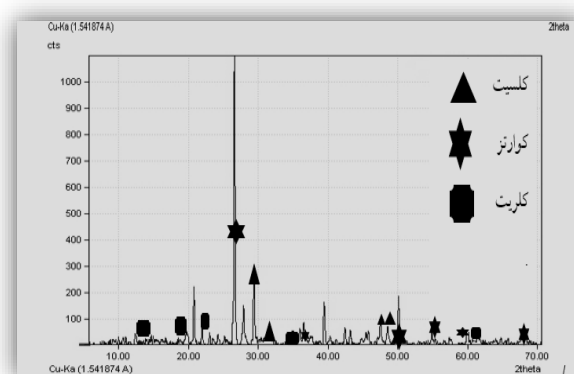
روستای شورلق



روستای باغک



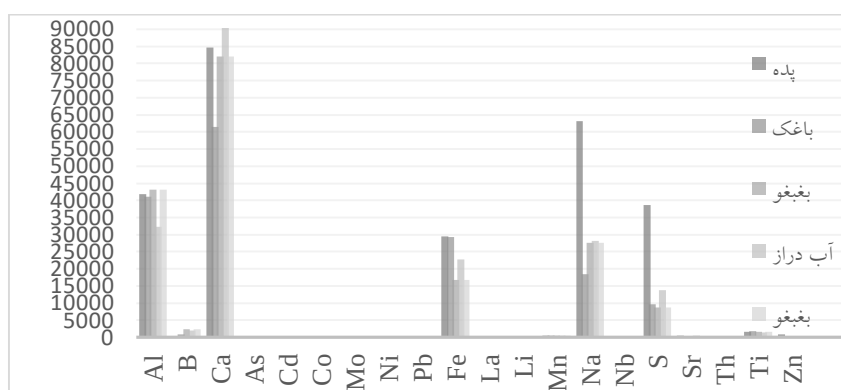
روستای پدها



روستای بغغو

شکل ۴- نتایج آنالیز XRD منطقه سرخس

نتایج حاصل از ICP: شکل ۵ غلظت عناصر تشکیل دهنده ذرات گردوغبار روستاهای منطقه سرخس (پده، بغغو، باغک و آب دراز) نشان داده است. در این جدول عناصر: کلسیم، سدیم، آلومینیوم، آهن و گوگرد بیشترین درصد عناصر را در روستاهای نامبرده به خود اختصاص داده، همچنین عناصر: آرسنیک، کادمیوم، بر، نیکل، سرب، منگرن و روی تیتانیوم در گروه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از طیف‌سنجی القایی مؤید این مطلب است که سه منشأ آواری، تبخیری و شیمیایی برای ذرات گردوغبار می‌توان در نظر گرفت. دامنه تشخیص عناصر در جدول (۵) بیان شده است.



شکل ۵- غلظت عناصر (PPM) ذرات گردوغبار

جدول ۵- دامنه تشخیص عناصر با روش ICP-OES برحسب PPM منبع: (پوتز^۱، ۱۹۸۷)

EL	Na	Ti	P	Nb	Pb	Te	Th	Y	Tl
DL ^۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱	۰/۵	۰/۰۱	۱	۰/۲	۰/۲
EL	Fe	Cs	SC	La	Ni	Mo	S	K	Cd
DL	۱۰۰	۰/۵	۰/۱	۱۰	۱	۰/۳	۵۰	۱۰	۰/۱
EL	Cr	Ba	Mg	As	Mn	Co	Zn	Rb	Be
DL	۲	۰/۲	۱۰	۱	۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱
EL	Tl	U	W	Eu	Ga	Sm	Ge	Zr	V
DL	۰/۲	۱	۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۱	۲
EL	Cd	Sn	Sr	Ce	Yb	Er	Nd	Gd	Li
DL	۰/۱	۱	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۲
EL	Be	Ag	Al	Cu	Ca	Se	Dy		
DL	۰/۱	۰/۱	۱۰	۰/۵	۱۰	۱	۰/۳		

1 Potts

2 Limit detection

به‌طورکلی، خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات گردوغبار مشابه خاک منطقه می‌باشد. با این حال عملکرد های فیزیکی خاک در طول انتشار گردوغبار می‌تواند خصوصیات شیمیایی گردوغبار را نسبت به منبع تغییر دهد. به عنوان مثال، فرسایش بادی ترجیحاً ذرات ریز خاک را که اغلب غنی از عناصر کمیاب می‌باشند از خاک حذف می‌کند (لی^۱، ۲۰۰۸). به علاوه در هر مرحله از چرخه گردوغبار نیز ممکن است ویژگی‌های شیمیایی و یا فیزیکی گردوغبار تغییر نماید؛ بنابراین اندازه ذرات، کانی‌شناسی و خصوصیات شیمیایی ذرات گردوغبار بسیار وابسته به فرآیندهایی می‌باشد که در طول انتشار از خاک، انتقال در اتمسفر و رسوب اتفاق می‌افتد (لاورنس^۲، ۲۰۰۹).

عموماً به لحاظ کیفی، ذرات گردوغبار در دو دسته صنعتی و طبیعی جای می‌گیرند. ذرات صنعتی از نظر اندازه کوچکتر از ذرات بیابانی بوده و در تصاویر میکروسکوپی ظاهری تیز و لبه دارند. این ذرات بر اثر فعالیت انسانی وارد اتمسفر می‌شوند. ذرات بیابانی گردوغبار از اندازه بزرگ‌تری برخوردار بوده و عمدتاً شکل کروی دارند که بر اثر فرسایش در مسیر جابجایی ایجاد می‌شوند (بشیری خوزستانی، ۱۳۹۰). تصاویر SEM در روستای پده و گنبدلی دارای کشیدگی لبه‌های نوک تیز اند و نشانگر این است که ذرات از مسافت نزدیک‌تر وارد منطقه شده است و احتمالاً در اثر فعالیت‌های انسانی وارد اتمسفر شده است. گردوغبار با توجه به غیر یکنواخت بودن و دارا بودن از ذرات ریز تا درشت از رس تا سیلت متوسط، همچنین بعضی ذرات کروی و بعضی ذرات نیمه زاویه دار تا زاویه دار بودن را می‌توان به عنوان منشأ فرا محلی در نظر گرفت.

یکی از مهم‌ترین عواملی که بر ترکیب و غلظت شیمیایی ذرات گردوغبار اثر می‌گذارد، کانی‌شناسی و مواد منبع گردوغبار می‌باشد (احمدی بیرگانی و همکاران). تصاویر XRD عمده کانی‌های تشکیل دهنده ذرات گردوغبار را در سه فاز کربناته و تبخیری (کلسیت، ژیس) سیلیکاته (کوارتز) و رسی (کائولینیت) قرار می‌دهد. با توجه به قطر ذرات در تصاویر SEM می‌توان به نوع کانی‌ها پی برد. به عنوان نمونه ذرات کروی با ابعاد زیر ۵ میکرون کانی‌های رسی هستند که انبوه‌های خوشه‌ای ایجاد می‌کنند (ویدرکر^۳، ۱۹۹۸).

ساختارهای بلوری منظم در اندازه ۱۰-۲۱ بیشتر از بلورهای کلسیت هستند که معمولاً در اندازه‌های PM₁₀ تمرکز بالایی دارند. ذرات نزدیک به کروی و یا دارای شکل‌های نامنظم که همراه با اندازه‌های PM₁₀ هستند، بیشتر بلورهای کوارتزی هستند که به صورت تک کانی در بیشتر نمونه‌ها نمود کاملاً مشخصی دارند (زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج کانی‌شناسی در مناطق شهری دشت سیستان نشان داد که کانی‌های غالب در نمونه‌های گردوغبار به ترتیب کلسیت، کوارتز و فلدسپات‌ها بوده‌اند که منعکس کننده شرایط اقلیمی گرم و پوشش گیاهی ضعیف در یک محیط رسوبی هستند (دانش شهرکی، ۱۳۹۵) که شباهت بسیاری با ترکیب کانی‌های گرد و غبار شهرستان بیرجند و سرخس

1 Li

2 Lawrence

3 Wiederkehr

دارند (موسوی و خباز پور، ۱۳۹۶). ترکیب کانی‌شناسی و تاحدودی ریخت‌شناسی ذرات گردوغبار از دیدگاه زمین‌شناسی منطقه تحت تأثیر مسیر غالب باد است، همچنین جهت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، با باد غالب در منطقه سرخس بر هم منطبق است (زمین‌شناسی شمال شرق، مجد آب شرق). با توجه به وجود کانی کلسیت و کوارتز بیشتر نمونه‌ها به عنوان محصولات فرعی محیط‌های رسوبی تخریبی نشان دهنده خاستگاه کاملاً رسوبی برای ذرات گردوغباریبر جند و سرخس می‌باشد. همچنین خاستگاه کانی کلسیت می‌تواند در نواحی دارای صحرا با گستردگی زیاد رسوبات بادی همراه باشد (زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۰، زراسوندی، ۱۳۸۸). علاوه بر آن در بررسی فلزات محلول کلسیم و پتاسیم، آهن و آلومینیوم و منگنز بیشترین مقدار غلظت را در بین تمامی فلزات در روستاها دارا بوده است که نشان از طبیعی و خاکزاد بودن منشأ گردوغبار می‌باشد علاوه بر آن فراوانی بالای کانی‌های کلسیت و کوارتز نیز تأیید منابع انتشار زمین شناختی برای ریزگردها می‌باشد (گرازولیس و همکاران، ۲۰۰۹)، (بشیری خوزستانی و همکاران، ۱۳۹۵).

با بررسی میزان بالای غلظت فلزات محلول، می‌توان به منشأ بادهای ۱۲۰ روزه سیستان اشاره کرد (موسوی و خبازپور، ۱۳۹۶) در بین فلزات کلسیم در بالاترین میزان به ۳۲۱۴۶۶ (ppm) می‌تواند حاکی از جابه جایی ذرات درشت گردوغبار و یا نزدیکی منبع تغذیه و منشأ را نیز نشان داد. وجود عناصر کلسیم، بر و گوگرد به دلیل نزدیکی منابع تغذیه کننده گردوغبار به ایستگاه و نزدیکی به رسوبات تبخیری و واحدهای زمین‌شناسی آهکی و دولومیتی و همچنین معدن گچ و عناصر سمی همانند آرسنیک و روی به پالایشگاه خانگیران نسبت داد.

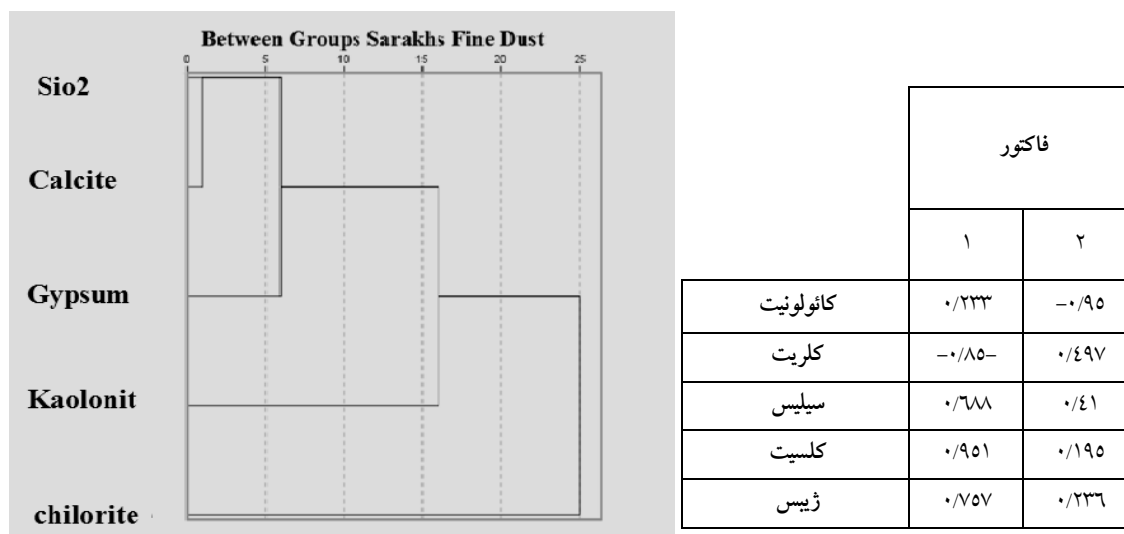
۵. نتیجه‌گیری

بیشترین میزان غلظت فلزات در ذرات گردوغبار مربوط به روستای آبدراز، پده، بزنگان می‌باشد. موقعیت این روستاها هم جهت با بادهای ۱۲۱ روزه سیستان و در راستای باد غالب منطقه که شمال غربی - جنوب شرقی (گزارش زمین‌شناسی شمال شرق، مجد آب شرق) است. به نظر می‌رسد ذرات گردوغبار در منطقه سیستان شباهت به ذرات گردوغبار این مناطق دارد.

عناصر آلومینیوم، بر، کلسیم، سدیم، آهن، گوگرد، تیتانیوم، منگنز، روی و استرانسیوم ۱۰ گروه عنصری هستند که بیشترین غلظت را در ذرات گردوغبار منطقه، تشکیل داده‌اند.

با توجه به خروجی SEM، XRD می‌توان برای گردوغبارهای حاضره در سرخس چند منشأ در نظر گرفت، بدین صورت که منشأ تبخیری شامل: کانی کلسیت به بادهای ۱۲۰ روزه سیستان نسبت داد و عناصر تبخیری شامل گوگرد و بر را به معدن گچ، عناصر سمی را به پالایشگاه گاز خانگیران و کانی‌های رسی و عناصر آهن، آلومینیوم و نیکل را به منشأ آوارای و زمینی نسبت داد، اما نتایج PSA گویا این مطالب است: جورشدهگی بسیار بالا و ذرات غالباً دانه رسی تا سیلت متوسط را تشکیل می‌دهند که بیان کننده این مطلب است که می‌تواند منشأ ذرات دور هم باشد که

بادهای ۱۲۰ روزه سیستان به علت هم جهت بودن با بادهای منطقه سرخس نیز مؤید این مطلب است. هر چه سرعت باد بیشتر باشد و ذرات کوچکتر و کروی تر باشند، نشان می دهد ذرات از فاصله دورتری آمده اند، لذا باید از PSA در کنار نتایج XRD، SEM استفاده کرد و هر کدام از این آزمایش ها به یکدیگر وابسته هستند و در واقع مکمل یکدیگرند. همچنین طبق نتایج آنالیز فاکتوری و خوشه ای (شکل ۶) کانی های تشکیل دهنده منطقه شامل: کائولونیت، کورتز و کلسیت و ژیس دارای یک منشأ مشترک و تبخیری هستند اما کانی کلریت منشأ جدا گانه ای دارد و احتمالاً منشأ آواری یا شیمیایی دارد. نتایج آنالیز فاکتوری و خوشه ای برهم منطبقند.



شکل ۶- نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری (سمت راست) و خوشه ای (سمت چپ) کانی های تشکیل دهنده ذرات گردوغبار

کتابنامه

احمدی بیرگانی حسام؛ فیض نیا، سادات؛ میرنژاد، حسن؛ کوئین، کن مک؛ ابراهیمیان، سعید؛ تابع الحجه، محمد علی؛ ابراهیمی، شاکر؛ سالمی مجرد، اسکندر؛ خلیفه زاده، عبدالرضا؛ بدری، جواد؛ ۱۳۹۵. ترکیب شیمیایی ذرات TSP گرد و غبار به عنوان شاخصی در منشأیابی ژئو شیمیایی در رسوبات، محیط زیست طبیعی. منابع طبیعی ایران. شماره ۳۶. ۲۸۳-۳۰۱.

احمدی، حسن؛ ۱۳۷۷. ژئومرفولوژی کاربردی (بیابان-فرسایش بادی). جلد دوم. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

آرامی، سید عبدالحسین؛ اوتق، مجید؛ محمدیان بهبهانی، علی؛ اکبری، مهري؛ زراسوندی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. تحلیل مطالعات مخاطره گردوغبار در جنوب غرب ایران در دوره ۲۲ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۷). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

۱۳۹۷. سال پنجم. شماره ۱. ۳۹-۶۶.

- بشیری خوزستانی، رضا؛ سوری، بابک؛ ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق بزرگتر از ۱۱ میکرومتر در استان کردستان. غرب ایران. علوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره ۳. ص ۷۹-۸۰.
- جعفری، فریبا؛ خادمی، حسین؛ ۱۳۹۶. مهم ترین ویژگی های شیمیایی و فیزیکی گردوغبار اتمسفری شهر کرمان. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال بیست و یک، شماره ۱. ص ۲۱-۱۸.
- خاتونی درویشی جواد؛ ۱۳۹۵. رسوب شناسی و زمین شیمی رسوبات دشت خوزستان با نگرش پتانسیل تولید گردوغبار. یافته های نوین زمین شناسی و کاربردی. دوره ۱۰. شماره ۲۰. ۹۲-۱۰۵.
- رسولی، علی اکبر؛ اساری صراف بهروز؛ محمدی، غلام حسین؛ ۱۳۸۹. تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵ سال اخیر با استفاده از روش های آماری ناپارامتری. فصل نامه جغرافیا. شماره ۹، ص ۱۵-۲۸.
- زراسوندی، علیرضا؛ مر، فرید؛ نظریور، احد؛ ۱۳۹۰. ترکیب کانی شناسی ذرات تشکیل دهنده پدیده گردوغبار در استان خوزستان با تکیه بر آنالیز XRD و SEM، مجله بلورشناسی و کانی شناسی. دوره ۱۹. شماره ۳. ۵۱۱-۵۱۸.
- زراسوندی، علیرضا؛ ۱۳۸۸. بررسی اثرات زیست محیطی پدیده گردوغبار در استان خوزستان (فاز اول). اداره کل حفاظت از محیط زیست استان خوزستان. ص ۲۰۰.
- کریمیان، بهناز؛ لندی، احمد؛ حجتی، سعید؛ احدیان، جواد؛ ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات فیزیکی شیمیایی و کانی شناسی گردوغبار شهر اهواز. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۷. شماره ۱. ۱۵۹-۱۷۳.
- الگوی مشارکت جوامع محلی و دستگاه های اجرایی در احیاء منابع طبیعی، زمین شناسی شهرستان سرخس. مهندسين مشاور مجدآب شرق.
- موسوی، حوریه؛ پورخباز، علیرضا؛ ۱۳۹۶. منشأیابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ها در شهرستان بیرجند. فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی. محیط زیست. سال یازدهم. شماره ۸۳. بهار ۹۶. ص ۱-۹.

- Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., Rashidi, Y., 2017. Mineralogical and Chemical Characterization of Suspended Atmospheric Particles in Ahvaz. Int J Environ Res.
- Folk R.L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing company texac78703.
- Grazulis S, Chateigner D, Downs R. T, Yokochi A. T, Quiros M, Lutterotti L, Manakova E, Butkus, J, Moeck, P & Le Bail, A., 2009. Crystallography Open Database - an open-access collection of crystal structures. J. Appl. Cryst. 42, 726-72.
- Jaradat Q, Momani M, Kamal A, Jbarah, Abdel-Aziz Q Massadeh A., 2004. Inorganic analysis of dust falls and office dust in an industrial area of Jordan. Environmental Research',96, pp. 139-144.
- John R. Dean., 2005. Practical Inductively Coupled Plasma Spectroscopy, ASM Metal Handbook, Materials Characterization Induction coupled plasma spectroscopy and its application, Volume 10, Steve J.Hill, second edition.
- Karimian Torghabeh, A., Afzali, S. F., Jahandari, A., Mahmudy Gharaie, M. H., & Al-Khashman, O. A., 2020. Evaluation of trace elements concentration in surface sediments of Parishan International Wetland (Fars Province, SW Iran) by using geochemical and sedimentological analysis. Toxin Reviews.P1-9.

- Lawrence, C. R. and J. C. Jason., 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition Chem. Geol. 267: 46- 63
- Li, J., G. S. Okin, L. Alvare and H. Epstein., 2008. Effects of wind erosion on the spatial heterogeneity of soilnutrients in two desert grassland communities. Biogeochemi. 88: 73-88
- Modaish,A.S. M., 1997. characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city Saudi Arabia. Journal of Arid Environments. V. (36), P. (211-213).
- Mounteney I, Burton A. K, Farrant A. R, Watts M. J, Kemp S. J. & Cook J. M., 2018. Heavy mineral analysis by ICP-AES a tool to aid sediment provenancing. Journal of Geochemical Exploration, 184, 1–10.
- Potts, P. J., 1987. A Handbook of Silicate rock analysis. Blackie and Son Ltd, 549 p
- Siironen P, Rasanen M, Gingras M, Harris C, Irion G, Pemberton G, Ranzi. A., 2005. Application of Laser diffraction grain-size analysis to reveal depositional processes in tidally influenced systems. Fluvial Sedimentology VII, Special Publication Number 35 of the International Association of Sedimentologists. Vol. 159-180.
- Wiederkehr P, Yoon S.J., 1998. Air quality indicators. In: Fenger J, Hertel O, Palmgren F(eds) Urban air pollution European aspects. Kluwer. Dordrec.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۵۶-۳۹

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i3.87362>

مقاله پژوهشی

تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS (مطالعه موردی: استان مازندران، شهر ساری)

مهدی مدیری- دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

محمد اسکندری- استادیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیر عامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

سمیرا حسن‌زاده^۱- دانشجوی دکتری مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۲۲

چکیده

توزیع جغرافیایی زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد تقریباً تمام سرزمین ایران در معرض خطر زلزله قرار داشته و پتانسیل ناامنی دارد و بیشترین فراوانی آن متعلق به پیرامون کشور ایران، یعنی محور شرق، شمال، غرب و جنوب است به‌طوری‌که در ۴۰ سال گذشته تعدادی از زلزله‌های ویرانگر که به وقوع پیوسته و از اهمیت زیادی برخوردار بوده است، در این محور رخ داده‌اند. با توجه به وجود گسل‌های زلزله‌زا در استان مازندران که می‌تواند شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد بررسی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن با استفاده از مدل مناسب امری ضروری و غیرقابل اجتناب است؛ از این رو هدف از این پژوهش تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS است. شهر ساری ۳,۵ کیلومتر با گسل خزر و ۳۷,۵ کیلومتر با گسل البرز فاصله دارد؛ بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، شهر ساری به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و ازلحاظ ماهیت، کاربردی است. برای جمع‌آوری داده‌ها، مطابق استانداردهای مدل رادیوس، از سازمان‌های مربوطه استفاده شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت و دو سناریو با توجه به دو گسل خزر و شمال البرز برای تخمین خسارت‌های ناشی از زلزله احتمالی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل بیانگر آن است بر اساس سناریوی گسل خزر ۱۸۹۱۰

ساختمان تخریب، ۲۳۸۲ نفر کشته و ۲۲۸۹۷ نفر مصدوم خواهند شد. مطابق سناریوی گسل البرز نیز ۳۰۸۶ ساختمان تخریب، ۱۵ نفر کشته و ۲۱۰۲ نفر مصدوم خواهند شد. بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده در منطقه مورد مطالعه نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله حاکی از آن است که گسل خزر به دلیل فاصله اندک با منطقه مورد مطالعه بیشترین آسیب را به همراه دارد. کمترین میزان آسیب پذیری برای منطقه ناشی از گسل شمال البرز است. نتایج به دست آمده از این مطالعه موردی می تواند به تصمیم گیران در اولویت بندی مناطق آسیب پذیر برای کاهش خطر زمین لرزه و برنامه ریزی مؤثر جهت خدمات اضطراری پس از وقوع زلزله کمک کند.

کلیدواژه‌ها: تخمین خسارت، زلزله، مدل رادیوس، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ساری.

۱. مقدمه

سوانح طبیعی همچون زلزله، سیل، طوفان و... شرایط غیر قابل کنترل هستند که به طور مستقیم بر زندگی انسان تأثیر می گذارند (گوکچه و ارکان^۱، ۲۰۱۹). سوانح طبیعی در طول دوران حیات کره زمین همواره وجود داشته و همیشه یک خطر جدی برای توسعه به شمار رفته و خواهند رفت (مهدوی و هزاریان، ۱۳۹۶). بانک داده های بحران ها و فوریت ها^۲ تعداد کل سوانح طبیعی و افراد تحت تأثیر را نشان می دهد که به طور فزاینده از سال ۱۹۰۰ افزایش یافتند (کااو و همکاران^۳، ۲۰۱۸). سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ به طور مکرر اتفاق افتاده است و منجر به عواقب فوق العاده ای همچون تلفات زیاد، خسارت دارایی و اختلال در محیط زیست می شود (پاپادوپولوس و همکاران^۴، ۲۰۱۷). در این میان زلزله یکی از مخرب ترین مخاطرات طبیعی شناخته شده است که با خرابی ساختمان ها و زیرساخت های شهری، خسارت های بسیاری را به اموال و دارایی ها وارد می کند (ایکسیو و همکاران^۵، ۲۰۱۰). با توجه به واقع شدن ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله خیز جهان و وجود گسل های فراوان، وقوع زلزله در فلات ایران، امری طبیعی است (نگارش، ۱۳۸۲). ایران از جمله کشورهای زلزله خیز محسوب می شود و تاکنون تلفات زیادی از نظر جانی و مالی متوجه آن شده است (یاریان و کرمی، ۱۳۹۸). اسکاپ در گزارش سوانح مرتبط با مخاطرات تکنونیک، ایران را جزء ده کشور اول دنیا و از لحاظ تلفات جانی ناشی از این مخاطرات جایگاه ایران را بین رتبه اول تا سوم جهان ذکر می کند (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲). طبق آمار ۱۷/۶ درصد از زلزله های مخرب رخ داده در جهان به کشور ما تعلق دارد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس آمارهای رسمی، در طی ۲۵ سال گذشته، ۶ درصد از تلفات جانی کشور ناشی از زلزله بوده است (خاکپور و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس پژوهش های وزارت مسکن و شهرسازی،

1 Gökçe & Ercan

2 Emergency Disasters Data Base

3 Cao et al

4 Papadopoulos et al

5 Xu et al

۵۰ درصد جمعیت کشور در پهنه‌هایی زندگی می‌کنند که دارای بیش‌ترین خطر زلزله‌خیزی است (فرجی و قرخلو، ۱۳۸۹). زلزله‌های مخرب چند دهه اخیر نشان می‌دهد که هیچ نقطه‌ای از ایران از خطر زلزله در امان نیست (نیری و همکاران، ۱۳۹۵). تجربه زلزله‌های اخیر نشان داده است که بخش عمده‌ای از آسیب‌های ناشی از زلزله می‌تواند به علت عدم رعایت اصول و ضوابط شهرسازی باشد که خود متأثر از عدم تخمین صحیح آسیب‌پذیری شهرها در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی است (عزیزی و اکبری، ۱۳۸۷). یکی از مسائلی که امروزه موردتوجه متخصصان رشته‌های گوناگون قرار دارد، مسئله آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله است که این مسئله در کشورهایی مانند ایران که در زمینه آسیب‌های ناشی از زلزله و تلفات آن رتبه بالایی داشته است، به‌صورت جدی‌تر موردتوجه قرار دارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین برآورد آسیب‌پذیری برای کاهش تلفات آینده ضروری است؛ پیش‌نیاز برآورد خطر زلزله، ارزیابی آسیب‌پذیری است (جنا و همکاران^۱، ۲۰۲۰). افزایش آسیب‌پذیری تهدید مهمی برای ایمنی ساختمان‌ها به‌خصوص آن‌هایی که بدون رعایت مناسب مقررات لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های ساختمان ساخته شده‌اند، محسوب می‌شود (مزمدر و سلمان^۲، ۲۰۱۹)؛ بنابراین اگر بتوان با روش یا روش‌هایی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری ناشی از سوانح طبیعی مانند زلزله را تعیین کرد، می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی را تا حد بسیار زیادی افزایش داد (کاظمی نیا و پاریزی، ۱۳۹۶). هدف اصلی روش‌های کاهش ریسک و روش‌های عملیاتی محافظت از جان و اموال در برابر تأثیر سوانح طبیعی است (بوکری و همکاران^۳، ۲۰۱۸). ارزیابی خسارت لرزه‌ای مبتنی بر سناریو می‌تواند نقطه شروع خوبی در برنامه‌ریزی کاهش خطر زمین‌لرزه باشد (آلام و همکاران^۴، ۲۰۱۲). در خصوص انواع روش‌های تخمین خسارت زلزله تحقیقات زیادی انجام شده است که هریک از آن‌ها از مدل‌ها و روش‌های متعدد با توجه به اهداف و فرضیات خود استفاده نموده‌اند و برخی از آن‌ها عبارت‌اند از (روش هازوس، روش‌های مبتنی بر جی آی اس و روش رادیوس) و می‌توان آن‌ها را در دودسته تحقیقات داخلی و خارجی دسته‌بندی نمود. امینی و همکاران (۱۳۹۰). در پژوهشی به ارزیابی مدل رادیوس پرداخته و مزایا و معایب این مدل را موردبررسی قرار داده‌اند. کاظمیان و آریش (۱۳۹۴) به ارزیابی مدل رادیوس جهت تخمین خسارت پرداختند و روش‌های مناسب جهت تخمین خسارت ناشی از زلزله را ارائه نمودند. شکیب و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش تحلیل چند معیاره فازی پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که خسارت‌های ساختمانی از ۶ تا ۸ مرکالی افزایش زیادی یافته و از ۱/۵ درصد به ۴۶ درصد رسیده است. تلفات انسانی نیز بیشتر در ساختمان‌های مسکونی رخ می‌دهد که توجه مضاعف به بهسازی ساختمان‌های مسکونی را می‌طلبد. ملکی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرها بر اساس

1 Jena et al

2 Mazumder & Salman

3 Boukri et al

4 Alam et al

سناریوهای شدت مختلف با بهره‌گیری از مدل‌های کمی، Topsis و GIS، نرم‌افزارهای Excel و SPSS به بررسی موضوع پرداخته‌اند. همچنین به‌منظور کاهش ضریب خطا و تعیین دقیق‌تر پیش‌بینی‌ها، ۵۰ متغیر از شاخص‌های اجتماعی-کالبدی در تجزیه و تحلیل‌ها دخیل و ارزیابی شد. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد خسارت ساختمانی در اثر زلزله تا شدت ۵ مرکالی تقریباً آسیبی ندارند و یا خیلی ناچیز است؛ اما اگر میزان شدت زلزله بیشتر از ۷ ریشتر باشد بیش از ۵۰ درصد ساختمان‌های منطقه ۲ در معرض آسیب زلزله قرار دارند؛ و در مدل Topsis میانگین آسیب‌پذیری اجتماعی در مناطق برابر ۰/۴۱۲ درصد بوده که منطقه ۲ و ۱ به ترتیب با میزان ۰/۶۴۲ و ۰/۱۸۳ درصد بیشترین و کمترین آسیب‌پذیری اجتماعی شهر را در برابر زلزله در مناطق شهر یزد دارا می‌باشند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بردسکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون پرداختند. هدف از این پژوهش شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزاء و عناصر شهری با استفاده از مدل‌ها و روش‌های موجود در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله است. امیدیان و صفاری (۱۳۹۷) به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم با استفاده از منحنی‌های خرابی پرداختند. در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم در پلان با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۹ طبقه تحت ده رکورد تاریخیچه شتاب حرکت زمین با استفاده از تحلیل دینامیکی فزاینده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا شاخص‌های تغییر مکان جانبی نسبی حداکثر، تغییر مکان جانبی نسبی پسماند، ضریب رفتار و برش پایه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همچنین منحنی‌های خرابی، با استفاده از حالات حدی مختلف خرابی سازه بتنی طبق دستورالعمل HAZUS در دو حالت سازه منظم و نامنظم بررسی شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش نامنظمی پیچشی، تغییر مکان جانبی نسبی حداکثر سازه و تغییر مکان جانبی نسبی پسماند سازه افزایش می‌یابد. ضریب رفتار سازه نیز با نامنظم شدن سازه کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد طبقات و میزان نامنظمی، درصد خرابی در سازه افزایش می‌یابد. از این‌رو طرح سازه‌های نامنظم در پلان تا حد امکان توصیه نمی‌گردد. (مایو و همکاران)^۱ (۲۰۱۵) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مراکز تاریخی شهر: مطالعه موردی مرکز شهر قدیمی فارو، پرتغال پرداختند. برای دستیابی به این هدف از یک روش مبتنی بر شاخص آسیب‌پذیری استفاده شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای شوراهای شهر و مقامات محلی محسوب می‌شود؛ زیرا بر اساس یک دید کلی می‌توانند استراتژی‌های جامع‌تر و دقیق‌تری به‌منظور کاهش ریسک تدوین نمایند. نینگتوجام و ناندا^۲ (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی با استفاده از GIS پرداختند. در این مطالعه ویژگی‌های ساختمان مانند عمر بنا، کیفیت ساختمان، نوع خاک، تعداد طبقه در هر ساختمان و ... در نظر گرفته شد. بر اساس برگه نمره غربالگری بصری سریع، مهم‌ترین

1 Maio et al

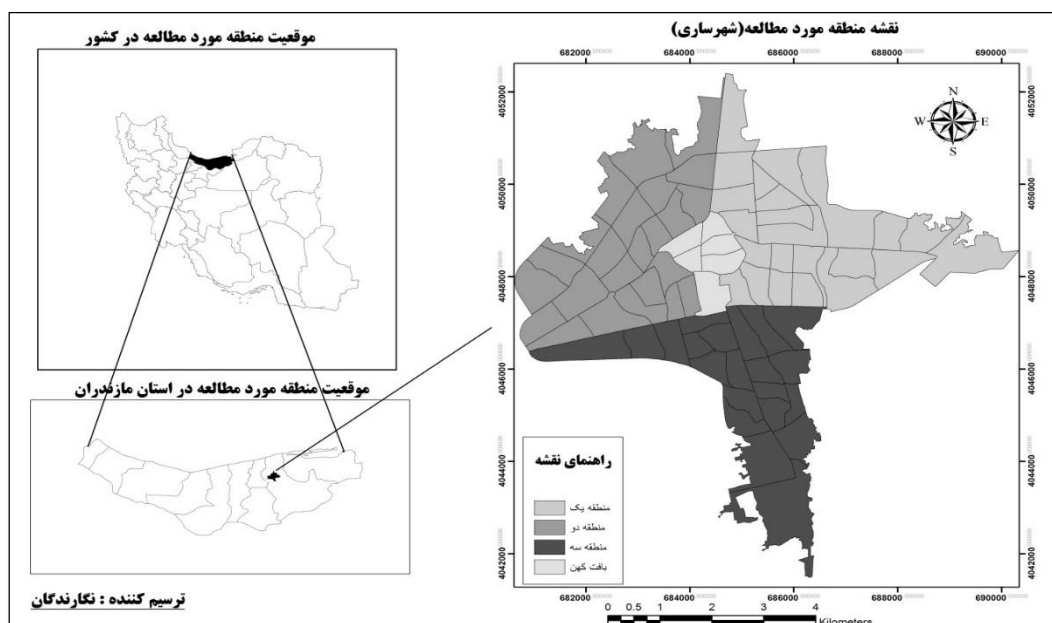
2 Ningthoujam & Nanda

عامل از بین رفتن استحکام ساختار عمر بنا بوده است. طبقه‌بندی خرابی ساختمان‌ها از درجه ۱ الی ۵ بیان می‌گردد. از این روش با بررسی موردی در مانیپور هند استفاده شد. همچنین نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری در نقشه‌های رنگی در محیط GIS ارائه شده است. مزدومر و سلمان^۱ (۲۰۱۹) در پژوهش خود به ارزیابی خسارت لرزه‌ای با استفاده از رادیوس در بنگلادش پرداختند. عدم توجه به مکان‌یابی صحیح شهرها و نیز بی‌توجهی به جهت رشد و توسعه شهرهای موجود و فقدان برنامه‌ریزی مناسب برای جلوگیری از رشد شهرها باعث شده اکثر شهرهای استان مازندران بر روی مسیرهای اصلی گسل‌ها و یا در حریم آن‌ها ساخته شوند (سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۸۲). با توجه به وجود گسل‌های زلزله‌زا در استان مازندران که می‌تواند شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد بررسی آسیب‌پذیری آن با استفاده از مدل مناسب امری ضروری و غیرقابل اجتناب است؛ بنابراین با توجه به روش‌های مختلف تخمین و ارزیابی خسارت، در این پژوهش یک تکنیک یکپارچه GIS و RADIUS برای برآورد آسیب لرزه‌ای در شهرستان ساری تحت سناریوی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش هم آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری و هم تعداد کشته‌شدگان و مصدومان و نیز وضعیت شریان‌های حیاتی در سناریوهای مختلف شدت زلزله بررسی و میزان خسارت برآورد می‌شود. رادیوس بهترین گزینه جهت ارزیابی ریسک منطقه برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش خسارت و امنیت رفاه شهری است چراکه به تخصص‌های پیچیده مهندسی نیازی ندارد و در کمترین زمان به نتایج مناسبی خواهد رسید همچنین از لحاظ هزینه نسبت به سایر روش‌ها مقرون به صرفه تر است و نیازی به اطلاعات پیچیده و منابع زیاد ندارد و از دقت مناسبی نیز برخوردار است و به عنوان یک ابزار مفید برای تخمین آسیب لرزه‌ای بالقوه برای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی خطر سوانح طبیعی به‌ویژه برای کشورهای درحال توسعه و مناطقی که اطلاعات ریز و دقیقی از منطقه در دست نیست و نقشه‌های جی‌آی‌اس برای آن مناطق تهیه نشده است و درعین حال جزو مناطق پرخطر محسوب می‌شوند می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار مدیران قرار دهد. ادغام GIS و RADIUS به‌طور قابل توجهی دقت نتایج را افزایش می‌دهد.

۲. موقعیت جغرافیایی شهر و اطراف آن

شهر ساری مرکز استان مازندران و شهرستان ساری است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی این شهر در طول شرقی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریای آزاد حدود ۴۰ متر است. از لحاظ موقعیت طبیعی، این شهر در جنوب دریای مازندران و در منطقه جلگه‌ای و نسبتاً مسطح شهرستان ساری قرار گرفته و تنها قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی آن به کوه‌ها و تپه‌ماهورهای کم ارتفاع منتهی می‌گردد. رودخانه تجن که از پرآب‌ترین رودخانه‌های استان است از ارتفاعات جنوبی شهرستان سرچشمه گرفته و از بخش شرقی شهر عبور می‌نماید. از لحاظ توپوگرافی عمومی شهر ساری در طبقه ارتفاعی ۱۰۰-۰ استقراریافته و شیب

عمومی شهر از جنوب به شمال و بسیار ملایم است. محدوده قانونی شهر ساری شامل: منطقه یک (مشمول بر ۷ ناحیه و ۲۳ محله)، منطقه دو (مشمول بر ۶ ناحیه و ۲۴ محله)، منطقه سه (مشمول بر ۵ ناحیه و ۲۱ محله) و بافت تاریخی (مشمول بر ۱ ناحیه و ۶ محله) است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را همراه با مناطق آن نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳. روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف کاربردی است. پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت و روش تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است. برای انجام تحقیق مرکز استان مازندران شهر ساری انتخاب گردید. مراحل انجام پژوهش به شکل ذیل است:

- مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده در داخل و خارج از کشور
- تهیه و گردآوری اطلاعات و داده‌ها مطابق استانداردها و پیش‌نیازهای مدل رادیوس از سازمان‌های مربوطه (شهرداری ساری، شرکت برق منطقه‌ای ساری، شرکت آب و فاضلاب ساری، اداره خاک ساری، شرکت مازند طرح و سازمان برنامه‌وبودجه استان مازندران) در سال ۱۳۹۸.
- شبکه‌بندی منطقه و آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به مدل مورد استفاده که بر این اساس شریان‌های حیاتی منطقه، سازه و خاک منطقه مطابق مدل رادیوس طبقه‌بندی شده و وارد برنامه رادیوس شده تا به نتایج نهایی دست‌یافت.

- تجزیه و تحلیل داده‌ها با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد؛ که در ادامه چگونگی انجام تحقیق با این مدل به‌طور کامل تشریح می‌شود.

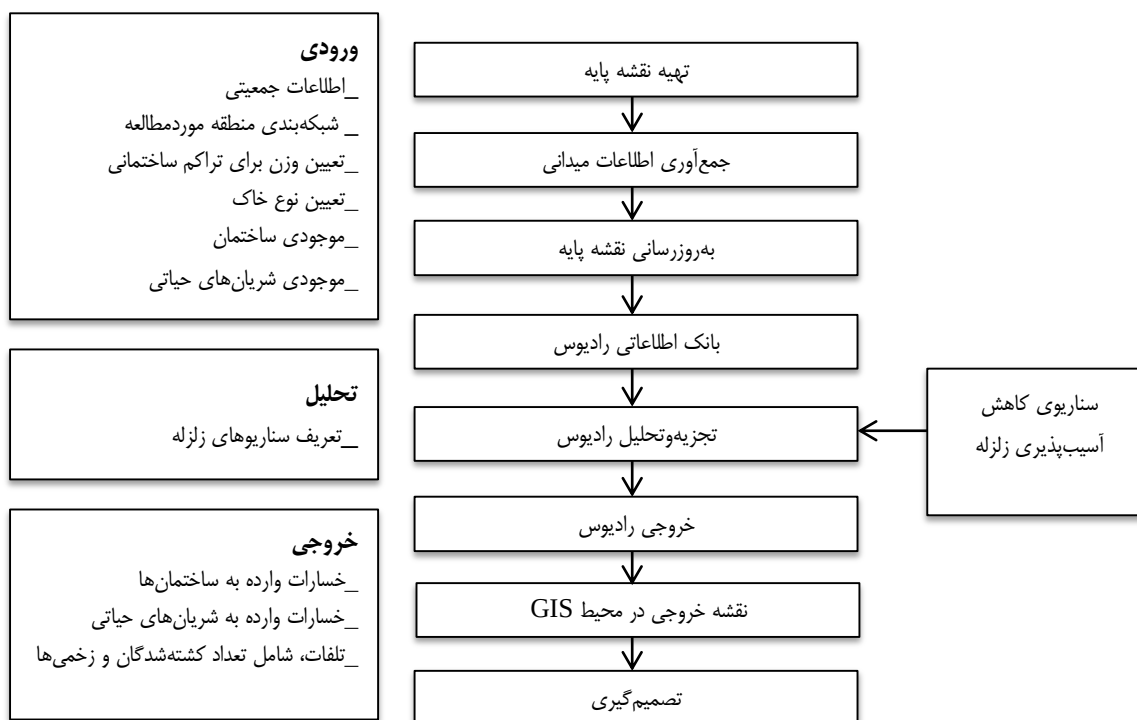
۴. رویکرد یکپارچه GIS_RADIUS

دبیرخانه کنفرانس جهانی کاهش اثرات سوانح طبیعی در سال ۱۹۹۴ در یوکوهاما ژاپن، رویکرد RADUS را در سال ۱۹۹۶ پی‌ریزی کرد. تمرکز این رویکرد، بر کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهرها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بود. هدف اولیه این رویکرد کمک به عموم مردم به‌منظور درک بهتر، از خطرپذیری لرزه‌ای و بالا بردن آگاهی عمومی، به‌عنوان اولین قدم، در جهت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای بود (ویلاسیس و کاردونا، ۱۹۹۹). اهداف اصلی این رویکرد عبارت بودند از:

- تخمین خسارت زلزله و تدوین برنامه پاسخ به خطرپذیری در ۹ شهر نمونه (در امریکای لاتین، آسیا، اروپا، آفریقا و خاورمیانه)
- ایجاد ابزاری ویژه برای مدیریت ریسک زلزله که بتوان در تمامی شهرهای زلزله‌خیز از آن استفاده کرد.
- فراهم کردن امکان، مطالعات مقایسه‌ای، برای ارزیابی خطرپذیری زلزله در مناطق شهری در سراسر جهان.
- افزایش تبادل اطلاعات به‌منظور کاهش پیامدهای ناگوار زلزله در مناطق شهری (فلاحی، ۱۳۸۸).

اساس این برنامه بر استفاده از اطلاعات موجود برای تهیه خروجی‌ها است و نیازی به تهیه و یا ایجاد اطلاعات نقشه‌های تخصصی جدید نیست. همچنین نیازی به تخصص‌های پیچیده برای استفاده از این نرم‌افزار نبوده و باعث می‌شود تا تمامی متصدیان بتوانند در فرایند تهیه و تدوین سناریوی زلزله دخیل باشند و آن را از آن خود بدانند. به دلیل تفاوت اثرات زلزله در شهرهای گوناگون، نرم‌افزار RADIUS تنها برای برآورد خسارات اولیه استفاده می‌شود و نیاز به تحقیقات بیشتری برای کسب نتیجه دقیق‌تر دارد. نرم‌افزار مزبور یک برنامه کامپیوتری استاندارد است که در محیط اکسل کار می‌کند. پژوهش حاضر GIS را با RADIUS برای ارزیابی آسیب‌پذیری ادغام می‌کند. فلوچارت پژوهش حاضر در شکل ۲ الف نشان داده شده است. شکل ۲ ب مراحل ورودی، تحلیل و خروجی و پارامترها را در RADIUS نشان می‌دهد. بعد از جمع‌آوری اطلاعات اولیه مانند نوع خاک، نوع ساختمان، جریان‌های حیاتی و ... و ورود آن‌ها به پایگاه داده GIS، منطقه مورد مطالعه با استفاده از GIS به شبکه‌های مربعی تقسیم می‌شود و پایگاه داده هر شبکه به RADIUS منتقل می‌شود. تحلیل RADIUS نیاز به یک سناریو دارد (مانند بزرگی، عمق کانون، فاصله از

منطقه مورد مطالعه)، پس از انجام تحلیل، نتایج خروجی برای هر شبکه به دست می‌آید. در نهایت نتایج RADIUS را می‌توان در GIS برای تصمیم‌گیری کاهش ریسک به صورت نقشه ارائه کرد.



شکل ۲ ب- مراحل کار رادیوس

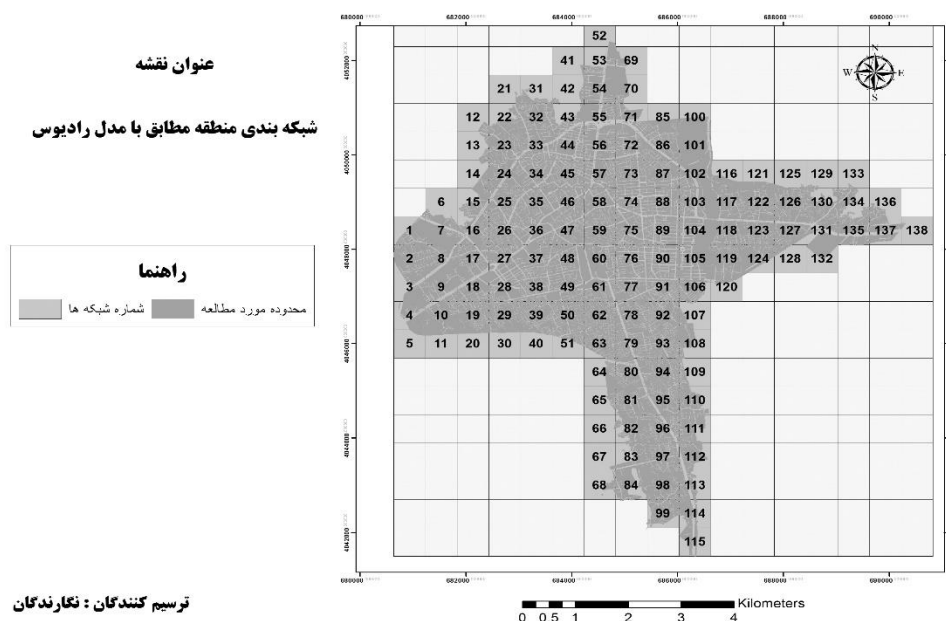
شکل ۲ الف- نمودار گردش کار یکپارچه GIS-RADIUS

۵. یافته‌های تحقیق

فرایند تخمین خسارت ناشی از زلزله در نرم‌افزار رادیوس در شهر ساری شامل مراحل زیر است:

شبکه‌بندی منطقه

با توجه به اینکه در مناطق شهری، هر بخش از منطقه دارای خصوصیات مختلفی از قبیل وضعیت زمین، نوع و کاربری متفاوت ساختمان‌ها و همچنین اطلاعات آماری متفاوت است، برای برآورد و تخمین خسارت، منطقه مورد مطالعه به ۱۳۸ شبکه مساوی (۶۰۰ متر در ۶۰۰ متر) تقسیم و اطلاعات مورد نیاز برنامه، به تفکیک هر شبکه وارد نرم‌افزار شد؛ که شبکه‌بندی منطقه در نرم‌افزار Arc GIS و با توجه به مرزهای منطقه و توزیع کاربری‌های موجود در آن صورت گرفته است. شکل ۳ شبکه‌بندی منطقه را با استفاده از نرم‌افزار GIS نشان می‌دهد.



شکل ۳- شبکه بندی شهر ساری با استفاده از نرم افزار Arc GIS مطابق با مدل رادیوس

جنس خاک

وضعیت خاک منطقه در میزان خسارات ناشی از زلزله مؤثر است، زیرا وضعیت زمین به طور مستقیم، لرزش زمین و اثرات لرزه ای را تشدید می کند. نرم افزار رادیوس طبقه بندی ساده ای برای جنس خاک پیشنهاد می کند که در این طبقه بندی جنس خاک به چهار دسته سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم که فاکتورهای تشدید شدت لرزه نیز مطابق با آن ها توسط نرم افزار اعمال می شود، تقسیم شده است. گروه بندی خاک منطقه مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱- گروه بندی خاک منطقه بر اساس برنامه رادیوس

نوع خاک	توصیف و نوع آن
سنگ سخت	در منطقه موجود نیست
سنگ نرم	در منطقه موجود نیست
خاک متوسط	سازند C
خاک نرم	سازند B

از نظر خاکشناسی، بستر شهر ساری بر روی دشت های آبرفتی دامنه ای استقرار یافته است که ذرات تشکیل دهنده آن عمدتاً به قطر کمتر از ۲ mm بوده و شیب اراضی نیز منظم و ملایم با ارتفاع ۱۰ تا ۶۰ متر از سطح دریا است. پوشش خاکی اراضی مذکور عمیق به رنگ قهوه ای مایل به خاکستری با بافت سنگین تا خیلی سنگین رسی است که

در لایه‌های زیرین دارای مقدار متوسط پودر آهک است خاک محدوده شهر دارای تناسب متوسط تا خوب برای زراعت‌های آبی و باغات مرکبات است. جهت کسب اطلاعات بیشتر درباره وسعت و درصد کلاس‌های طبقه‌بندی اراضی شهرستان ساری به طرح جامع شهر ساری مراجعه شود.

طبقه‌بندی ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه

آگاهی از تعداد ساختمان‌های موجود، نوع کاربری، نوع و جنس ساختمان‌ها و تعداد طبقه در هر شبکه برای محاسبه میزان خسارت ضروری است، طبقه‌بندی ساختمان‌ها مطابق مدل رادیوس در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. تعداد انواع مختلف ساختمان‌های موجود، نوع مصالح بکار رفته در ساخت‌وساز، نوع کاربری و تعداد طبقات در هر شبکه از طریق نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شده و وارد نرم‌افزار رادیوس شد.

جدول ۲- گروه‌بندی ساختمان‌ها مطابق با برنامه رادیوس

تعداد	مشخصات	ساختمان
۳۴۹	نوع ۱: ساختمان‌های با مصالح بنایی و غیر مقاوم در برابر زلزله‌های احتمالی، ساخته شده از آجر، کاه‌گل و سقف‌ها و دیوارهای بدون شناژ	مسکونی
۴۵۷۲۹	نوع ۲: سازه‌های ترکیبی، سازه‌های غیراستاندارد و غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی، ارتفاع تا سه طبقه	
۹۱۷	نوع ۳: ساخت ترکیبی بتن مسلح-URM: ساخت‌وساز قدیمی و تخریب شده که مطابق با تمهیدات قانون ساختمان‌سازی نیست، ارتفاع ۴ تا ۶ طبقه	
۱۱۳۴۶	نوع ۴: ساختمان‌های با اسکلت فلزی یا بتن مسلح، مهندسی ساز، نوساز و چندین طبقه	
۱۵۱	نوع ۱: ساختمان مدارس تا دو طبقه	آموزشی
۱۹	نوع ۲: ساختمان مدارس بالاتر از دو طبقه	
۵۴	نوع ۱: بیمارستان‌های کوچک و متوسط	درمانی
۲۰	نوع دو: بیمارستان‌های بزرگ	
۱۲۵۱۱	مراکز خرید	تجاری
۴۷۴	ساختمان‌ها و تأسیسات صنعتی	صنعتی

(مأخذ: نگارندگان)

وضعیت شریان‌های حیاتی منطقه

گروه‌بندی شریان‌های حیاتی شهر ساری مطابق مدل رادیوس در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- وضعیت شریان‌های حیاتی شهر ساری

شریان‌های حیاتی	میزان	واحد	توصیف
جاده نوع اول	۱۵	کیلومتر	جاده‌های محلی به مناطق اطراف
جاده نوع دوم	۷۴۶	کیلومتر	شاهراه‌ها و بزرگراه‌ها
پل	۰	تعداد	
تونل	۰	تعداد	
برق ۱	۶۰	تعداد	تعداد دکل‌های برق
برق ۲	۹	تعداد	تعداد ایستگاه‌های برق
آب ۱	۱۱۰۰	کیلومتر	طول خطوط آب و فاضلاب
آب ۲	۱	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپاژ آب
آب ۳	۰	تعداد	تعداد ایستگاه‌های آب و فاضلاب صنعتی
مخزن آب ۱	۰	تعداد	تعداد آب‌انبارها و آب‌بندها
مخزن آب ۲	۲	تعداد	تعداد مخازن مرتفع
سوخت‌های بنزینی و گازوئیلی	۳۲	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپ‌بنزین و غیره

(مأخذ: نگارندگان)

تعیین سناریوی زلزله

پیش‌بینی رویدادهای احتمالی و آثار آن‌ها، تهیه سناریو نامیده می‌شود. تهیه سناریو اغلب به‌منظور تهیه برنامه و ایجاد آمادگی در جوامع سانحه‌خیز، صورت می‌گیرد و به درک بهتر آینده محتمل کمک می‌کند. منظور از زلزله سناریو، تعیین بزرگی، شدت و دیگر پارامترهای زلزله‌ای است، که نرم‌افزار آن را به‌عنوان زلزله احتمالی در منطقه در نظر می‌گیرد. پارامترهای ورودی به سیستم برای تعیین سناریوی زلزله عبارت‌اند از: موقعیت مکانی وقوع زلزله، عمق زلزله، بزرگی زلزله و زمان وقوع زلزله، زیرا میزان تلفات و خسارات بسته به اینکه زلزله در شب یا روز اتفاق بیافتد و چه خساراتی به ساختمان‌های عمومی، مدرسه‌ها و اداره‌ها وارد می‌شود، کاملاً متفاوت است. البته باید توجه داشت، زمانی که یک زلزله رخ می‌دهد اثرات و نتایج آن قطعاً تفاوت‌های زیادی با نتایج سناریو خواهد داشت. سناریو تنها فرضیه‌ای است برای این که بدانیم که اثرات وقوع زلزله بدتر یا شبیه به چیزی است که سناریو محاسبه نموده است (امینی و همکاران، ۱۳۹۰). در این پژوهش به‌منظور ایجاد تصویری مناسب از وقوع خسارت در این منطقه و تهیه انواع خسارات ممکن بر اثر وقوع زلزله احتمالی در این منطقه، دو زلزله، ناشی از فعال شدن دو گسل البرز و خزر ساری در نظر گرفته شد. در نتیجه، دو مدل برای زلزله‌های سناریو در برنامه رادیوس مدنظر قرار گرفتند که مشخصات آن‌ها در جدول ۴ مشاهده می‌شود. بر اساس گزارش جغرافیای طبیعی مازندران بیشینه بزرگی زمین‌لرزه (MS) برای گسل خزر ۷/۴ و گسل شمال البرز ۷/۲ برآورد شده است (سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۸۲).

جدول ۴- مشخصات مدل‌های سناریوی زلزله

مشخصات	مدل گسل البرز	مدل گسل خزر
موقعیت نسبت به منطقه	جنوب	جنوب
بزرگی زلزله	۷/۲	۷/۴
عمق زلزله (کیلومتر)	۱۵	۱۵
فاصله از شبکه	۳۷,۵	۳,۵

(مأخذ: نگارندگان)

لازم است زمان وقوع را نیز برای سناریوی زمین‌لرزه مشخص کنیم، چون تعداد تلفات وابسته به این است که زلزله طی شب روی داده یا روز، زمان زلزله ساعت ۱,۳۰ بامداد در نظر گرفته شده است.

۶. بحث و نتایج تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر ساری

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل رادیوس این است که تمامی روابط و توابع استفاده شده در این برنامه به صورت مشخص نشان داده شده و در دسترس است و در صورت نیاز امکان تغییر و بومی سازی آن‌ها بر اساس توابع موجود در کشور امکان پذیر است. با به کارگیری این رویکرد جهت تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت احتمالی، می‌توان درک بهتری از زلزله و میزان ریسکی که با آن روبرو هستیم داشته باشیم، همچنین گستره و دامنه خسارت و مناطق آسیب پذیر در شهر مشخص خواهند شد. مدل رادیوس از ساختار ساده‌ای برخوردار است و استفاده از آن نیاز به تخصص پیچیده ندارد، بنابراین کارشناسان محلی به سادگی می‌توانند از آن استفاده نمایند. این نرم افزار برای تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت فرایند گام به گام و مشخصی دارد. بدین صورت که هنگام وارد نمودن اطلاعات مورد نیاز در هر قسمت، اطلاعات توسط نرم افزار به صورت خودکار بررسی شده و در صورت ناقص بودن اطلاعات هشدار داده و اجازه اجرای سناریوی زلزله در ادامه داده نمی‌شود. در برنامه رادیوس منطقه مورد نظر به شبکه‌های مساوی تقسیم بندی شده و اطلاعات مورد نیاز برای انجام برنامه وارد شبکه‌ها شده و می‌توان به آسانی اندازه و تعداد شبکه‌ها را تغییر داد. مثلاً به راحتی می‌توان اندازه شبکه‌ها را کوچک نموده و با کوچک نمودن اندازه شبکه‌ها می‌توان به نتایج دقیق تری در ارتباط با آسیب پذیری منطقه دست یافت. در صورت تغییر میزان جمعیت منطقه به سادگی می‌توان جمعیت جدید را وارد نموده و سناریو جدید را بر اساس آن تدوین نمود. پس از ورود کامل اطلاعات اجرای برنامه برای برآورد تخمین خسارت به سرعت و در چند دقیقه انجام شده که در مدت زمان کوتاهی می‌توان نتایج مناسبی را از تدوین سناریوهای مختلف زلزله به دست آورد. برنامه رادیوس این امکان را دارد که در صورت نداشتن اطلاعات خاصی از منطقه مورد مطالعه، گزینه نداشتن اطلاعات را انتخاب نموده که در این صورت اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به نقشه و جداول نشان داده

می‌شوند. برنامه رادیوس ضمن داشتن مزیت‌های ذکر شده معایبی نیز دارد. در رویکرد رادیوس تعداد و میزان اطلاعات ورودی ثابت بوده و نمی‌توان آن‌ها را به‌دلیخواه تغییر داده و اطلاعاتی اضافه یا کم نمود. میزان خساراتی که به ساختمان‌ها وارد می‌شود، شامل فروریختگی ساختمان‌ها و خسارات سنگین است و خسارات جزئی در این نرم‌افزار محاسبه نمی‌شود؛ یعنی ساختمان‌هایی که تحت عنوان ساختمان‌های خسارت‌دیده در این برنامه مشخص می‌شوند در حقیقت ساختمان‌هایی هستند که تخریب‌شده‌اند. نقشه‌های حاصل از برنامه رادیوس ساده بوده و طیف اطلاعات نشان داده‌شده در نقشه‌ها محدود و تنها در چهار دسته ارائه می‌شوند و در نتیجه نیاز به بازپردازش این اطلاعات بر اساس جدول‌های خروجی و توسط نرم‌افزارهای تکمیلی دیگر است. نتایجی که این مدل در مورد شریان‌های حیاتی در ارتباط با خسارت وارده به آن‌ها ارائه می‌دهد در قالب اطلاعات کلی بوده و خسارت وارده به آن‌ها را در بخش‌های مختلف منطقه موردمطالعه ارائه نمی‌دهد. جمعیت کل منطقه موردمطالعه در این رویکرد یک‌بار در ابتدای کار وارد برنامه شده و جمعیت در منطقه بر اساس وزن شبکه‌ها و کاربری آن‌ها توزیع می‌شود که منطقی به نظر نمی‌رسد. چراکه خصوصیات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مناطق مختلف باهم متفاوت بوده و شبیه هم نیستند و ممکن است که جمعیت در منطقه‌ای بیشتر از آنچه برنامه اعمال نموده است باشد. اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به‌صورت نقشه و جدول نشان داده می‌شوند، اما برای شریان‌های حیاتی این‌گونه نیست و نه به‌صورت نقشه و نه به‌صورت جدول نشان داده نمی‌شوند. اگر اطلاعات مربوط به وضعیت خاک در دسترس نباشد کاربر می‌تواند گزینه نامشخص را انتخاب نماید که این مورد منطقی نیست، چراکه نوع خاک در شدت زلزله مؤثر است و خطا در ورود اطلاعات مربوط به آن سبب ایجاد خطا در تخمین خسارت و تلفات می‌شود. در کل مدل رادیوس در مدت‌زمانی کوتاه برای مناطقی که اطلاعات دقیق و کاملی در دسترس نباشد مدل مناسبی جهت برآورد خسارات ناشی از زلزله است و از کارایی لازم برای انجام این کار برخوردار است. بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده در شهر ساری نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله مطابق جدول ۵ است. بر اساس سناریوی گسل خزر ۱۸۹۱۰ ساختمان تخریب، ۲۳۸۲ نفر کشته و ۲۲۸۹۷ نفر مصدوم خواهند شد. مطابق سناریوی گسل البرز نیز ۳۰۸۶ ساختمان تخریب، ۱۵ نفر کشته و ۲۱۰۲ نفر مصدوم خواهند شد. این تعداد کشته‌شدگان و مصدومان در سناریوی روز کمتر خواهد بود، زیرا در زمان شب تعداد افراد ساکن در ساختمان‌های مسکونی در مقایسه با روز بیشتر است. نتایج حاصل از آسیب شریان‌های حیاتی بر اساس سناریوهای مدنظر در جدول ۶ نشان داده‌شده است. درصد تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوهای مدنظر در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده‌شده است. لازم به ذکر است که میزان کشته‌شدگان و مصدومان تحت تأثیر میزان تخریب ساختمان‌ها است. به همین دلیل فقط نقشه تخریب ساختمان‌ها ذکر شده است. در شکل ۴ بیش‌ترین درصد آسیب بارنگ قرمز مشخص شده است و مربوط به بافت کهن شهر است. این ممکن است به دلیل این واقعیت باشد که این

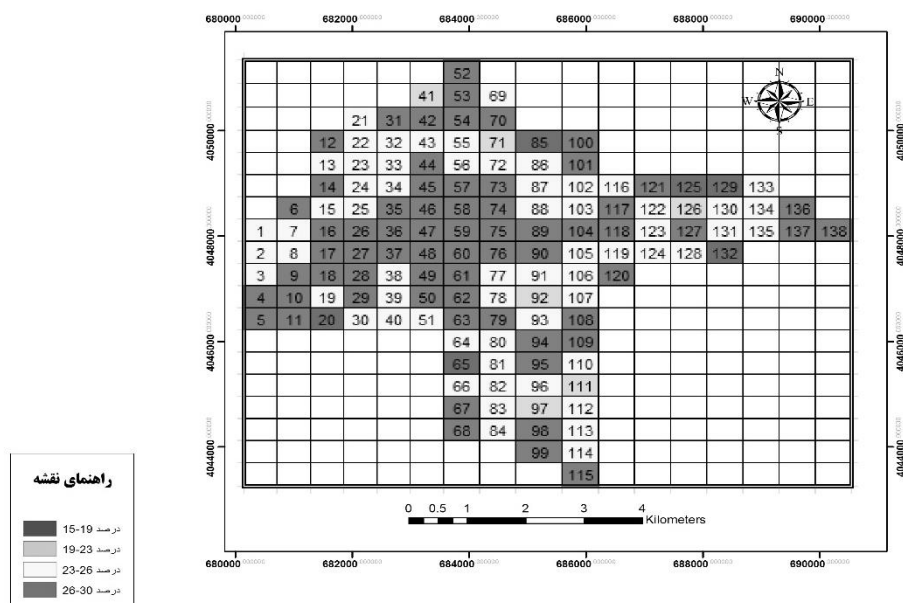
منطقه شامل تعدادی از ساختمان‌ها از نوع سازه‌های غیراستاندارد و غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی و ارتفاع تا سه طبقه هستند. بخش‌های دیگر که ممکن است از نرخ بالای خسارت مورد انتظار رنج برند، شامل تعداد زیادی از ساختمان‌های پرمخاطره و فرسوده هستند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه نقشه تخمین خسارت ساختمان‌های حاصل‌شده با نقشه جنس خاک و میزان تراکم ساختمان‌ها، مناطقی که تراکم ساختمانی بالا داشتند و جنس خاک از نوع نرم بوده است میزان خسارت‌ها بیشتر است. خسارت ناشی از سناریوی اول (گسل خزر) بیشتر از خسارت ناشی از سناریوی دوم (گسل البرز) است.

جدول ۵- میزان خسارات و تلفات وارده در مناطق شهر ساری

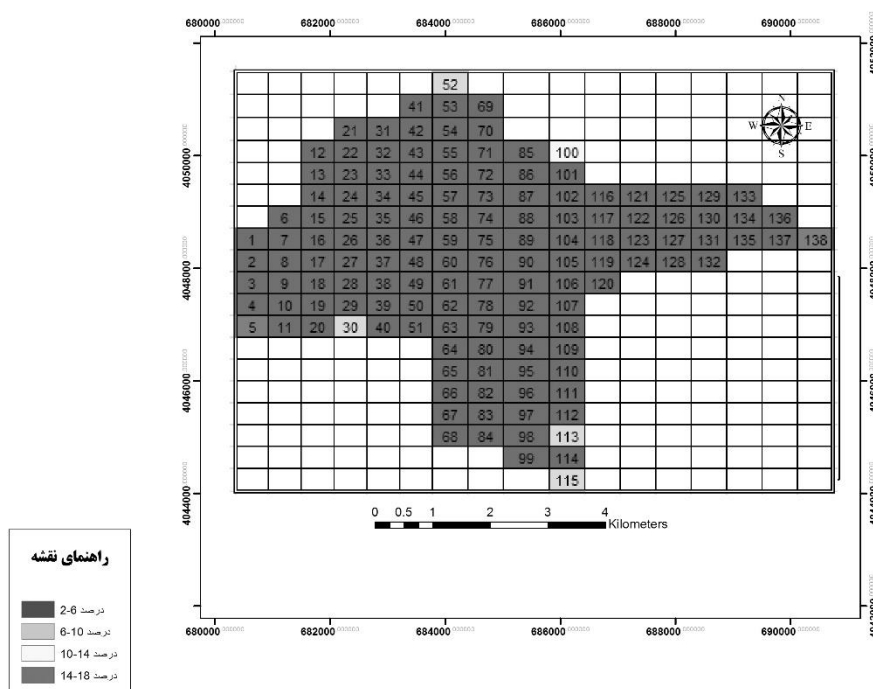
سناریو زلزله	خسارت و تلفات	منطقه یک	منطقه دو	منطقه ۳	بافت کهن
مدل گسل خزر	ساختمان	۵۹۰۴	۵۹۴۷	۵۸۴۶	۱۲۱۳
	کشته‌شدگان	۷۹۵	۶۳۴	۸۲۰	۱۳۳
	مصدومان	۸۳۰۰	۵۵۰۳	۷۹۸۸	۱۱۰۶
مدل گسل البرز	ساختمان	۹۲۵	۹۴۳	۱۰۱۶	۲۰۲
	کشته‌شدگان	۵	۰	۹	۱
	مصدومان	۷۲۰	۴۸۰	۸۰۰	۱۰۲

جدول ۶- درصد خسارات وارده به شریان‌های حیاتی منطقه در سناریوهای مختلف

سناریوی زلزله	جاده نوع ۱	جاده نوع ۲	برق ۱	برق ۲	خطوط آب و فاضلاب	جایگاه‌های بنزین
مدل گسل خزر	۸,۲	۴	۳,۳	۲۵	۳۴,۸	۲۴,۲
مدل گسل البرز	۱,۶	۱	۱,۱	۹,۱	۱۳,۴	۶,۶



شکل ۴- نقشه درصد تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل خزر



شکل ۵- نقشه درصد تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل البرز

۷. نتیجه گیری

رادیوس بهترین گزینه جهت ارزیابی ریسک منطقه برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش خسارت و امنیت رفاه شهری است؛ چراکه به تخصص‌های پیچیده مهندسی نیازی ندارد و در کمترین زمان به نتایج مناسبی خواهد رسید. همچنین از لحاظ هزینه نسبت به سایر روش‌ها مقرون به صرفه تر است و نیازی به اطلاعات پیچیده و منابع زیاد ندارد. از دقت مناسبی نیز برخوردار است و برای کشورهای در حال توسعه و مناطقی که اطلاعات ریز و دقیقی از منطقه در دست نیست و نقشه‌های جی‌آی‌اس برای آن مناطق تهیه نشده است و در عین حال جزو مناطق پرخطر محسوب می‌شوند می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار مدیران قرار دهد. بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده در منطقه مورد مطالعه نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله حاکی از آن است که گسل خزر بیشترین آسیب را به همراه دارد. نتایج به دست آمده از این مطالعه موردی می‌تواند به تصمیم‌گیران در اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر برای کاهش خطر زمین‌لرزه و برنامه‌ریزی مؤثر جهت خدمات اضطراری پس از وقوع زلزله کمک کند. همچنین برای تصمیم‌گیری اولیه برای تسهیل کاهش خطر لرزه‌ای و مقاوم‌سازی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مفید باشد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و وجود گسل‌های زلزله‌زا در استان مازندران که می‌تواند شهرهای آن از جمله شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد. طراحی ساختمان‌ها به شیوه‌ای که بتوانند ضربه‌های ناشی از زلزله را خنثی کنند، تدوین استانداردهای مناسب و آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی در برابر زلزله، آموزش مردم و استفاده از بیمه زلزله مخصوصاً در مناطقی که زلزله‌خیز هستند، ضروری به نظر می‌رسد.

کتابنامه

- ابراهیمی، مجید؛ سلمانی مقدم، محمد؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ نوری، مریم؛ ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بردسکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون (IHPW). *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. سال چهارم، شماره ۶، ۱۳۷-۱۰۵.
- امیدیان، پدram؛ صفاری، حمید؛ ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم با استفاده از منحنی‌های خرابی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت*. دوره ۵، شماره ۳، ۱۴۴-۱۲۴.
- امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ صفر راد، طاهر؛ ۱۳۹۰. ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران). *نشریه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*. سال سوم. شماره یازدهم، ۴۰-۲۳.
- بهتاش، محمدرضا؛ کی نژاد، محمدعلی؛ پیربایی، محمدتقی؛ عسگری، علی؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری کلان‌شهر تبریز. *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*. دوره ۱۸، شماره ۳، ۴۲-۳۳.

- خاکپور، براتعلی؛ حیاتی، سلمان؛ کاظمی بی‌نیاز، مهدی؛ ربانی ابوالفضل، غزاله؛ ۱۳۹۲. مقایسه تطبیقی - تحلیلی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و فازی (نمونه موردی: شهر لامرد). فصلنامه آمایش محیط. شماره ۲۲، ۳۸-۲۱.
- رمضانی کیاسج محله، رؤیا؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه سادات؛ ۱۳۹۵. آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله با استفاده از تکنیک WLC و OWA موردشناسی: منطقه ۷ تهران. مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای. شماره ۲۱، ۱۳۸-۱۲۵.
- سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران؛ ۱۳۸۲. طرح توسعه و عمران (جامع) ناحیه ساری.
- شکیبا، علیرضا؛ میر جعفری، سید بابک؛ علوی، سید علی؛ کامل، بتول؛ ۱۳۹۲. ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت (منطقه مطالعه شده: منطقه ۸ شهر تبریز). نشریه علمی-پژوهشی سنجش‌ازدور و GIS/ایران. سال پنجم. شماره سوم، ۶۴-۴۹.
- عزیزی، محمدمهدی؛ اکبری، رضا؛ ۱۳۸۷. ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی، منطقه فرحزاد تهران). نشریه هنرهای زیبا. شماره ۳۴، ۳۶-۲۵.
- غلامی، یونس؛ حیاتی، سلمان؛ قنبری، محمد؛ اسماعیلی، آسیه؛ ۱۳۹۴. پیش‌بینی فضا‌های آسیب‌پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری. دوره ۳. شماره ۱، ۶۷-۵۵.
- فرجی، امین؛ قرخلو، مهدی؛ ۱۳۸۹. زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران. دوره جدید. سال هشتم. شماره ۲۵، ۱۶۴-۱۴۳.
- فلاحی، علیرضا؛ ۱۳۸۸. ارزیابی سوانح، خطرپذیری، آسیب‌پذیری و خسارات. انتشارات موسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران، چاپ اول.
- کاظمی نیا، عبدالرضا؛ میمند پاریزی، صدیقه؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر کرمان در مقابل زلزله با استفاده از GIS. نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی. دوره ۸، شماره ۳، ۴۷-۳۱.
- کاظمیان، غلامرضا؛ آریش، سیمین دخت؛ ۱۳۹۴. تخمین میزان خسارت ناشی از زلزله در منطقه ۹ شهرداری مشهد با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS. فصلنامه دانش‌پیشگیری و مدیریت بحران. دوره پنجم. شماره اول، ۲۰-۹.
- ملکی، سعید؛ مودت، الیاس؛ ۱۳۹۲. ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرها بر اساس سناریوهای شدت مختلف با استفاده از مدل‌های TOPSIS و GIS (نمونه موردی شهر یزد). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال ۲، شماره ۵، ۱۴۲-۱۲۷.
- مهدوی، داوود؛ هزاریان، الهام؛ ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان یزد). نشریه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی. سال دوم. شماره ۴، ۲۷-۴۵.
- نگارش، حسین؛ ۱۳۸۴. زلزله، شهرها و گسل‌ها. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی. دوره ۳۷. شماره ۵۲. ۱۱۰-۹۳.

نیری، هادی؛ خالق پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ احمدی، خه بات؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس. *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. سال ۲۰. شماره ۵۷، ۲۹۴-۲۷۷.

یاریان، پیمان؛ کرمی، محمدرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و عدم قطعیت آسیب‌پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل FAHP (نمونه موردی: شهر سندج). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۱. ۲۰۳-۱۸۵.

- Alam, N., Alam, M.S. and Tesfamariam, S., 2012. Buildings' seismic vulnerability assessment methods: a comparative study. *Natural hazards*, 62(2), pp.405-424. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0082-4>.
- Boukri, M., Farsi, M.N., Mebarki, A., Belazougui, M., Ait-Belkacem, M., Yousfi, N., Guessoum, N., Benamar, D.A., Naili, M., Mezouar, N. and Amellal, O., 2018. Seismic vulnerability assessment at urban scale: Case of Algerian buildings. *International journal of disaster risk reduction*, 31, pp.555-575. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.014>.
- Cao, C., Li, C., Yang, Q., Liu, Y. and Qu, T., 2018. A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. *Journal of Cleaner Production*, 174, pp.1422-1435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.037>.
- Gökçe, M.A. and Ercan, E., 2019. Multi-period vehicle routing & replenishment problem of neighbourhood disaster stations for pre-disaster humanitarian relief logistics. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), pp.2614-2619. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.601>.
- Jena, R., Pradhan, B. and Beydoun, G., 2020. Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International journal of disaster risk reduction*, 46, p.101518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141582>.
- Maio, R., Ferreira, T.M., Vicente, R. and Estêvão, J., 2016. Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: Case study of the old city centre of Faro, Portugal. *Journal of Risk Research*, 19(5), pp.551-580. <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.988285>.
- Mazumder, R.K. and Salman, A.M., 2019. Seismic damage assessment using RADIUS and GIS: A case study of Sylhet City, Bangladesh. *International journal of disaster risk reduction*, 34, pp.243-254. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.11.023>.
- Ningthoujam, M.C. and Nanda, R.P., 2018, August. A GIS system integrated with earthquake vulnerability assessment of RC building. In *Structures* (Vol. 15, pp. 329-340). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.07.013>.
- Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S.J. and Fosso-Wamba, S., 2017. The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp.1108-1118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.059>.
- Villacis, C.A. and Cardona, C.N., 1999. Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects. *Geo hazards International*. Palo Alto, California.
- Xu, J., An, J. and Nie, G., 2016. A quick earthquake disaster loss assessment method supported by dasymetric data for emergency response in China. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 16(3), pp.885-899. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-885-2016>.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴۱ و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۷۷-۵۷

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.66963.0>

مقاله پژوهشی

ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله‌رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک

مهران مقصودی^۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

منصور جعفریگلو- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

رضا جعفری- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۱۹

چکیده

مطالعه تکتونیک فعال به لحاظ ارزیابی زمین‌لرزه در نقاط مختلف اهمیت دارد. این حرکات تأثیرات زیادی بر کره زمین دارد و هر کدام از این تأثیرات به نحوی در پیرامون ما قابل مشاهده هستند. هدف این پژوهش تحلیل و مقایسه فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های حبله‌رود و کردان است. در این تحقیق علاوه بر روش‌های میدانی از تصاویر DEM 10m، تصاویر ماهواره‌ای Landsat و همچنین از نرم‌افزارهای Arc GIS، Global Mapper 13 جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل آن‌ها استفاده گردید. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، شاخص ضریب مخروط گرایی FCI، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vf، شکل حوضه زهکشی Bs، سینوزیته جبهه کوهستان Smf، تقارن توپوگرافی معکوس حوضه T، تقارن حوضه زهکشی یا قرینگی حوضه Af، سینوزیته یا پیچ و خم کانال رودخانه S و درنهایت شاخص IAT یا نسبت فعالیت‌های تکتونیکی است. IAT شاخصی است که می‌توان بر اساس آن نتیجه کلی فعالیت تکتونیکی را با میانگین‌گیری از شاخص‌های ذکر شده، در یک منطقه تکتونیکی اندازه گرفت. مقدار این شاخص برای حوضه حبله‌رود و کردان محاسبه شد. نتایج حاصل از این شاخص نشان می‌دهد که حوضه کردان در کلاس ۱ و حوضه حبله‌رود در کلاس ۲ قرار دارد. طبق طبقه‌بندی از شاخص IAT می‌توان گفت که هر دو منطقه از نظر تکتونیکی فعال هستند ولی میزان فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه کردان نسبت به حوضه حبله‌رود بیشتر است.

کلیدواژه‌ها: تکتونیک فعال، شاخص‌های ژئومورفیک، حوضه حبله‌رود و کردان.

۱. مقدمه

سطح زمین متشکل از عارضه‌ها و اشکال مختلفی است که این اشکال دائماً در حال تغییر و تحول می‌باشند. در تغییر و تحول شکل زمین دو دسته عوامل بیرونی و درونی نقش دارند. عوامل درونی سبب شکل‌گیری ساختار اولیه و عوامل بیرونی سبب فرسایش، تغییر شکل و تخریب این اشکال می‌گردد که تحت تأثیر این فعالیت‌ها اشکال گوناگون ژئومورفولوژیکی به وجود می‌آیند (روستایی و همکاران، ۱۳۸۸). خیام و همکاران (۱۳۸۲)، به ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیکی از طریق به وجود آوردن مخروط‌افکنه‌های چند بخشی و تودرتو (تلسکوپی) مهم‌ترین نقش را در پراکندگی، تکامل و مورفولوژی این منطقه ایفا کرده است. پورکرمانی و همکاران (۱۳۸۲)، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز را مورد مطالعه قرار داده و عامل ایجاد پدیده‌های موجود از قبیل اختلاف و ایجاد پرتگاه گسلی، دره گسلی، چشمه‌های گسلی و... را گسل تبریز می‌دانند. مختاری و همکاران (۱۳۸۶)، اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیکی در کنترل سازوکارهای مؤثر در مورفولوژی و مورفومتری سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای منطقه، نقشی دوگانه را ایفا می‌کنند. همچنین تحقیقات ارزشمندی توسط واکر^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، سونگ و چن^۲ (۲۰۰۸)، کاسنر و گلوکن^۳ (۲۰۰۹)، بول^۴ (۲۰۰۹)، کلر و پینتر^۵ (۲۰۰۱)، دلایکو^۶ و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفته است.

مقصودی (۱۳۸۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نرم‌افزارهای رایانه‌ای و بازدید میدانی به بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه جاجرود پرداخت و به این نتیجه رسید که تحول این مخروط‌افکنه حاصل عملکرد عوامل طبیعی شامل تغییرات آب‌وهوایی، حرکات تکتونیکی و تغییر سطح اساس (در درازمدت) و عوامل انسانی (در کوتاه‌مدت) بوده است. حاجی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) ارتباط ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ای و عوامل انسانی در دامنه‌های جنوبی بینالود را با استفاده از روش تحلیلی مبتنی بر مقایسه تطبیقی مطالعه کرده و به بررسی ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه بوژان و مقایسه کاربری زمین و واحدهای مسکونی طی دو دهه گذشته پرداخته و در نهایت اثرات ناشی از ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ای را بررسی نمودند. مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) با بررسی ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها، به این نتیجه رسیدند که تکتونیک عامل تغییر مسیر ناگهانی در دوره‌های مختلف می‌باشد. روستایی و همکاران (۱۳۸۸)، در پژوهشی نقش فعالیت‌های تکتونیکی در

1 Walker

2 Singh, T and Jain

3 Kˆasner, A. Gloaguen

4 Bull

5 Keller, E.A. Pinter

6 Delcaillau

شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیکی موجب جایگزینی، شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌ها شده، همچنین سبب تکه‌تکه شدن و محدود شدن این اشکال شده است. مقصودی و عمادالدین (۱۳۹۰)، تحلیل شواهد مورفوتکتونیکی گسل درونه در محدوده حوضه آبریز شش‌طراز و مخروط افکنه پایین دست آن را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که عامل تکتونیک تأثیر بسزایی در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد و حوضه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال است. شایان و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تحت عنوان بررسی نقش نوزمین ساخت، عوامل مورفوکلیماتیک و آنتروپوژنیک در پیدایش و تحول مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه گرمسار) به این نتیجه رسیدند که وسعت حوضه آبریز حبله رود و فعال بودن وضعیت نوزمین ساختی نقش بسیار مهمی را در شکل‌گیری مخروط افکنه گرمسار ایفا کرده و می‌کنند. سستی و کم مقاومت بودن سنگ‌های حوضه نیز موجب می‌شود تا فرآیند هوازدگی با سرعت بیشتری صورت گیرد و باعث افزایش رسوب می‌شود. در تحقیق دیگر از مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، راندگی گیلانغرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که راندگی گیلانغرب در دوره پلیو-کواترنر فعال بوده و با توجه به وقوع زلزله در امتداد آن، این گسل در عهد حاضر (هولوسن) نیز فعال می‌باشد. مددی و فرجی منفرد (۱۳۹۳) در تحقیق مطالعه عوامل مؤثر در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های گوزل‌دره و کرفس و بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در دامنه‌های جنوبی خرقان (همدان) به این نتیجه رسیدند که در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های منطقه عامل تکتونیک به عنوان عامل اصلی و سایر عوامل مثل اقلیم، لیتولوژی و غیره در رده بعدی قرار دارند.

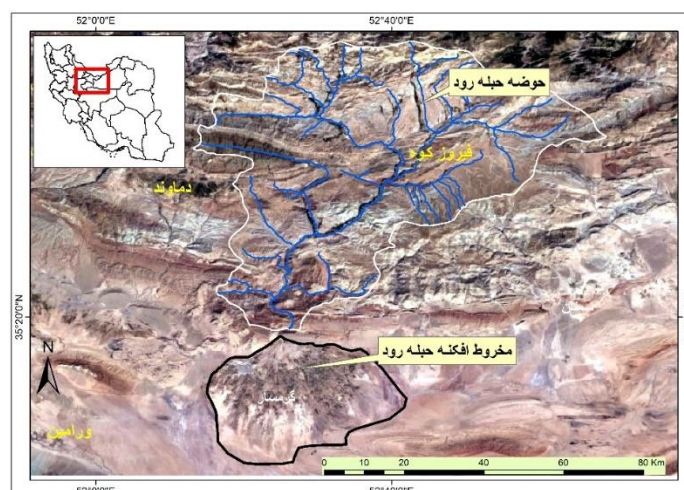
گورابی و پاریزی (۱۳۹۴)، در بررسی شواهد ژئومورفیک گسل دهشیر به این نتیجه رسیدند که گسل دهشیر با جهش تجمعی ۲۰۰ متری در طی کواترنر و نرخ لغزش تقریبی ۱۱/ در سال سبب افت سطح اساس شبکه زهکشی دامنه‌های جنوب غرب شیرکوه از اوایل کواترنر تاکنون شده و در نتیجه تسریع قهقرایی و کاوش تراورتنی و پیدایش تپه شاهدها و پیش تپه‌ها در این ناحیه شده است. حسین‌زاده و اعظم مابقی (۱۳۹۶) در تحقیق تجزیه و تحلیل تکتونیک - ژئومورفولوژی حوضه رودخانه درونگر به این نتیجه رسیدند که حوضه مربوطه از لحاظ نئوتکتونیک در درجه فعال قرار دارد و بر اساس شاخص IAT، این حوضه جزء مناطق فعال از نظر تکتونیکی به حساب می‌آید. ایلانلو و دزفولی کلونی (۱۳۹۷) در تحقیق ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به این نتیجه رسیدند که در حوضه دالکی بریدگی نسبتاً زیاد جبهه کوهستانی موجب سینوسی زیاد آن شده است و شکل حوضه نیمه کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی نیمه متقارن است و در کل مجموع داده‌ها و شواهد زمینی در حوضه آبریز دالکی نیمه فعال بودن آن را از نظر دینامیک نیروهای درونی زمین نشان می‌دهد. نگهبان و درتاج (۱۳۹۸) در تحقیق ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های

ژئومورفیک به این نتیجه رسیدند که در بین زیرحوضه‌های مطالعاتی، زیرحوضه شویسه با میانگین کلاس ۲ دارای وضعیت فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است. به‌طور کلی می‌توان گفت که محیط‌زیست و طبیعت اطراف ما مملو از اشکال و لندفرم‌هایی است که توسط عوامل درونی (تکتونیک) و یا عوامی بیرونی و دینامیکی شکل گرفته‌اند و یا محصول‌های عملکرد هر دو هستند. آگاهی از مسائل و مشکلات مربوط به شکل‌گیری و تداوم مخروط‌افکنه‌ها به دلیل ارتباط داشتن آن با عمران و سازندگی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. مخروط‌افکنه و حوضه‌های منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل و فرآیندهایی مختلفی دچار تغییر و تحول شده‌اند. هدف از این پژوهش تحلیل و مقایسه فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

۲.۱. حوضه و مخروط‌افکنه حبله‌رود

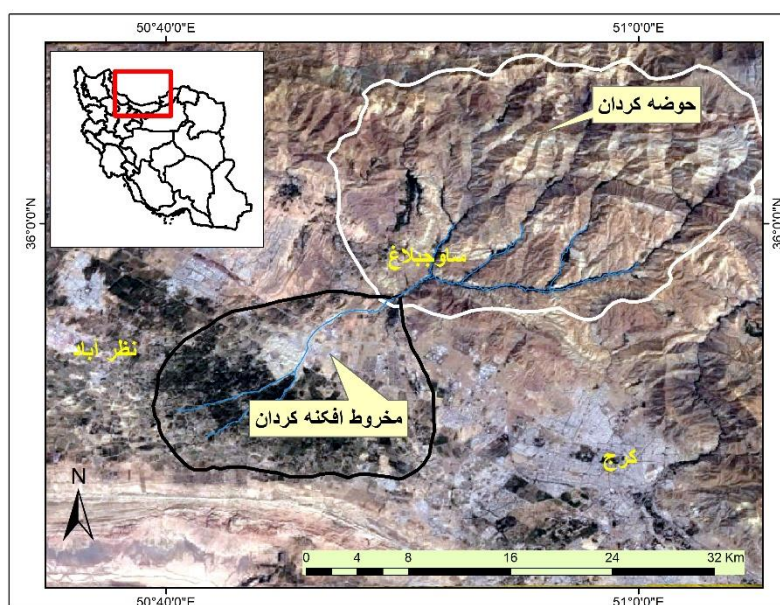
این حوضه در حاشیه جنوبی رشته‌کوه البرز قرار دارد و از لحاظ تقسیمات کشوری در غرب استان سمنان واقع شده است. از طرف غرب به شهرستان‌های دماوند، ورامین و پاکدشت، از طرف جنوب غربی به استان قم و از طرف شرق به استان سمنان محدود است. رودخانه حبله رود در خروج از کوهستان مخروط‌افکنه گرمسار یا حبله رود را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). در این مخروط‌افکنه پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۷۴۴ متر و بلندترین نقطه با ارتفاع ۹۹۶ متر می‌باشد. حوضه آبخیز این مخروط‌افکنه حدود ۳۲۴۱ کیلومترمربع مساحت دارد و در خارج استان سمنان واقع شده یعنی از نظر تقسیمات کشوری در استان تهران و شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند می‌باشد. کمترین ارتفاع ۱۰۰۰ متر و بیش‌ترین ارتفاع در حوضه ۴۰۳۰ متر می‌باشد.



شکل ۱- محدوده حوضه آبریز و مخروط افکنه حبله رود

۲.۲. حوضه و مخروط افکنه کردان

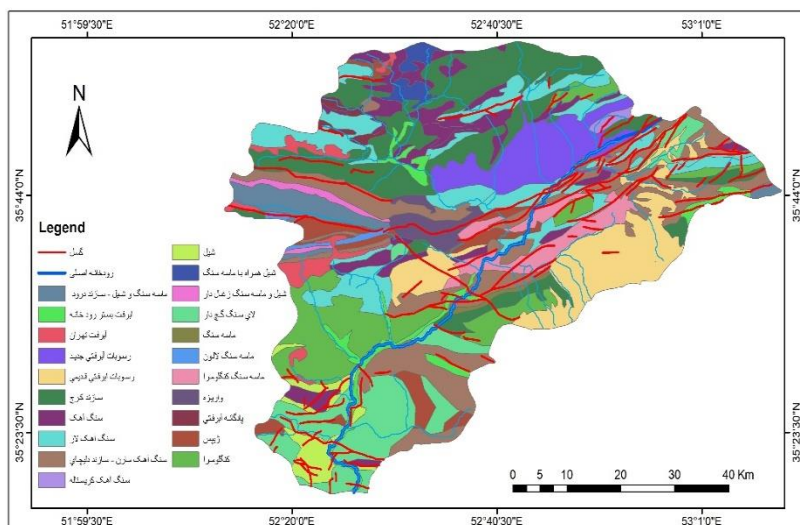
این حوضه نیز در حاشیه جنوبی رشته‌کوه البرز قرار دارد؛ و از لحاظ تقسیمات کشوری در استان البرز واقع شده است. رودخانه کردان باعث ایجاد مخروط افکنه کردان با مساحت حدود ۲۱۱ کیلومتر شده است. پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۱۷۵ متر و بالاترین ارتفاع مخروط افکنه ۱۴۵۵ متر است. مساحت حوضه آبخیز کردان نیز حدود ۴۴۲ کیلومترمربع کمترین ارتفاع ۱۴۲۰ متر و بیش‌ترین ارتفاع در حوضه ۴۰۶۰ متر می‌باشد.



شکل ۲- محدوده حوضه آبریز و مخروط افکنه کردان

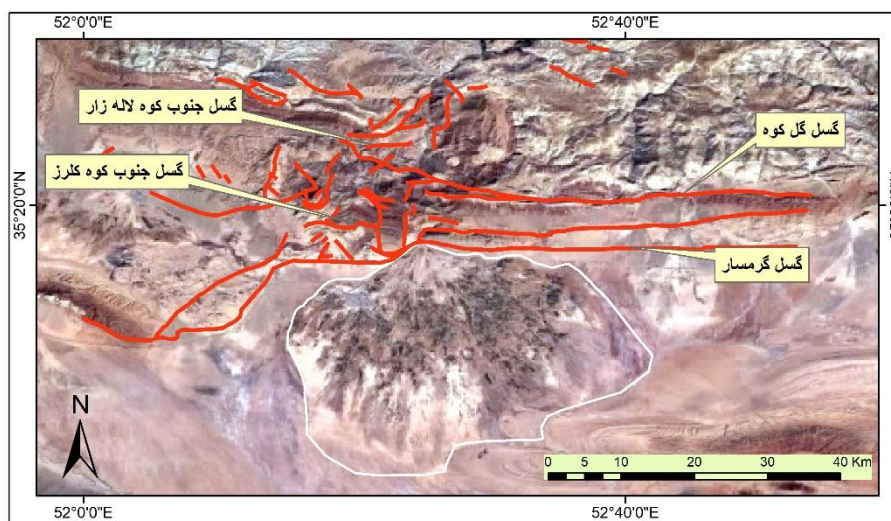
۳.۲. زمین‌شناسی حوضه حبله رود

نتایج حرکات کوهزایی در رشته‌کوه البرز موجب گسل خوردگی‌ها، رو راندگی‌های ملایم و مرتفع شدن البرز گردیده است. سازندهای ائوسن، الیگوسن، الیگومیوسن، میوسن، پلیوسن و پلیوستوسن که با نام‌های سازند کرج، قرمز فوقانی، قم، قرمز زیرین، هزار دره و آبرفت‌های قدیمی و عهد حاضر شناخته می‌شوند، در حوضه حبله رود گسترش دارند (شکل ۳). در این منطقه گسل‌های زیادی وجود دارد از جمله گسل گرمسار که در رأس مخروط افکنه گرمسار قرار دارد. این گسل در بخش خاوری مرز بین سازند آبرفتی هزار دره و آبرفت‌های دشت را می‌سازد و در زیر مخروط افکنه‌های حاصل از فرسایش هزار دره پنهان است. گسل جنوب کوه‌کلرز که درازای این گسل ۱۱ کیلومتر و راستای آن خاور-باختری است. این گسل موجب راندگی سنگ‌های کربناته سازند قم بر روی سازند قرمز زیرین شده است. سایر گسل‌های منطقه هر کدام باعث تغییراتی در منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۴).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی حوضه حبله رود

منبع: نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی



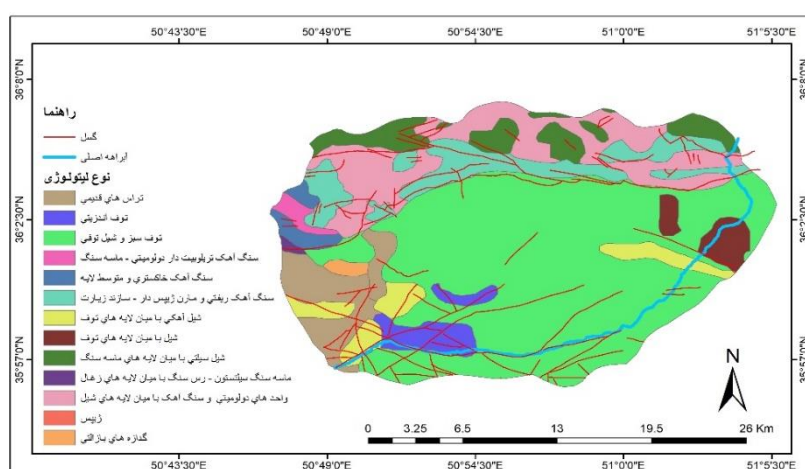
شکل ۲- نقشه موقعیت‌های گسل اطراف مخروط افکنه حبله رود

منبع: نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی

۲. ۴ زمین‌شناسی حوضه کردان

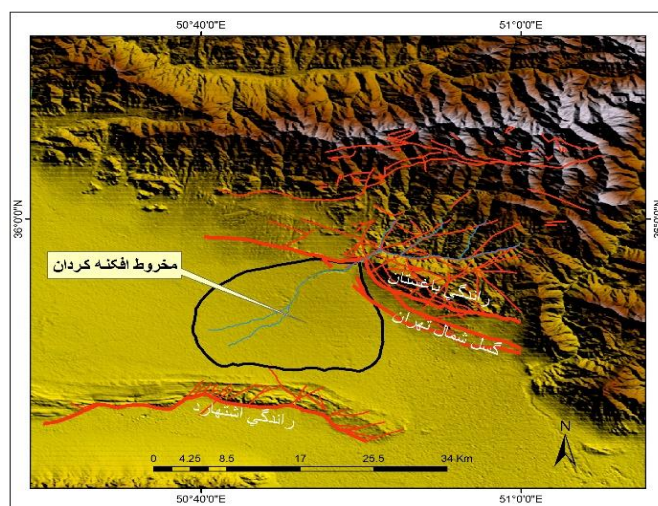
از لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی این حوضه همانند حوضه حبله رود جزو البرز مرکزی می‌باشد. رسوبات کربونیفر میانی و فوقانی در این زون (البرز مرکزی) دیده نمی‌شود که دلیل آن پیشروی و پسروی‌هایی بوده که در طول این دوره بر منطقه حاکم بوده است. رسوبات کامبرین- اردوئین و سیلورین منطقه دیده نمی‌شود. رسوبات دونین، پرمین، تریاس، ژوراسیک، کرتاسه و پالئوژن در منطقه موجود می‌باشد که شامل سازند روته، سازند الیکا، سازند

شمشک، سازند دلیچای، آهک لار، سازند تیزکوه و سازند کرج می‌شود (شکل ۵). در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کرج که حوضه و مخروط‌افکنه کردان را شامل می‌شود گسل‌های زیادی وجود دارد. مهم‌ترین گسل‌ها در منطقه از جمله راندگی شمال تهران که اثر این گسل در نهشته‌های آبرفتی کنگلومرای تراکم نیافته با میان لایه‌های سیلت و رس، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های جوان دیده می‌شود. همچنین راندگی باغستان دومین گسل منطقه می‌باشد. این راندگی ادامه گسل وردیج- پورکان در ورقه تهران است. این راندگی به صورت خمیده در مرز رسوب‌های سازند کرج و نهشته‌های آبرفتی به صورت دیواره بارزی دیده می‌شود (شکل ۶).



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی حوضه کردان

منبع: نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی



شکل ۶- نقشه موقعیت‌های گسل اطراف مخروط افکنه کردان

منبع: نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی

۳. مواد و روش‌ها

روش کلی در تحقیق حاضر روش تحلیلی - مقایسه‌ای است. پس از بررسی میدانی مقدماتی و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ / ۱ منطقه مورد مطالعه، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ گرمسار، تصاویر ماهواره‌ای DEM 10m, Landsat استفاده گردید. از نرم‌افزارهای Arc GIS، Global Mapper 13 جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل آن‌ها استفاده گردید. نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده ۱:۲۵۰۰۰ به عنوان نقشه پایه مورد استفاده قرار گرفت و سپس سایر اطلاعات جهت شناخت مناطق مورد مطالعه وارد نرم‌افزار GIS گردید. در مرحله بعد با توجه به هدف تحقیق برای برآورد میزان فعالیت‌های تکتونیک در دو منطقه مورد مطالعه از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی که شامل شاخص ضریب مخروط گرایی FCI، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vf، شکل حوضه زهکشی Bs، سینوزیته جبهه کوهستان Smf، تقارن توپوگرافی معکوس حوضه T، تقارن حوضه زهکشی یا قرینگی حوضه Af، سینوزیته یا پیچ و خم کانال رودخانه S و درنهایت شاخص IAT یا نسبت فعالیت‌های تکتونیک می‌باشد، استفاده گردید. پس از محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک، حوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص Iat نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نهایت وضعیت تکتونیک حوضه‌ها مشخص شد.

۳.۱. شاخص ضریب مخروط گرایی (FCI)

بر اساس شکل مخروط افکنه می‌توان نوع فعالیت تکتونیک را در مجاورت جبهه کوهستانی تشخیص داد. از آنجاکه مخروط افکنه‌ها شکل مخروطی دارند، منحنی‌های میزان روی مخروط افکنه‌های ساده تقریباً حالت قوس مانند پیدا کرده و بخشی از یک دایره را تشکیل می‌دهند. اولین بار موکرجی (۱۹۷۶) شاخص شکل مخروطی را بیان کرد، بر این اساس مخروط افکنه‌ای که شکل آن به مخروط ایده‌آل نزدیک‌تر باشد ضریب مخروطی بالاتری دارد و هرچه مخروط افکنه به مخروط ایده‌آل نزدیک یا شبیه آن نباشد، یا به صورت کشیده باشد شاخص مخروطی پایینی دارد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$FCI = \frac{AIF}{ATF}$$

AIF: مساحت مخروط ایده‌آل؛ ATF: مساحت واقعی مخروط افکنه می‌باشد. همچنین برای محاسبه AIF نیز

از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$AIF = \pi r^2 \times DFA \div 360$$

در این رابطه:

π : برابر با ۳/۱۴؛ r^2 : شعاع مخروط افکنه DFA: زاویه بین دو حاشیه مخروط افکنه در رأس آن محاسبه

می‌گردد. این شاخص در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در هر دو مخروط افکنه

مقادیر به دست آمده کم‌تر از ۱ را نشان می‌دهد. در این مورد می‌توان گفت که هر دو منطقه تحت تأثیر تکتونیک قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده ضریب مخروط گرایی (FCI) در مخروط افکنه حبله رود و کردان

مخروط افکنه	DFA	r ²	AIF	ATF	FCI
حبله رود	۹۰	۲۵۶	۲۰۰/۹۶	۳۲۵	۰/۶۱
کردان	۸۶	۱۰۰	۷۵/۰۱	۹۰	۰/۸۳

۲.۳. شاخص‌های زمین ساخت فعال

شاخص‌های متعددی برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی وجود دارد در این قسمت شاخص‌هایی که اثر تکتونیک را در مخروط افکنه و داخل حوضه‌های را نشان می‌دهد، مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲).

جدول ۲- شاخص‌های فعالیت‌های تکتونیک در مناطق مورد مطالعه

منبع	توضیحات	رابطه مربوط به شاخص	شاخص
Keller & Pinter, 2001	Ar = قسمتی از حوضه است که در سمت چپ جریان اصلی قرار دارد، At = مساحت کل حوضه آبریز.	$AF = 100(Ar / At)$	شاخص تقارن حوضه زهکشی
Hamdouni et al 2008	VF = نسبت پهنای دره به ارتفاع آن، VFW = پهنای کف دره بر حسب متر، EId = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت چپ دره از سطح دریا بر حسب متر، Erd = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت راست دره از سطح دریا بر حسب متر، Esc = ارتفاع کف دره از دریای آزاد.	$VF = 2vfw / [(EId - Esc) + (Erd - Esc)]$	شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن
Keller & pinter 2001	SL = شیب طولی رودخانه ΔH = اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده ΔL = طول رودخانه بین دو نقطه انتخاب شده و L = طول رودخانه از وسط منطقه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه رودخانه است.	$SL = (\frac{\Delta H}{\Delta L}) * L$	شاخص شیب طولی رودخانه
Hamdouni 2008.et al	S_{mf} = شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان، L_s = طول خط مستقیم جبهه کوهستان، L_{mf} = طول جبهه کوهستان در امتداد پای کوه (خط کنیک).	$S_{mf} = L_{mf} / L_s$	شاخص سینوزیته جبهه کوهستان
Keller & pinter 2001	BL = طول حوضه از خط‌الرأس تا نقطه خروجی، BW = عرض حوضه در عریض‌ترین قسمت آن	$BS = BL / BW$	شاخص نسبت شکل حوضه زهکش

منبع	توضیحات	رابطه مربوط به شاخص	شاخص
Radoane & et al, 2003	Da = فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمر بند فعال مئاندری حوضه (مسیر رود اصلی)، Dd = فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب می باشد	$T = Da / Dd$	شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه
Keller & Pinter, 1996	S = میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه اصلی، C = طول رودخانه یا جریان، V = طول دره به خط مستقیم.	$S = C / V$	شاخص سینوزیته یا پیچ و خم کانال رودخانه
Hamdouni 2008 et al	از میانگین شاخص های Smf, Bs, Vf, Af, SL به دست می آید.	$Iat = \frac{s}{n}$	شاخص نسبت فعالیت های تکتونیکی

۳.۳. شاخص فعالیت تکتونیکی (IAT)

به منظور به دست آوردن دیدی کلی از مقدار فعالیت های تکتونیکی و بررسی تکتونیک فعال بر توسعه و تکامل اشکال حاصل از آن، از شاخصی به نام IAT استفاده می شود که از میانگین شاخص های نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vf ، شکل حوضه زهکشی Bs ، سینوزیته جبهه کوهستان Smf ، تقارن توپوگرافی معکوس حوضه T ، تقارن حوضه زهکشی یا قرینگی حوضه Af ، سینوزیته یا پیچ و خم کانال رودخانه S ، به دست می آید (جدول ۳). این شاخص توسط همدونی^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، بر اساس مقدار کمی به دست آمد.

جدول ۳- طبقه بندی ارائه شده شاخص IAT توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

شاخص ها	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
SL	$SL > 500$	$300 \leq SL < 500$	$SL < 300$
Smf	$Smf < 1/1$	$Smf = 1/1 - 1/5$	$Smf > 1/5$
Vf	$Vf < 0/5$	$Vf = 0/5 - 1$	$Vf > 1$
Bs	$Bs \geq 4$	$3 < BS < 4$	$Bs \leq 3$
Af	$Af - 50 > 15$	$Af - 50 = 7 - 15$	$Af - 50 < 7$
S	$1 - 1/5$	$1/5 - 2$	بیشتر از ۲
T	$1 - 0/66$	$0/33 - 0/66$	$0 - 0/33$

1 Hamdouni

طبق این فرمول شاخص IAT در چهار کلاس ۱، ۲، ۳ و ۴ طبقه‌بندی شده‌اند. در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بالاترین فعالیت تکتونیکی، کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی بالا، کلاس ۳ با فعالیت تکتونیکی متوسط و در نهایت کلاس ۴ کمترین فعالیت تکتونیکی را دارا می‌باشد (جدول ۴).

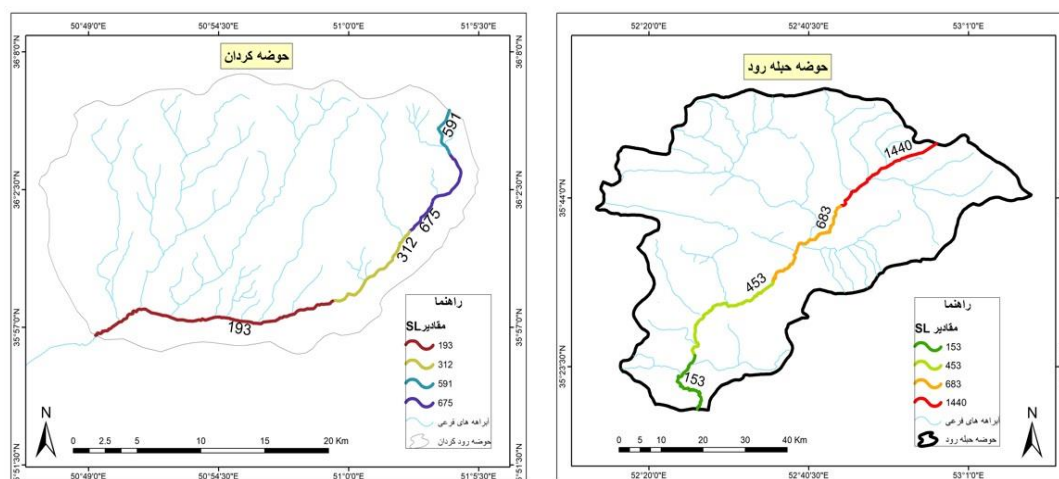
جدول ۴- طبقه‌بندی شاخص IAT (منبع: مینایی، ۱۳۹۰)

IAT	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
میانگین	۱ - ۱/۵	۱/۵ - ۲	۲ - ۲/۵	۲/۵ > میانگین

۴. نتایج و بحث

۴. ۱. شاخص گرادیان طولی رودخانه‌ها (SL)

پس از محاسبه مقادیر شاخص گرادیان طولی رودخانه‌ها در محدوده مورد مطالعه و منطبق کردن موقعیت گسل‌ها و مرزهای زمین‌شناسی می‌توان علت افزایش و کاهش این شاخص در حوضه آبریز را شناسایی نمود. برای محاسبه مقادیر SL، رود اصلی در هر یک از حوضه‌ها به چند قسمت تقسیم گردید (شکل ۷). این شاخص به تغییرات شیب کانال حساس می‌باشد. همچنین مواردی از قبیل جنس زمین‌شناسی و گسل‌های موجود نیز در میزان SL حوضه دخالت دارد. مقادیر SL به سه دسته تقسیم می‌گردد که مقدار بیشتر از ۵۰۰ دارای تکتونیک فعال، بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ دارای تکتونیک نسبتاً فعال و کمتر از ۳۰۰ دارای تکتونیک غیر فعال می‌باشد (ده بزرگی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۷- محل اندازه‌گیری شاخص SL در حوضه حبله رود و کردان

پس از بررسی مقدار شاخص SL در حوضه حبله رود و کردان مشخص گردید که هر دو حوضه دارای مقادیر بالای این شاخص می باشد و از لحاظ تکنیک فعال می باشد. یکی از عوامل مقدار زیاد SL، وجود گسل های متعدد و نوع سازندهای منطقه می باشد که باعث تغییرات در مقدار SL گردیده است (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر SL محاسبه شده در حوضه حبله رود حوضه کردان

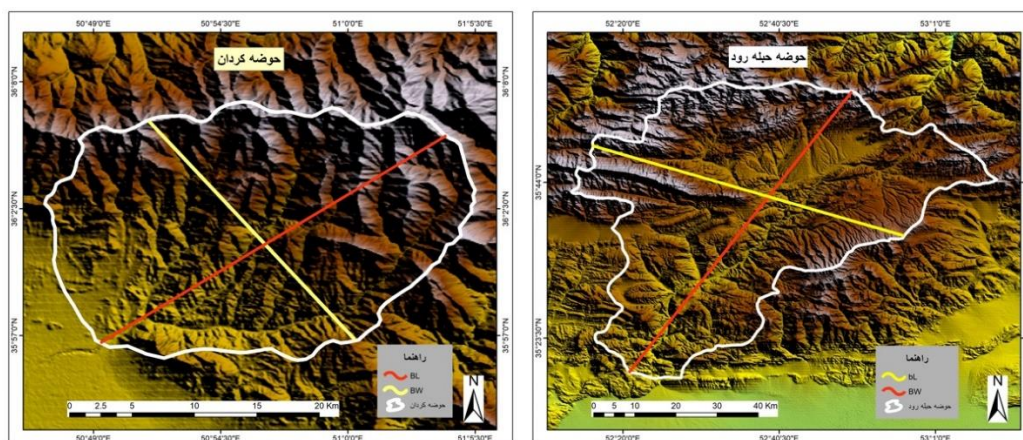
حوضه حبله رود	حوضه کردان
۱۵۳,۲۳	۱۹۳,۰۵
۴۵۳,۲۸	۳۱۲,۵۹
۶۸۳,۶۱	۶۷۵,۸۶
۱۴۴۰,۱۸	۵۹۱,۵۲

۴.۲. شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)

نسبت شکل حوضه زهکشی نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی به کار می رود. مقدار عدد به دست آمده از شاخص BS در حوضه کردان با مقدار عددی $1/31$ و حوضه حبله رود با مقدار $1/25$ می باشد (جدول ۶). در اینجا این عدد نشان دهنده فعالیت تکتونیکی پایینی در منطقه می باشد البته در این مورد باید به نتایج دیگر شاخص های ژئومورفولوژیکی نیز توجه نمود (شکل ۸).

جدول ۶- مقادیر BS محاسبه شده در حوضه حبله رود حوضه کردان

نام حوضه	BS	BW(m)	BL(m)
حبله رود	$1/25$	۶۵۱۸۳/۱۱	۸۱۵۴۴/۹۴
کردان	$1/31$	۲۱۲۷۳/۵۰	۲۷۹۴۸/۴۳



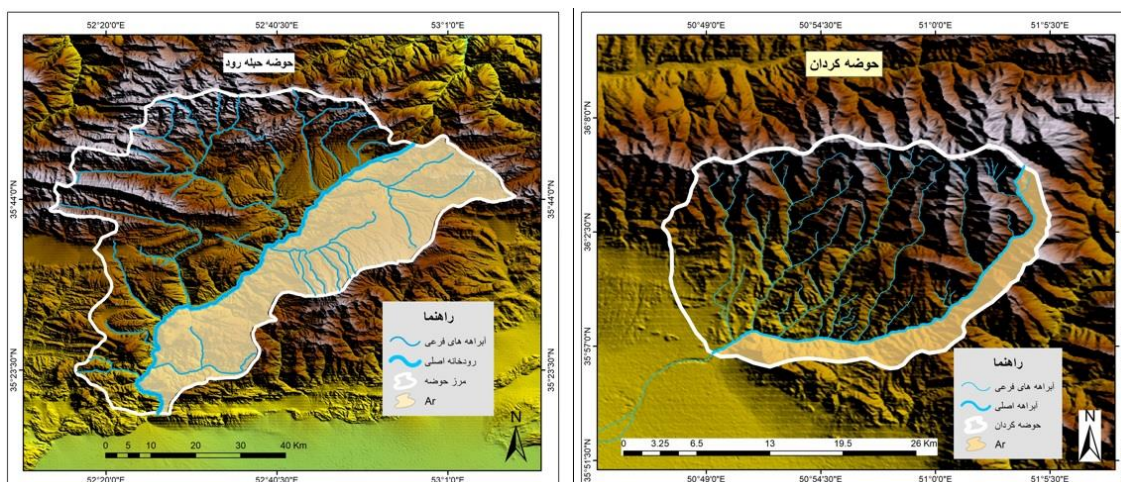
شکل ۸- محل اندازه گیری شاخص BS در حوضه حبله رود و کردان

۴.۳. شاخص تقارن حوضه زهکشی یا شاخص قرینگی حوضه (Af)

مقدار Af در حوضه حبله‌رود برابر $64/5$ محاسبه شده است. پس از تفریق کردن مقدار عددی 50 (با توجه به فرمول ذکر شده)، جواب حاصله $14/5$ به دست آمده که با توجه به طبقه‌بندی ذکر شده منطقه از نظر تکتونیکی در گروه فعالیت متوسط تا زیاد قرار دارد. مقدار Af در حوضه کردان نیز $85/38$ محاسبه شده است پس از کم کردن مقدار عددی 50 ، جواب حاصله $35/38$ به دست آمده که با توجه به طبقه‌بندی ذکر شده منطقه از نظر تکتونیکی در گروه فعالیت زیاد قرار دارد (جدول ۷). همان‌طور که ذکر گردید هر چه مقدار Af از 50 فاصله بگیرد نشانگر فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد و عمل بالآمده‌گی در ساحل راست را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌نماید حوضه کردان نسبت به حوضه حبله‌رود از نظر تکتونیکی فعال می‌باشد (شکل ۹).

جدول ۷- مقادیر Af محاسبه شده در حوضه حبله رود و کردان

نام حوضه	Ar کیلومترمربع	At کیلومترمربع	Af	Af - 50
حبله رود	۲۰۹۲	۳۲۴۱	$64/5$	$14/5$
کردان	۳۷۸	۴۴۳	$85/38$	$35/38$

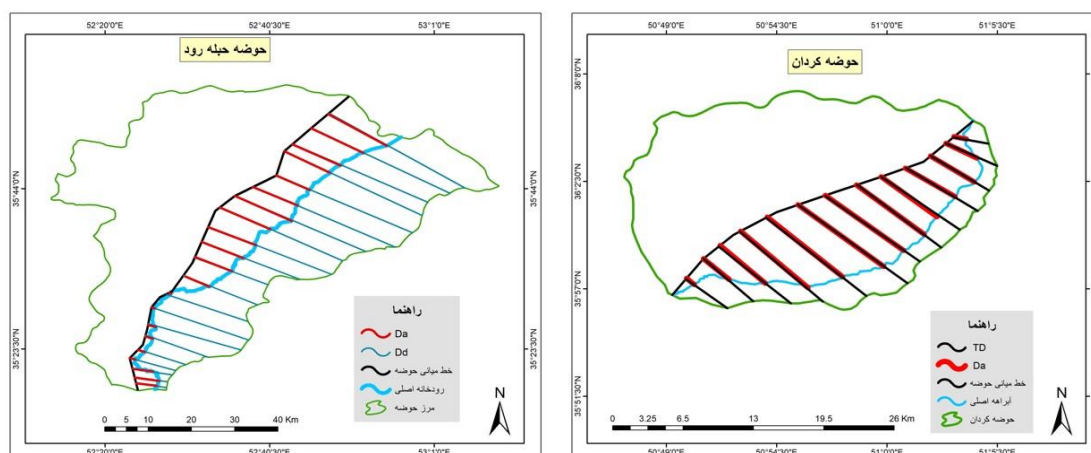


شکل ۹- محل اندازه‌گیری شاخص Af در حوضه حبله رود و کردان

۴.۴. شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه (T)

شاخص T در حوضه حبله‌رود، در ۲۱ نقطه و در حوضه کردان، در ۱۳ نقطه محاسبه گردید و سپس میانگین آن‌ها به دست آمد (شکل ۱۰). شاخص به دست آمده برای حوضه حبله‌رود به‌طور متوسط برابر با $0/34$ و برای حوضه کردان به‌طور متوسط برابر با $0/70$ می‌باشد. با توجه به اینکه حرکات تکتونیکی فعال، از دلایل ایجاد عدم

تقارن در حوضه‌های آبریز است پس می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های مورد مطالعه از نظر حرکات تکتونیکی در گروه فعال تا بسیار فعال قرار دارد. همان‌طور که گفته شد هرچه مقدار این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده عدم تقارن بیشتر است و در حوضه‌های کاملاً متقارن $T=0$ می‌باشد. در این مورد حوضه کردان با مقدار $0/70$ و حوضه حبله‌رود با مقدار $0/32$ نشانگر این است که حوضه کردان از نظر شاخص T نسبت به حوضه حبله‌رود بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرار دارد.



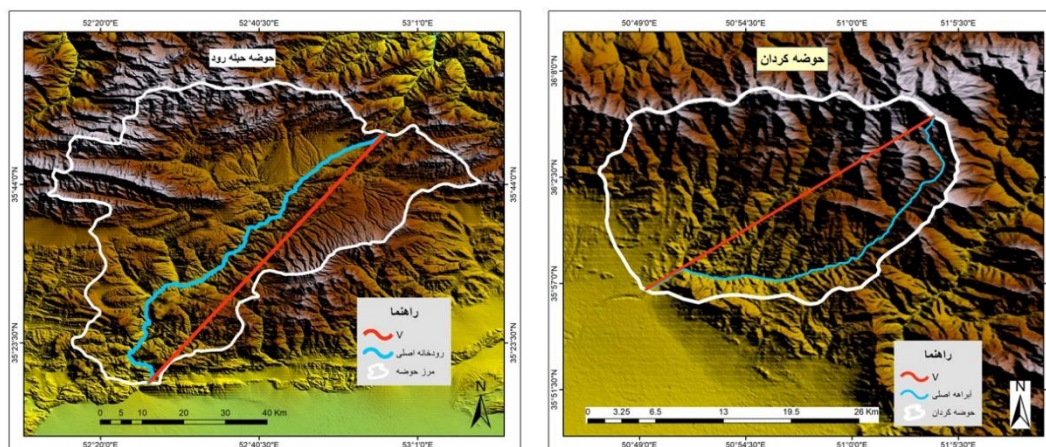
شکل ۴- محل اندازه‌گیری شاخص T در حوضه حبله‌رود و کردان

۴.۵. شاخص سینوزیته یا پیچ‌وخم کانال رودخانه (S)

برای ارزیابی پیچ‌وخم رودخانه روشی مشابه به روش پیچ‌وخم جبهه کوهستان ابداع شده تا به وسیله آن، میزان متاندری بودن رودها را مشخص نمایند که در این مورد از رابطه S استفاده شد. برای محاسبه مقدار شاخص S در حوضه حبله‌رود، پس از اندازه‌گیری پارامترهای آن عددی برابر با $1/31$ و برای حوضه کردان $1/29$ محاسبه گردید. مقادیر شاخص S در حوضه‌های مورد مطالعه (جدول ۸)، نشان دهنده این است که حوضه‌های مورد مطالعه هنوز به حالت تعادل نرسیده است و نیروهای درونی در تغییرات مورفولوژی آن نقش دارند. همچنین مقادیر به دست آمده از هر دو حوضه نیز تقریباً عددهای نزدیک به هم می‌باشد و هر دو حوضه از نظر تکتونیکی در کلاس ۱ و از لحاظ تکتونیکی بسیار فعال قرار دارد (شکل ۱۱).

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده شاخص S در حوضه حبله رود و کردان

نام حوضه	C متر	V متر	S
حبله رود	۹۹۰۲۳/۷	۷۵۵۱۶/۹۵۸	۱/۳۱
کردان	۳۶۱۰۳/۶	۲۷۹۴۸/۴۳	۱/۲۹



شکل ۱۱- محل اندازه‌گیری شاخص S در حوضه حبله رود و کردان

۶.۴. شاخص نسبت عرض دره‌ها به ارتفاع (Vf)

شاخص دیگری که تأثیر تکتونیک را مورد بررسی قرار می‌دهد شاخص Vf می‌باشد. برای محاسبه این شاخص در حوضه حبله‌رود و کردان، ۱۳ محل اندازه‌گیری تعیین شد سپس برای تک‌تک محل‌های انتخاب شده مقدار VF محاسبه گردید (شکل ۱۲). مقدار به دست آمده از VF برای حوضه کردان ۰/۵۱ و برای حوضه حبله رود ۰/۷۹ محاسبه گردید (جدول ۹) و (جدول ۱۰). بر اساس طبقه‌بندی ذکر شده در فرمول مربوطه، هر دو منطقه در کلاس ۲ و از لحاظ تکتونیکی متوسط می‌باشد.

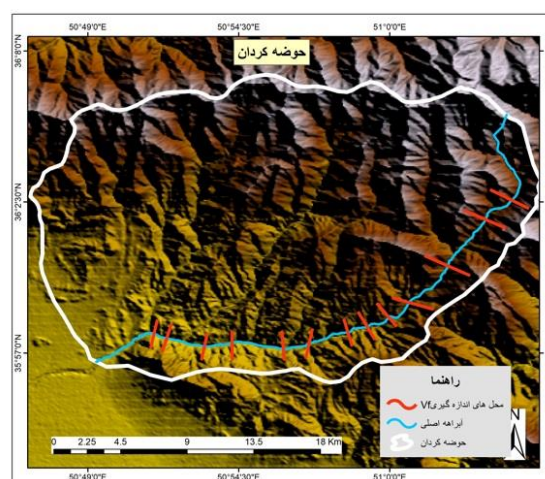
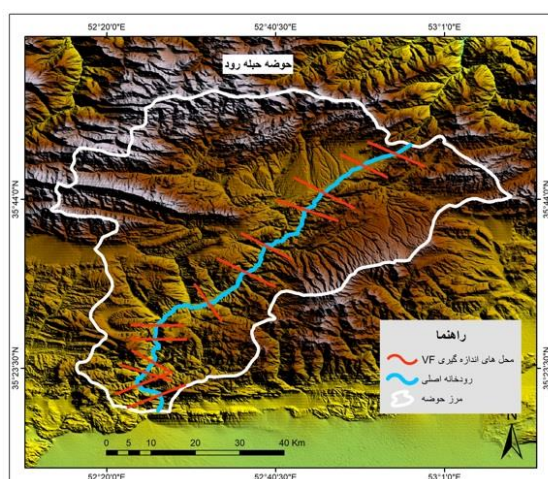
جدول ۹- مقادیر شاخص Vf در حوضه کردان

مقطع	Eld	Esc	Erd	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	Vf
1	۱۶۱۹	۱۴۸۱	۱۶۰۰	۱۳۸	۱۱۹	۲۵۷	۱/۶۰
2	۱۶۲۷	۱۴۸۱	۱۸۷۲	۱۴۶	۳۹۱	۵۳۷	۰/۷۶
3	۱۶۳۵	۱۵۲۲	۱۷۶۱	۱۱۳	۲۳۹	۳۵۲	۰/۸۳
4	۱۶۶۰	۱۵۶۰	۱۷۸۸	۱۰۰	۲۲۸	۳۲۸	۱/۱۶
5	۱۸۳۷	۱۶۲۱	۱۸۲۲	۲۱۶	۲۰۱	۴۱۷	۱
6	۱۹۵۶	۱۶۶۱	۱۸۵۵	۲۹۵	۱۹۴	۴۸۹	۱/۳۳
7	۲۰۰۰	۱۷۲۸	۱۹۳۵	۲۷۲	۲۰۷	۴۷۹	۰/۲۶
8	۱۹۲۰	۱۷۶۳	۲۰۳۴	۱۵۷	۲۷۱	۴۲۸	۰/۳۲
9	۲۱۶۴	۱۸۲۰	۲۱۰۴	۳۴۴	۲۸۴	۶۲۸	۰/۱۱
10	۲۲۰۳	۱۸۹۴	۲۳۷۲	۳۰۹	۴۷۸	۷۸۷	۰/۱۳
11	۲۷۹۵	۲۰۹۵	۲۹۲۵	۷۳۰	۸۶۰	۱۵۹۰	۰/۰۵
12	۳۰۹۵	۲۳۱۴	۳۲۵۰	۷۸۱	۹۳۶	۱۷۱۷	۰/۰۵

مقطع	Eld	Esc	Erd	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	Vf
13	۲۷۷۲	۲۴۱۵	۳۱۸۲	۳۵۷	۷۶۷	۱۱۲۴	۰/۰۷
							میانگین ۰/۵۱

جدول ۱۰- مقادیر شاخص Vf در حوضه حبله رود

مقطع	2vfw	Eld	Esc	Erd	Eld - Esc	Erd - Esc	[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]	Vf
	۱۶۲	۲۳۱۱	۱۰۷۴	۱۶۸۶	۱۲۳۷	۶۱۲	۱۸۴۹	۰/۰۹
	۳۰۸	۱۶۰۳	۱۱۲۷	۱۴۶۷	۴۷۶	۳۴۰	۸۱۶	۰/۳۸
	۹۳۶	۲۱۵۲	۱۱۷۴	۱۵۷۵	۹۷۸	۴۰۱	۱۳۷۹	۰/۶۸
	۸۰۰	۱۹۳۲	۱۲۱۷	۱۶۵۸	۷۱۵	۴۴۱	۱۱۵۶	۰/۶۹
	۲۰۰	۲۰۶۷	۱۲۸۶	۱۵۵۱	۷۸۱	۲۶۵	۱۰۴۶	۰/۱۹
	۴۷۸	۱۸۳۹	۱۳۲۲	۱۸۹۲	۵۱۷	۵۷۰	۱۰۸۷	۰/۴۴
	۱۲۵۸	۱۷۰۵	۱۴۸۰	۱۷۷۰	۲۲۵	۲۹۰	۵۱۵	۲/۴۴
	۸۶۰	۱۹۰۱	۱۵۹۰	۲۳۱۹	۳۱۱	۷۲۹	۱۰۴۰	۰/۸۳
	۸۰۰	۱۹۷۶	۱۶۷۰	۲۱۱۰	۳۰۶	۴۴۰	۷۴۶	۱/۰۷
	۲۵۲	۲۰۷۰	۱۸۳۰	۲۳۷۲	۲۴۰	۵۴۲	۷۸۲	۰/۳۲
	۳۸۰	۲۰۳۰	۱۹۱۵	۲۱۰۷	۱۱۵	۱۹۲	۳۰۷	۱/۲۴
	۸۶۰	۲۲۳۷	۲۰۵۰	۲۴۷۰	۱۸۷	۴۲۰	۶۰۷	۱/۴۲
	۴۰۰	۲۴۰۰	۲۰۶۰	۲۴۵۰	۳۴۰	۳۹۰	۷۳۰	۰/۵۵
								میانگین ۰/۷۹



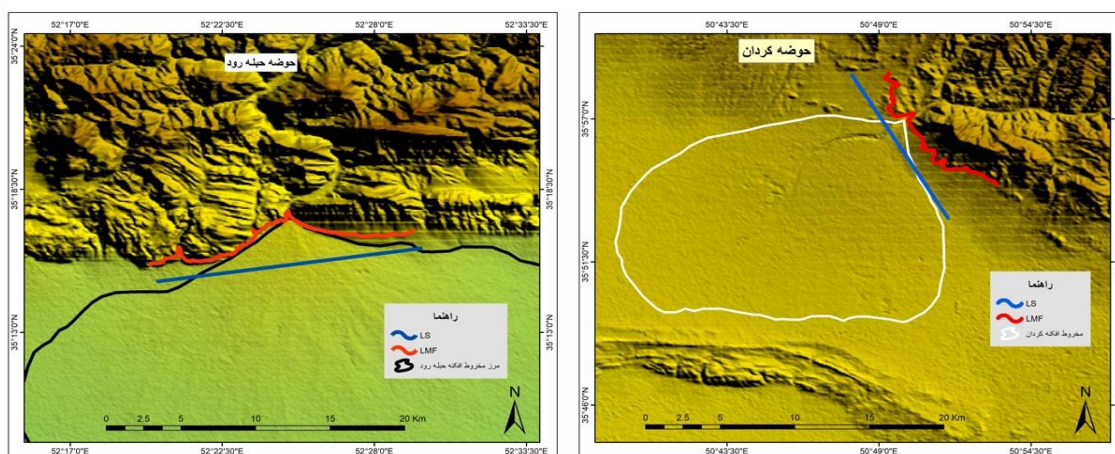
شکل ۱۲- محل اندازه‌گیری شاخص Vf در حوضه حبله رود و کردان

۴.۷. شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (Smf)

این شاخص به نام شاخص سینوسی جبهه کوهستان معروف می‌باشد. اندازه‌گیری پیچ‌وخم جبهه کوهستان نیز روشی کمی است که می‌توان به کمک آن فعالیت‌های جدید تکتونیکی را در یک منطقه ارزیابی کرد. شاخص Smf برای حوضه حبله‌رود و کردان محاسبه گردید، میزان این شاخص در حوضه حبله‌رود برابر با ۱/۵۰ و برای حوضه کردان برابر با ۱/۲۱ می‌باشد (جدول ۱۱). با توجه به طبقه‌بندی که قبلاً ذکر گردید می‌توان گفت که هر دو حوضه در یک کلاس قرار گرفته است و از نظر تکتونیکی در گروه فعال قرار دارد (شکل ۱۳). طبقه‌بندی دیگری را که بول^۱ و مک فادن (۱۹۷۷) انجام داده‌اند. بر اساس این طبقه‌بندی مقادیر بین ۱ تا ۱/۶ در گروه بسیار فعال تکتونیکی، مقادیر بین ۱/۶ تا ۱/۸ با فعالیت متوسط تکتونیکی و مقادیر ۱/۸ تا ۵ مناطق غیر فعال تکتونیکی می‌باشد. با توجه به این طبقه‌بندی حوضه‌های کردان و حبله رود در گروه بسیار فعال تکتونیکی قرار می‌گیرد.

جدول ۱۱- مقادیر محاسبه شده شاخص Smf در حوضه حبله رود و کردان

نام حوضه	Lmf	Ls	Smf
حبله رود	۲۲۲۹۹ متر	۱۴۷۸۲ متر	۱/۵۰
کردان	۱۴۲۸۳ متر	۱۱۷۵۲ متر	۱/۲۱



شکل ۱۳- محل اندازه‌گیری شاخص Smf در حوضه حبله رود و کردان

۴.۸. شاخص نسبت فعالیت‌های تکتونیکی (IAT)

بر اساس نکات گفته شده مناطق مورد مطالعه از نظر شاخص IAT نیز مورد ارزیابی قرار داده شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که حوضه حبله‌رود در کلاس ۲ و حوضه کردان در کلاس ۱ قرار دارد (جدول ۱۲). بر

اساس طبقه‌بندی اشاره شده در روش تحقیق در مورد شاخص IAT، در کلاس ۱ میزان فعالیت‌های نوزمینساختی بالاترین فعالیت تکتونیکی را شامل می‌شود پس حوضه کردن از لحاظ فعالیت تکتونیکی دارای بالاترین فعالیت می‌باشد و حوضه حبله‌رود که در کلاس ۲ قرار دارد در کلاس فعالیت تکتونیکی بالا قرار می‌گیرد.

جدول ۱۲- مقادیر شاخص Iat در منطقه مورد مطالعه

نام حوضه	T	Sl	Smf	Vf	Bs	Af	S	S/n	IAT
حوضه حبله رود	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۱	۱/۷۱	کلاس ۲
حوضه کردن	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۳	کلاس ۱

۵. نتیجه‌گیری

واحد مورفوتکتونیکی البرز یک طاق‌دیس مرکب است که از آذربایجان تا خراسان کشیده شده است. شکل کنونی البرز حاصل آخرین فاز کوهزایی آلپی است که نشان‌دهنده جوان بودن کوه‌های البرز و ادامه فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه است. اینکه کدام بخش از البرز از نظر تکتونیکی فعال‌تر است همواره سؤالی بوده که توسط متخصصان مطرح شده است و نیاز به مطالعه بیشتر این سیستم کوهستانی را نشان می‌دهد. شاخص‌های مورفوتکتونیکی از جمله روش‌هایی هستند که در سال‌های اخیر برای تعیین میزان فعالیت تکتونیکی مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه استفاده تنها از این شاخص‌ها برای رسیدن به نتایج قاطع و متقن کافی نیست اما می‌تواند در کنار شواهد مورفوتکتونیکی برای تفسیر و تحلیل میزان فعالیت تکتونیکی یک محل مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل در این مطالعه تأکید بر استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی بوده تا بتوان خطوط کلی فعالیت‌های تکتونیکی دو حوضه را به نمایش گذاشت. درواقع در این مطالعه به توجه به اهداف تحقیق برای بررسی فعالیت‌های تکتونیکی دو حوضه کردن و حبله رود از شاخص‌های ژئومورفولوژیک استفاده شد. نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها حاکی از آن است که مناطق مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال می‌باشد. مقادیر شاخص Vf در منطقه حبله‌رود ۰/۷۹ و در منطقه کردن ۰/۵۱ محاسبه شده است. بر اساس طبقه‌بندی ذکر شده در فرمول مربوطه، هر دو منطقه در کلاس ۲ و از لحاظ تکتونیکی متوسط می‌باشد. بر اساس شاخص Smf حوضه حبله‌رود برابر با ۱/۵۰ و برای حوضه کردن برابر با ۱/۲۱ محاسبه شده است با توجه به طبقه‌بندی این شاخص اعداد بین ۱ تا ۱/۶ مناطق بسیار فعال از نظر تکتونیک می‌باشد پس مناطق مورد مطالعه از نظر این شاخص نیز فعال شناخته شده است. همچنین مقادیر به دست آمده از شاخص S در هر دو حوضه نیز تقریباً عددهای نزدیک به هم می‌باشد و هر دو حوضه از نظر تکتونیکی در کلاس ۱ و از لحاظ تکتونیکی بسیار فعال قرار دارد. محاسبه شاخص T در حوضه کردن با مقدار ۰/۷۰ و حوضه حبله‌رود با مقدار ۰/۳۲ نشانگر این است که حوضه کردن از نظر شاخص T نسبت به حوضه حبله‌رود بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های

تکتونیکی قرار دارد. از لحاظ شاخص Af نیز حوضه کردن با مقدار ۸۵/۳۸ نسبت به حوضه حبله‌رود از نظر تکتونیکی در گروه فعالیت زیاد قرار دارد. همچنین مقدار شاخص SL در حوضه حبله رود و کردن نشان می‌دهد که هر دو حوضه دارای مقادیر بالای این شاخص می‌باشد و از لحاظ تکتونیک فعال می‌باشد. شاخص نهایی، شاخص IAT است که می‌توان بر اساس این شاخص نتیجه کلی فعالیت تکتونیکی در یک منطقه را محاسبه نمود. شاخص IAT در چهار کلاس ۱، ۲، ۳ و ۴ طبقه‌بندی شده‌اند. مقدار این شاخص برای منطقه حبله‌رود و کردن محاسبه شد. نتایج حاصل از این شاخص نشان می‌دهد که حوضه کردن در کلاس ۱ و حوضه حبله‌رود در کلاس ۲ قرار دارد. طبق طبقه‌بندی که از شاخص IAT ذکر گردید، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت نوزمینساختی در منطقه کردن نسبت به منطقه حبله‌رود بیشتر می‌باشد. اگرچه این یک نتیجه‌گیری کلی از مطالعه حاضر است اما لزوم توجه به شواهد مورفوتکتونیکی را بیشتر مشخص می‌سازد. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که لازم است چنین مطالعاتی در تمام حوضه‌های جنوبی البرز باید انجام شود و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرد. مطالعاتی که حاصل به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیکی و بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی با استفاده از روش‌های نوین باشد.

کتابنامه

- اعظم مابقی، سعیده؛ حسین زاده، سید رضا؛ ۱۳۹۶. تجزیه و تحلیل تکتونیک - ژئومورفولوژی حوضه رودخانه درونگر. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۴۹. صص ۱۸۸-۱۶۳
- ایلانلو، مریم؛ دزفولی کلونی، زهرا؛ ۱۳۹۷. ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*. شماره ۴۱. سال یازدهم. صص ۱۴۰-۱۲۳
- پورکرمانی، محسن، صدیق، حمید؛ ۱۳۸۲. پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز. *جغرافیا و توسعه*. پاییز صفحات ۳۷-۴۴
- روستایی، شهرام؛ رجبی، معصومه؛ زمردیان، محمدجعفر؛ مقامی مقیم، غلامرضا؛ ۱۳۸۸. نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۱۳. صفحات ۱۳۷-۱۵۶.
- شایان، سیاوش؛ شریفی کیا، محمد؛ زارع، غلامرضا؛ ۱۳۹۰. بررسی نقش نوزمین ساخت، عوامل مورفوکلیماتیک و آنتروپوژنیک در پیدایش و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه گرمسار). *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره دوم. صص ۳۷-۴۴
- گورابی، ابوالقاسم و اسماعیل پاریزی؛ ۱۳۹۴. بررسی شواهد ژئومورفیک گسل دهشیر. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال چهارم. شماره ۲. صص ۵۹-۴۵

مختاری، داوود؛ کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۸۶. اشکال مختلف مخروطافکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها. نشریه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۱. شماره ۵۳. صص ۲۹۲-۲۵۷

مددی، عقیل؛ فرجی منفرد، ابوالفضل؛ ۱۳۹۳. مطالعه عوامل مؤثر در شکل‌گیری مخروطافکنه‌های گوزل دره و کرفس و بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در دامنه‌های جنوبی خرقان (همدان). جغرافیا و توسعه. شماره ۳۷. صص ۲۰۶-۱۹۵

مقصودی، مهران؛ ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌های افکنه، مطالعه موردی: مخروطافکنه جاجرود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۵. صفحات ۷۳-۹۲

مقصودی، مهران؛ باقری، سجاد؛ داوودی، محمود؛ ۱۳۹۰. راندگی گیلانغرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱. صفحات ۱۵۸-۱۳۷

مقصودی، مهران؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۳۹۰. تحلیل شواهد مورفوتکتونیکی گسل درونه در محدوده حوضه آبریز شش‌طراز و مخروطافکنه پایین‌دست آن. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره شانزدهم. صص ۱۲۳-۱۰۸

مقصودی، مهران؛ کامرانی‌دلیر، حمید؛ ۱۳۸۷. ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها مطالعه موردی رودخانه تجن. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۶. صص ۵۵-۳۷

نگهبان، سعید؛ درتاج، دیانا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. هیدروژئومورفولوژی. شماره ۱۹. سال پنجم. صص ۲۰۹-۱۸۷

Bull, W.B. & McFadden, L., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Dohring, D.O, (ed.), Geomorphology in arid regions publ. In geomorphology, state university of New York, pp.115- 138.

Bull, WB., 2009. Tectonically Active Landscapes. Willy-Blackwell, Oxford. 326pp.

Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H. & Hosseiniasl, A., 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Geomorphology, No.121, Vol. (3-4), pp.329-341.

Delcaillau, B., Carozza, J.M., & Laville, E., 2006 Recent Fold Growth and Drainage Development: The January and Chandigarh Anticlines In The Siwalik Foothills, Northwest India. Geomorphology 76, 241-256.

Hamdouni, R.El., Iriggaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., & Keller, E.A., 2008. Assessment of relative tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology. 96.

K"asner, A., Gloaguen, R., 2009. "Neotectonic information from drainage basin geometry in the Tajik depression", IGARSS 2009 conference, PP:II-353- II-356

Keller, E.A., Pinter, N., 1996. Active Tectonic, Prentice Hill, upper saddle River Nj, p 33.

Keller. E.A. Pinter. N., 2001. Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape (2nd Edition), New Jersey, Prentice Hall, 362 pages.

Radoane, M., radoane, N., & dumitriu, d., 2003. Geomorphological evolution of longitudinal river profile in the carpatians. geomorphology. Vol. 50: 293-306.

- Singh, T., Jain, V., 2008. Tectonic Constraints On Watershed Development On Frontal Ridges: Mohr and Ridge, NW Himalaya, India. *Geomorphology*, 102,231-141.
- Walker, R. T., Talebian, M., Saiffori, S., Sloan, R.A., Rasheedi, A., MacBean, N., & Ghassemi, A., 2010. Active faulting earthquakes, and restraining bend development near Kerman city in southeastern Iran, *Journal of Structural Geology*, Volume 32. PP: 1046-1060.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۹۷-۷۹

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoe.2020.67015.0>

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از مدل WASPAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر ارومیه)

سارا بهشتی فر^۱ - استادیار گروه نقشه برداری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ستار صحرایی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ژئودزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۷

چکیده

زلزله از جمله مخاطراتی است که به دلیل ماهیت غیرمنتظره‌اش، خسارت‌های جانی و مالی فراوانی بر جای می‌گذارد. هر چند برای پیشگیری از وقوع زلزله راهی وجود ندارد ولی می‌توان با راهکارهایی همچون پهنه‌بندی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، خسارت‌های ناشی از آن را تا حدی کاهش داد. هدف این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله می‌باشد. برای این منظور، معیارهای مؤثر شناسایی و اهمیت نسبی آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مشخص شدند. پهنه‌بندی با استفاده از روش تلفیقی جمع و ضرب وزنی (WASPAS)، به‌عنوان یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گردید. کل شهر ارومیه از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله به پنج کلاس کلی آسیب‌پذیری بسیار بالا، آسیب‌پذیری بالا، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری پایین و آسیب‌پذیری بسیار پایین تقسیم گردید. مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا، حدود ۲۱ درصد از کل منطقه را پوشش می‌دهند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از روش WASPAS با روش متداول جمع وزنی (WS) نشان می‌دهد که در روش WASPAS، مناطق بیشتری به‌عنوان مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا شناسایی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: زلزله، وزن‌دهی، پهنه‌بندی، WASPAS، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱. مقدمه

برخلاف پیشرفت‌های شگرف در تکنولوژی و دستیابی به برخی از ناممکن‌های قرون گذشته، هنوز انسان در برابر حوادث غیرمترقبه طبیعی همچون زلزله و سیل در مانده است و گاه و بی‌گاه در معرض تلفات و خسارت‌های جانی و مالی بسیاری قرار می‌گیرد. کشور ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن بر روی کمربند جهانی زلزله، در طول تاریخ همواره شاهد زمین‌لرزه‌های بزرگ و خسارت‌باری بوده است (طبیعیان و مظفری، ۱۳۹۷). نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران حاکی از آن است که بیشتر نقاط شهری و غیر شهری کشور در نواحی باخطر نسبی زیاد قرار گرفته‌اند (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸). قابل‌پیش‌بینی نبودن زمان و مکان وقوع زلزله از یک سو و ساخت‌وسازهای غیراصولی و بی‌توجهی به میزان خطر در یک منطقه از سوی دیگر، موجب تشدید فجایع می‌گردد. اگرچه نمی‌توان از وقوع زلزله پیشگیری کرد ولی با راهکارهایی همچون پهنه‌بندی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، می‌توان خسارت‌های ناشی از آن را تا حدی کاهش داد. در روش‌های مذکور، چارچوبی برای بررسی احتمال وقوع خطر زلزله در مکان‌های مختلف با توجه به عوامل مؤثر ارائه می‌گردد. در تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای، به طور معمول جنبه‌های فیزیکی، زیست محیطی و اقتصادی - اجتماعی مد نظر قرار می‌گیرند (برات^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). شناخت محدود ه‌های مقاوم و آسیب‌پذیر در سطح شهر، از یک سو می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات احتمالی داشته باشد و از سوی دیگر می‌تواند به تخصیص بهینه اعتبارات مقاوم‌سازی کمک نماید.

با توجه به وجود عوامل متعدد در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و ماهیت مکانی اکثر عوامل مرتبط، تاکنون در مطالعات متعددی از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ (MCDM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ (GIS) برای این منظور استفاده شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است: ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی در منطقه ۶ تهران با روش تحلیل سلسله مراتبی^۴ (AHP) (طبیعیان و مظفری، ۱۳۹۷)، ارزیابی آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهرها با استفاده از روش AHP در شهر یزد (فلاح علی آبادی و همکاران، ۱۳۹۲)، ارزیابی و رتبه‌بندی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله در شهر یزد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳)، ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله در خرمدره با روش AHP (احدنژاد و همکاران، ۱۳۹۰)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زلزله در شهر تهران با منطق فازی (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۳)، ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت فرسوده مرکزی شهر سمنان با ترکیبی از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (فلاحی و چاره جو، ۱۳۹۸)، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری باروش ANP در شهر سمیرم (علوی و همکاران، ۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله در منطقه ۹ شهرداری تهران (نظم فر و علوی، ۱۳۹۷)، تحلیل ناپایداری بافت‌های

1 Barbat

2 Multiple-criteria decision-making

3 Geographic Information Systems

4 Analytic Hierarchy Process

شهری و پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنج در برابر زلزله (حبیبی، جوانمردی، ۱۳۹۲)، ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و تلفات انسانی در تبریز (کریم‌زاده^۱ و همکاران، ۲۰۱۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله در کشور هندوستان (نینگ‌توجام^۲ و نندا^۳، ۲۰۱۸)، ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر زلزله با استفاده از نظریه بازی در شهر تهران (مرادی^۴ و همکاران، ۲۰۱۷)، ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر زلزله در شهر تبریز با روشی تلفیقی (علیزاده^۵ و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین تجزیه و تحلیل خطر زلزله در شهر استانبول کشور ترکیه (نیمبیلی^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر موارد مذکور، پژوهش‌های دیگری نیز در این خصوص صورت گرفته که در ادامه برخی از آنها بیان شده‌اند. حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) به منظور تحلیل میزان آسیب‌پذیری مسکن شهری منطقه ۶ تهران در مواقع بروز زلزله، از روش AHP جهت وزن‌دهی به معیارها و از مدل SAW^۷ برای تلفیق لایه‌های مؤثر در آسیب‌پذیری مسکن استفاده کردند. معیارهای سنجش آسیب‌پذیری مسکن در تحقیق مذکور شامل میزان جمعیت، فاصله از فضای سبز، فاصله از کاربری صنعتی، فاصله از جایگاه سوخت، فاصله از پست برق و گاز، فاصله از گسل، دسترسی به جاده‌های ارتباطی، دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی و اندازه قطعه واحد مسکونی بوده‌اند.

قنبری و زلفی (۱۳۹۳) جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شهر کاشمر در برابر زلزله، مصالح ساختمانی، کیفیت بنا، قدمت بنا، تعداد طبقات، نما، سازگاری کاربری‌ها، دسترسی، فاصله از گسل، تراکم ساختمانی، جمعیت و موقعیت مراکز امداد و نجات را به عنوان معیارهای تأثیرگذار در نظر گرفتند. در تحقیق مذکور، وزن‌دهی به معیارها با روش AHP و رتبه‌بندی مناطق از نظر آسیب‌پذیری با روش ویکور^۸ انجام شد.

پورموسوی و همکاران (۱۳۹۳)، جهت بررسی میزان آسیب‌پذیری حوزه شهری ایذه در برابر زمین‌لرزه، از مدل‌های WLC^۹ و AHP در محیط GIS استفاده کردند. معیارهای به کار گرفته شده در این تحقیق، شامل فاصله از خطوط گسل، طول گسل، ویژگی‌های لرزه‌ای مانند بزرگای زمین‌لرزه، وضعیت ساختاری سازندهای زمین‌شناسی و عمق آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری محله‌های شهر پیرانشهر در برابر زلزله، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند. داده‌های به کار رفته شامل قدمت ابنیه، نوع مصالح، تعداد طبقات، کاربری اراضی و عرض معابر بودند. وزن معیارها با استفاده از مدل AHP به دست آمدند. برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری

1 Karimzadeh

2 Ningthoujam

3 Nanda

4 Moradi

5 Alizadeh

6 Nyimbili

7 Simple Additive Weighting

8 VIKOR: Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

9 Weighted Linear Combination

محلات، از مدل‌های تاپسیس^۱ و ویکور استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که ۵۳ درصد از محلات پیرانشهر در برابر زلزله آسیب‌پذیر می‌باشند.

نصیری (۱۳۹۵) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله نیز فرایند تحلیل سلسله مراتبی را جهت وزن‌دهی به معیارها به کار بردند. نقشه‌های آسیب‌پذیری به روش‌های همپوشانی شاخص و منطق فازی در محیط GIS تهیه شدند. نتایج به دست آمده حاکی از ارجحیت منطق فازی در تعیین آسیب‌پذیری مناطق می‌باشد.

اردن^۲ و همکاران (۲۰۱۲) از میان روش‌های MCDA، از دو روش AHP و تاپسیس در محیط GIS، برای تهیه نقشه‌های خطر زلزله و انجام تجزیه و تحلیل در یکی از مناطق شهر استانبول کشور ترکیه استفاده کردند. در پژوهش مذکور عواملی همچون توپوگرافی، نوع خاک و مکانیسم گسل بمنظور تعیین میزان آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه مورد توجه قرار گرفتند. مقایسه نقشه‌های خطر تهیه شده توسط دو مدل AHP و تاپسیس، همبستگی و سازگاری بالایی را بین آنها نشان داد.

ال-دوگوم^۳ و همکاران (۲۰۱۸) از روش‌های تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی در محیط GIS برای بررسی خطر وقوع زلزله در سراسر صفحه عربستان و تأثیر آنها در امارات متحده عربی (امارات) استفاده کردند. سپس نقشه حساسیت لرزه‌ای امارات با توجه به عواملی نظیر شیب، نوع خاک و زمین‌شناسی و طول خط گسل تهیه شد و منطقه مورد مطالعه از لحاظ حساسیت در برابر زلزله، به پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. طبق نتایج به دست آمده شهر فوجیره در منطقه آسیب‌پذیری "بسیار بالا"، شهرهای شارجه و دبی در مناطق با آسیب‌پذیری "بالا تا متوسط" و شهر ابوظبی در منطقه "کم خطر" لرزه‌ای قرار گرفته‌اند.

جناؤ و همکاران (۲۰۲۰) نیز برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر باندآچه^۴ 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.

یاریان^۵ و همکاران (۲۰۲۰) از سیستم‌های مختلف پشتیبان تصمیم‌گیری برای بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر سنندج استفاده کردند. عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای در سه بعد مختلف اجتماعی، محیطی و کالبدی شناسایی شدند. برای ایجاد مجموعه داده‌های آموزشی، روش‌های مختلفی همچون روش‌های تجزیه و تحلیل چندمعیاره فازی

1 TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

2 Erden

3 Al-Dogom

4 Jena

5 Banda Aceh

6 Yariyan

مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از مدل‌های مختلف، با استفاده از مساحت زیر منحنی و نسبت فرکانس اعتبار سنجی شدند.

از طرفی در سال‌های اخیر در مطالعات مختلفی جهت انجام تصمیم‌گیری چند معیاره از روش WASPAS^۱ استفاده شده که در ادامه به تعدادی از آنها به‌عنوان نمونه اشاره شده است.

حسینی خواه و ضرابی (۲۰۱۸) برای شناسایی پهنه‌های لرزه‌خیز شهر لیکک واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد، از مدل WASPAS استفاده کردند. در مطالعه مذکور، ۱۰ شاخص اصلی در نظر گرفته شده که از جمله آنها می‌توان به فاصله از گسل‌های فعال، شیب و ارتفاع اشاره کرد. از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری و سازمان USGS برای تأمین داده‌های مورد نیاز استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد شهرک‌ها در منطقه ناامن قرار گرفته‌اند.

فرجی و آروین (۲۰۱۷) برای بررسی تاب‌آوری منطقه‌ای شهرستان‌های استان خوزستان از تحلیل‌های فضایی و مدل WASPAS استفاده کردند. در پژوهش مذکور، ۲۶ شاخص برای بررسی عوامل اقتصادی، اجتماعی، زیرساختی، خدماتی، بهداشتی-درمانی و محیطی در نظر گرفته شده است. وزن‌دهی شاخص‌ها با روش آنتروپی شانون و رتبه‌بندی شهرستان‌ها با WASPAS صورت گرفته است. یافته‌های تحقیق نشان داده که شهرستان‌های اهواز، دزفول و خرمشهر در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند.

شهر ارومیه نیز به دلایل مختلف از خطر وقوع زلزله در امان نیست، لیکن مطالعات اندکی در خصوص بررسی میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف این شهر در مقابل زلزله با استفاده از روش‌های مبتنی بر MCDM در محیط GIS صورت گرفته است. لذا در پژوهش حاضر با استفاده از روش WASPAS، که یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود، به رتبه‌بندی مناطق مختلف شهری از نظر میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله و همچنین تهیه نقشه پهنه‌بندی در محیط GIS پرداخته شده است.

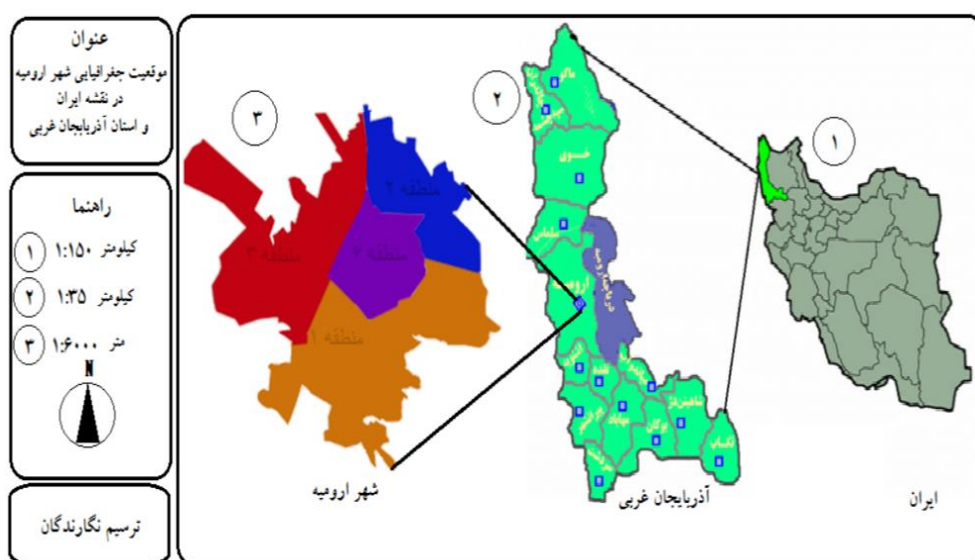
به این ترتیب اهداف این پژوهش عبارتند از: شناخت معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله؛ تعیین وزن و اهمیت نسبی هر یک از معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری؛ تعیین وضعیت مناطق مختلف شهر با توجه به هر معیار؛ تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از GIS و WASPAS.

1 Weighted Aggregated Sum Product Assessment

۲. مواد و روش‌ها

۱. ۲. منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه، مرکز شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله ۱۸ کیلومتری غرب دریاچه ارومیه، درون جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی این شهر بین ۴۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی، در شمال غرب ایران می‌باشد (شکل ۱). شهرستان ارومیه تقریباً در مرکز فلاتی قرار دارد که پهنه‌ای به ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا و شامل دریاچه ارومیه است. این پهنه، منطقه‌ای کوهستانی است که به موازات حرکت از طرف غرب به طرف شرق از ارتفاع آن کاسته می‌شود. در تشکیلات رسوبی و درونی زمین در منطقه ارومیه گسستگی‌های زیادی وجود دارد، که گسترش آنها در نواحی کوهستانی غربی و پهنه میانی این منطقه زیاد است (نصیری، ۱۳۹۵).



شکل ۱- موقعیت شهرستان ارومیه (ترسیم: نگارندگان)

۲. ۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی تحلیلی است. چنانکه پیشتر اشاره شد، در این پژوهش، جهت رتبه‌بندی مناطق مختلف شهر ارومیه از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله، از روش WASPAS و به‌منظور وزن‌دهی به معیارها از روش معروف AHP استفاده شده است. در انتها نتایج به‌دست آمده با نتایج روش جمع وزنی مقایسه شده‌اند که در ادامه به بیان این روش‌ها پرداخته شده است.

روش WASPAS توسط زاوادسکاس^۱ در سال ۲۰۱۲ پیشنهاد گردید (کاراباش‌اویچ^۲، ۲۰۱۶). این روش، یکی از روش‌های نسبتاً جدید تصمیم‌گیری چند معیاره با دقت بسیار بالا است که در واقع ترکیبی از دو روش مدل جمع وزنی و مدل ضرب وزنی (WPS^۳) می‌باشد. میزان دقت روش WASPAS نسبت به هر یک از دو روش مذکور بیشتر است (زاوادسکاس، ۲۰۱۲).

مراحل محاسبات روش مذکور به شرح زیر است:

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به وضع موجود معیارها و گزینه‌ها.
- استانداردسازی و بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری.
- محاسبه وزن هر یک از معیارها با یکی از روش‌های وزن‌دهی نظیر آنتروپی شانون، AHP و یا ANP^۴.
- برآورد واریانس مقادیر معیارهای استاندارد شده.
- محاسبه واریانس اهمیت نسبی گزینه‌ها و تعیین مقادیر بردار ویژه.
- انجام رتبه‌بندی نهایی.

در روش WASPAS مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، حل مسأله با ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری

شروع می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{ماتریس تصمیم‌گیری}$$

در ماتریس تصمیم‌گیری فوق، m نشان‌دهنده تعداد گزینه‌ها و n نشان‌دهنده تعداد معیارهاست. پس از تشکیل این ماتریس، معیارهای مثبت و منفی در آن به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲)، نرمال‌سازی می‌شوند. به این مرحله، بی‌مقیاس‌سازی می‌گویند که دلیل ضرورت انجام آن، متفاوت بودن جنس و واحد معیارها می‌باشد.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این روابط $\bar{x}_{ij}$ نرمال‌سازی شده x_{ij} و i و j به ترتیب اندکس گزینه‌ها و معیارها می‌باشند. در ادامه باید وزن معیارها با یکی از روش‌های وزن‌دهی به‌دست 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) به‌دست می‌آیند.

$$Q_i^{(1)} = y_{ij \text{ sum}} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Q_i^{(2)} = y_{ij \text{ mult}} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه (۴)}$$

1 Zavadskas

2 Karabašević

3 Weighted Product Model

4 Analytic Network Process

رابطه نهایی براساس فرمول زاوادیسکاس (رابطه ۵) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

برای افزایش دقت در رتبه‌بندی و اثر بخشی فرایند تصمیم‌گیری در روش WASPAS از رابطه (۷) استفاده می‌گردد.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$(\lambda = 0.0.1. \dots .1).$$

$$Q_i^\lambda = \lambda i \sum_{j=1}^n y_{ijsum} + (1 - \lambda i) \prod_{j=1}^n y_{ijmult} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\lambda i = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2(Q_i^{(1)}) + \sigma^2(Q_i^{(2)})} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{(\prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij})^{w_j w_j}}{(\bar{x}_{ij})^{w_j (\bar{x}_{ij})^{1-w_j}}} \right)^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(1)}) = \sum_{j=1}^n w_j^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\sigma^2(\bar{x}_{ij}) = (0.05 \bar{x}_{ij})^2 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در نهایت، گزینه‌ها می‌توانند بر مبنای ارزش Q رتبه‌بندی شوند. مقدار بهینه λ براساس معادلات بالا به‌دست می‌آید. مقدار λ سهم معادله جمع وزنی و معادله ضرب وزنی در معادله نهایی را مشخص می‌کند (یزدانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶).

چنانکه ذکر شد، در این پژوهش، از روش معروف و متداول AHP جهت وزن‌دهی به معیارها استفاده شد. در این روش، مقایسه زوجی بین معیارها انجام می‌شود که برای این منظور، پرسش‌نامه‌های مناسبی تهیه و بین ۱۵ نفر از کارشناسان و مهندسان این حوزه در شهرداری، اداره راه و شهرسازی، بنیاد مسکن و مدیریت بحران شهر ارومیه توزیع گردید. بعد از تحلیل پرسشنامه‌ها و به‌دست‌آوردن مقادیر مقایسه‌های زوجی بین معیارها، وزن معیارها با روش بردار ویژه محاسبه شدند.

برای بررسی بیشتر، نتایج حاصل با نتایج روش جمع وزنی (WS^2) مقایسه شدند. این روش که متداول‌ترین رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد، نخستین بار توسط پژوهشگران و برنامه‌ریزان اقتصادی در سال ۱۹۵۷ برای انتخاب سیاست‌های سرمایه‌گذاری در بخش تجارت استفاده شد. در روش مذکور، با در نظر گرفتن وزن شاخص‌ها و مقادیر هر یک از گزینه‌ها به ازای هر شاخص، مجموع وزن‌دار برای هر گزینه محاسبه می‌شود و گزینه‌ای که بیشترین مقدار را به خود اختصاص دهد، به‌عنوان بهترین گزینه در نظر گرفته می‌شود (شکور، ۱۳۹۴).

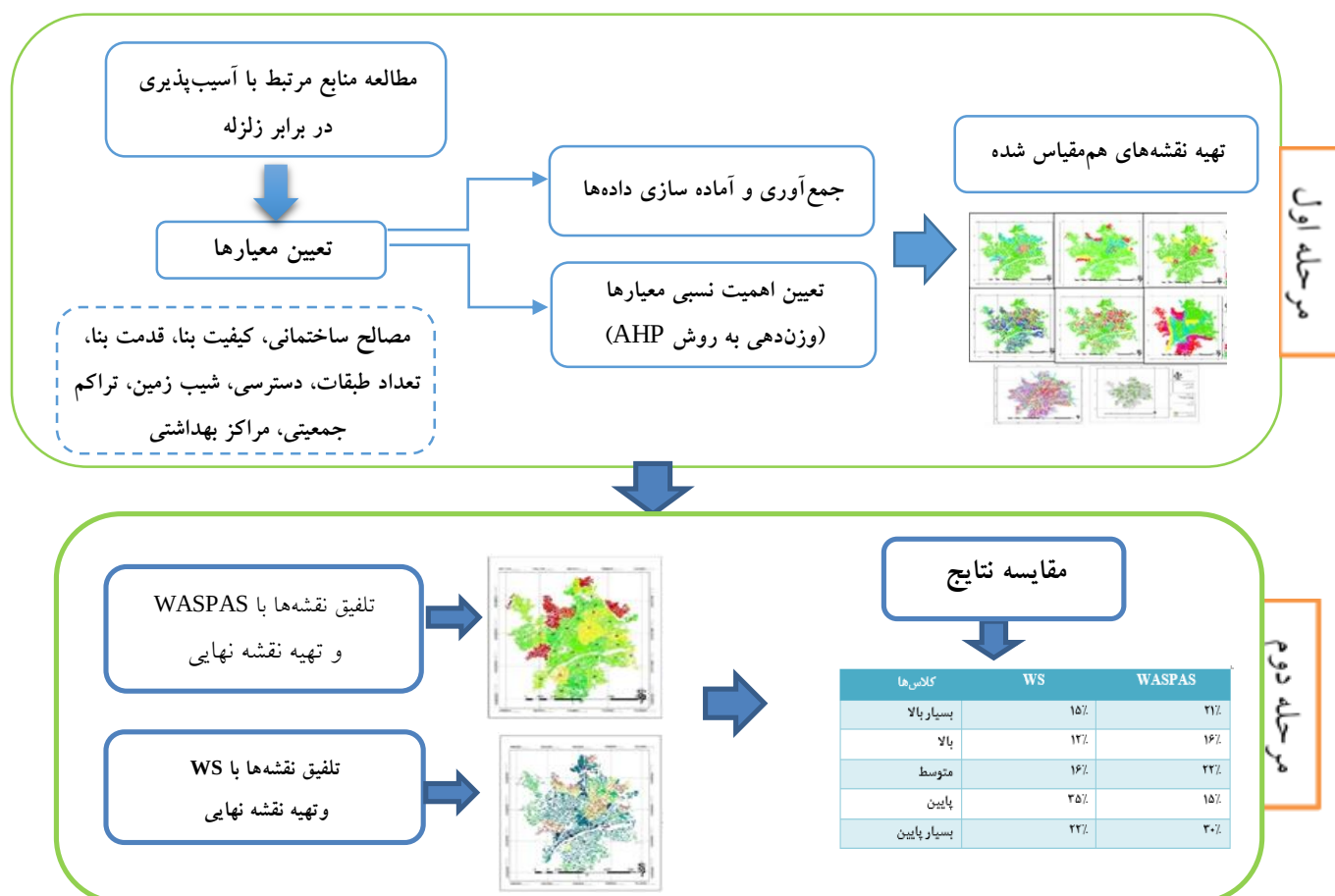
مراحل انجام پژوهش به‌صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

1 Yazdani

2 Weighted Sum

۳.۲. عوامل مؤثر و لایه‌های اطلاعاتی مربوط

در این پژوهش، پس از بررسی شرایط منطقه و داده‌های موجود، هشت معیار شامل نوع مصالح ساختمانی، کیفیت بناها، قدمت بناها، تعداد طبقات، تراکم جمعیتی، شیب زمین، دسترسی به معابر و نزدیکی به مراکز بهداشتی‌درمانی، به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شدند. جهت بررسی این عوامل در مدل تصمیم‌گیری، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط شامل نقشه معابر، توپوگرافی، موقعیت مراکز بهداشتی و همچنین نقشه بلوک شهری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ شهر ارومیه، تهیه شدند. این نقشه‌ها از شهرداری و اداره راه و شهرسازی اخذ شده بودند. سپس تمامی آنها با در نظر گرفتن بیضوی WGS 1984 و سیستم تصویر UTM زون ۳۸ شمالی آماده‌سازی شدند. در ادامه، اطلاعات توصیفی مربوط به مصالح ساختمانی، کیفیت بناها، قدمت بناها، تراکم جمعیتی و تعداد طبقات به لایه بلوک شهری اضافه شدند که این اطلاعات از طرح‌های تفصیلی، طرح جامع، طرح ساماندهی ویژه بافت‌های فرسوده شهر ارومیه و اطلاعات سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ به‌دست آمده بودند.



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق (ترسیم: نگارندگان)

۳. نتایج پژوهش و بحث

پس از مقایسه زوجی هشت معیار مورد بررسی در آسیب پذیری لرزه ای شهر ارومیه (جدول ۱)، وزن نسبی هر معیار با روش AHP به دست آمد که نتایج آنها در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به محاسبات انجام شده، نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ می باشد که کمتر از ۰/۱ و در نتیجه قابل قبول است.

جدول ۱- مقایسه زوجی معیارها (نگارندگان)

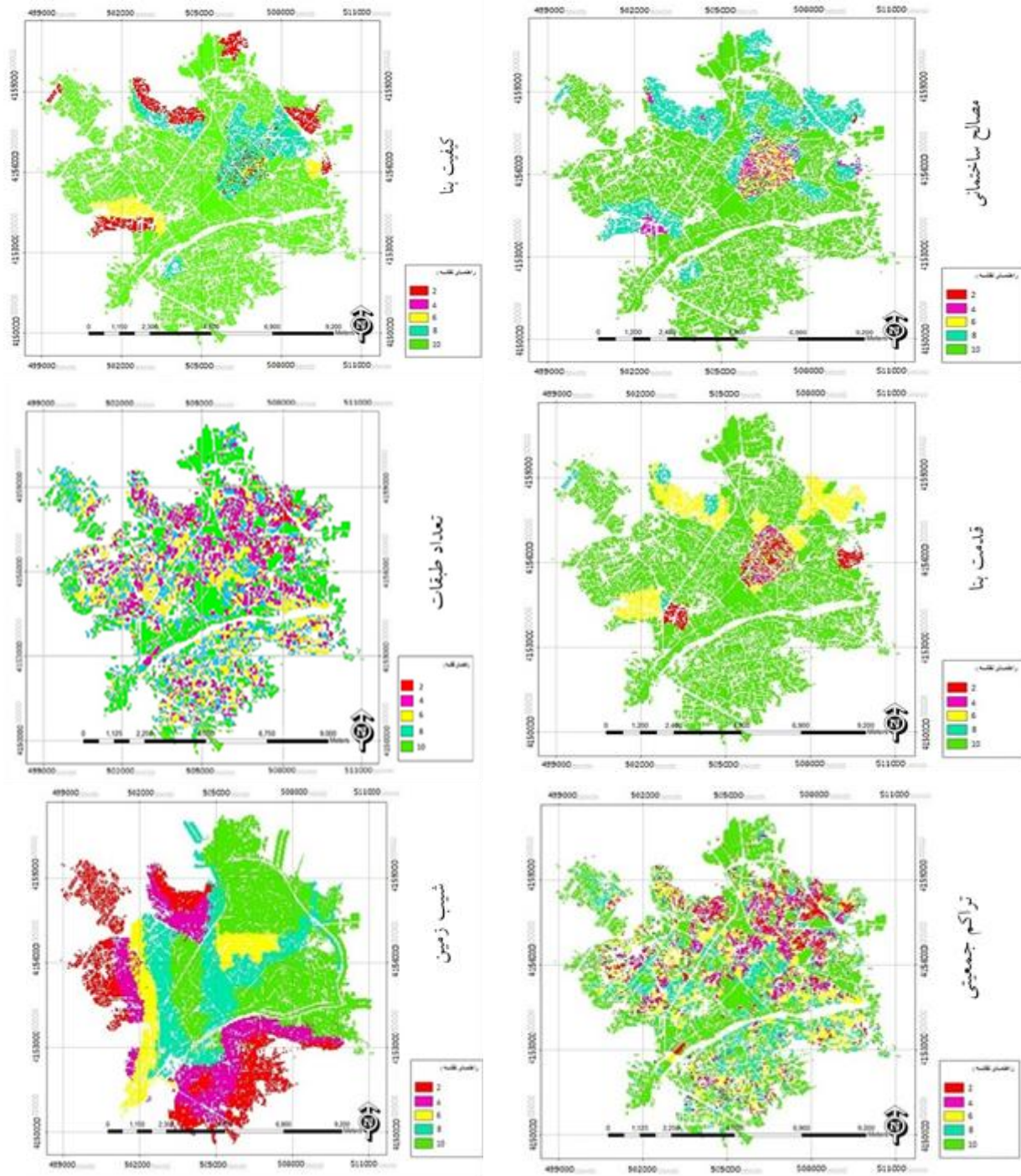
تعداد طبقات	تراکم جمعیتی	مراکز بهداشتی	شیب زمین	دسترسی	قدمت بناها	کیفیت بناها	مصالح ساختمانی	
۶	۸	۵	۷	۵	۳	۲	۱	مصالح ساختمانی
۷	۵	۶	۷	۶	۳	۱	۱/۲	کیفیت بناها
۷	۶	۴	۶	۵	۱	۱/۳	۱/۳	قدمت بناها
۵	۴	۲	۴	۱	۱/۵	۱/۶	۱/۵	دسترسی
۱	۴	۳	۱	۱/۴	۱/۶	۱/۷	۱/۷	شیب زمین
۵	۳	۱	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۵	مراکز بهداشتی
۳	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۱/۶	۱/۵	۱/۸	تراکم جمعیتی
۱	۱/۳	۱/۵	۱	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱/۶	تعداد طبقات

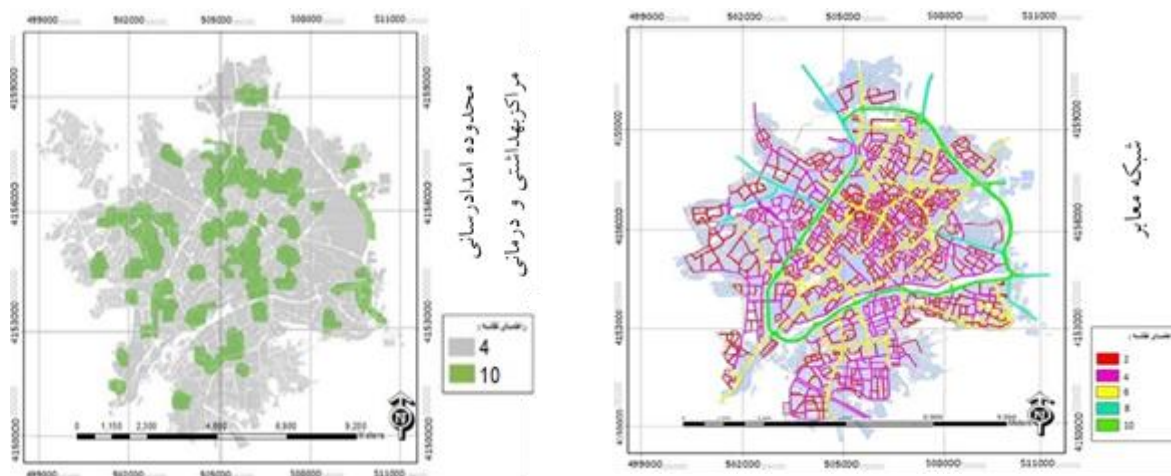
جدول ۲- وزن معیارهای آسیب پذیری شهری ارومیه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

(نگارندگان)

معیار	نوع مصالح ساختمانی	کیفیت بناها	قدمت بناها	تعداد طبقات	تراکم جمعیتی	شیب زمین	دسترسی به معابر	مراکز بهداشتی درمانی
وزن	۰/۲۳۴	۰/۳۴۲	۰/۱۸۷	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۰/۰۲۴	۰/۰۸۳	۰/۰۶۴

برای هریک از هشت معیار، یک نقشه فاکتور تهیه شده است که مقادیر موجود در آنها، با توجه به نوع معیارها، در بازه عددی ۱ تا ۱۰ قرار گرفته و هم مقیاس شده اند. بدترین وضعیت نشان دهنده عدد ۱ و بهترین وضعیت نشان دهنده عدد ۱۰ است (شکل ۳). برای تشکیل ماتریس تصمیم (گزینه ها و معیارها) در مدل WASPAS لازم است گزینه ها مشخص شوند. برای این منظور، براساس نقشه محلات شهر ارومیه، کل منطقه به ۳۹ پهنه تقسیم و هریک از آنها به عنوان یک گزینه در نظر گرفته شد. سپس مقدار هر معیار برای هر یک از این گزینه ها مشخص گردید. در ادامه، با استفاده از روابط ذکر شده برای مدل، محاسبات لازم در محیط نرم افزار متلب^۱ انجام گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.





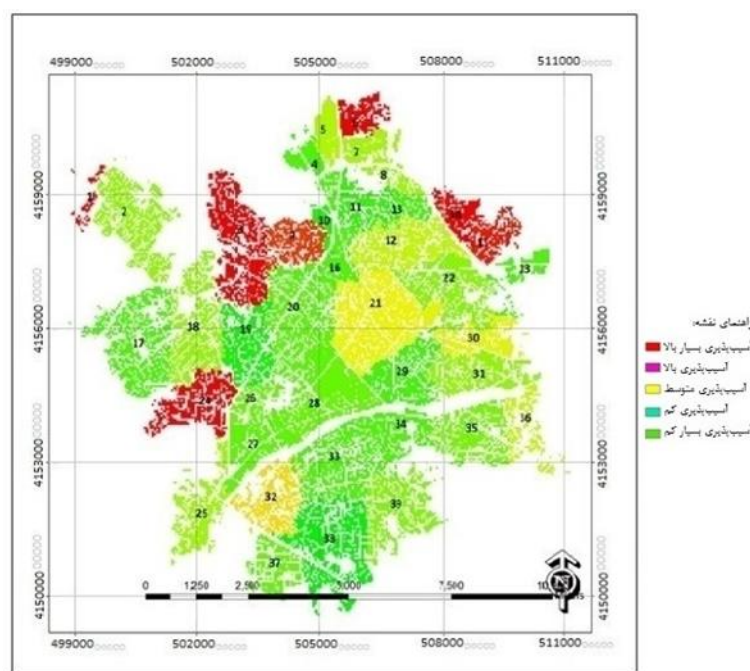
شکل ۳- نقشه‌های هم‌مقیاس شده مربوط به معیارها (ترسیم: نگارندگان)

جدول ۳- نتایج محاسبات بر اساس مدل WASPAS برای مناطق آسیب‌پذیر (نگارندگان)

گزینه‌ها	WSM	WPM	Q ₁	Q ₂	λ	Score
گزینه ۱	۰/۳۴۱۳۵	۰/۲۴۰۱۴۹	۰/۰۰۰۴۴۵	۳/۱۸e-۰۵	۰/۲۴۲	۰/۲۶۴
گزینه ۲	۰/۶۱۹۸	۰/۵۴۱۰۴۹	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۱۶۱	۰/۲۷۰	۰/۵۸۱
گزینه ۳	۰/۴۰۷	۰/۲۹۶۰۶۱	۰/۰۰۰۴۳۶	۴/۸۴e-۰۵	۰/۳۰۸	۰/۳۳۰
گزینه ۴	۰/۷۲۶۰۶۷	۰/۵۹۰۵۰۴	۰/۰۰۰۴۴۷	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۳۰۱	۰/۶۳۱
گزینه ۵	۰/۶۷۱۶	۰/۵۲۰۳۳۱	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۲۵۵	۰/۵۵۹
گزینه ۶	۰/۳۲۷۷۵۶	۰/۲۲۹۲۱۳	۰/۰۰۰۱۹۳	۲/۹e-۰۵	۰/۲۳۰	۰/۲۵۱
گزینه ۷	۰/۶۸۲۶	۰/۵۲۹۶۹۸	۰/۰۰۰۲۵۵	۰/۰۰۰۱۵۵	۰/۲۶۲	۰/۵۶۹
گزینه ۸	۰/۶۸۴۸	۰/۵۳۰۹۲۷	۰/۰۰۰۴۴۶	۰/۰۰۰۱۵۶	۰/۲۶۲	۰/۵۷۱
گزینه ۹	۰/۴۵۵۵۳۳	۰/۳۲۰۱۸۵	۰/۰۰۰۱۰۵	۵/۶۶e-۰۵	۰/۳۲۳	۰/۳۶۳
گزینه ۱۰	۰/۷۵۱۴۶۷	۰/۶۰۸۳۴۱	۰/۰۰۰۴۳۵	۰/۰۰۰۲۰۴	۰/۳۱۰	۰/۶۵۲
گزینه ۱۱	۰/۷۱۹	۰/۶۰۷۰۰۳	۰/۰۰۰۲۳۷	۰/۰۰۰۲۰۳	۰/۳۳	۰/۶۴۴
گزینه ۱۲	۰/۶۰۴۲	۰/۵۰۹۷۵۴	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۳۶۴	۰/۵۴۴
گزینه ۱۳	۰/۷۳۱	۰/۵۹۳۹۲۵	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۹۵	۰/۳۰۵	۰/۶۳۵
گزینه ۱۴	۰/۳۹۶۹۶۷	۰/۲۸۶۰۶۱	۰/۰۰۰۴۴۲	۴/۵۱e-۰۵	۰/۲۷۸	۰/۳۱۶
گزینه ۱۵	۰/۴۴۹۳۳۳	۰/۳۰۸۳۷	۰/۰۰۰۲۲۴	۵/۲۵e-۰۵	۰/۳۰۵	۰/۳۵۱
گزینه ۱۶	۰/۷۲۵۸	۰/۵۸۹۰۱۳	۰/۰۰۰۴۳۶	۰/۰۰۰۱۹۱	۰/۳۰۰	۰/۶۳۰
گزینه ۱۷	۰/۷۱۸۶	۰/۵۹۱۴۰۹	۰/۰۰۰۲۳۸	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۳۰۵	۰/۶۳۰
گزینه ۱۸	۰/۶۸۹۰۲۹	۰/۵۴۳۱۹۳	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۶۳	۰/۲۷۱	۰/۵۸۲
گزینه ۱۹	۰/۷۴۵۶۱	۰/۶۱۵۳۴۹	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۳۱۸	۰/۶۵۶
گزینه ۲۰	۰/۷۱۸۲۶۷	۰/۵۸۳۰۸۸	۰/۰۰۰۴۳۷	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۲۹۸	۰/۶۲۳

گزینه‌ها	WSM	WPM	Q ₁	Q ₂	λ	Score
گزینه ۲۱	۰/۵۲۶۲۷۱	۰/۴۹۵۵۳۷	۰/۰۰۰۴۳۵	۰/۰۰۰۱۳۵	۰/۴۱۲	۰/۵۰۸
گزینه ۲۲	۰/۶۳۷۶۶۷	۰/۵۵۹۸۳۵	۰/۰۰۰۴۳۸	۰/۰۰۰۱۷۳	۰/۴۰۳	۰/۵۹۱
گزینه ۲۳	۰/۷۲۸	۰/۵۹۱۰۱۴	۰/۰۰۰۴۴۳	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۳۰۱	۰/۶۳۲
گزینه ۲۴	۰/۳۶۷۸۹۵	۰/۲۶۰۲۰۹	۰/۰۰۰۴۳۷	۳/۷۴e-۰۵	۰/۲۶۲	۰/۲۸۸
گزینه ۲۵	۰/۶۸۱۴۲۹	۰/۵۳۲۸۶۹	۰/۰۰۰۴۴۵	۰/۰۰۰۱۵۷	۰/۲۶۴	۰/۵۷۲
گزینه ۲۶	۰/۶۴۶۱۳۳	۰/۵۸۶۹۳۶	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۱۹	۰/۴۴۵	۰/۶۱۳
گزینه ۲۷	۰/۷۱۶۰۶۷	۰/۵۸۱۷۳۸	۰/۰۰۰۴۳۶	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۲۹۷	۰/۶۲۱
گزینه ۲۸	۰/۷۰۹۴۶۷	۰/۵۷۶۵۷۲	۰/۰۰۰۴۴۷	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۲۹۳	۰/۶۱۵
گزینه ۲۹	۰/۷۲۶۵۳۳	۰/۶۰۰۹۴۴	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۹۹	۰/۳۱۰	۰/۶۳۹
گزینه ۳۰	۰/۵۶۹۲	۰/۴۸۷۷۷	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۰۰۰۱۳۱	۰/۳۶۹	۰/۵۱۷
گزینه ۳۱	۰/۶۸۴۵۳۳	۰/۵۴۲۴۴۱	۰/۰۰۰۲۵۵	۰/۰۰۰۱۶۲	۰/۲۷۱	۰/۵۱۸
گزینه ۳۲	۰/۵۳۷۸	۰/۴۵۳۵۳	۰/۰۰۰۴۴۶	۰/۰۰۰۱۱۳	۰/۳۲۳	۰/۴۸۰
گزینه ۳۳	۰/۷۲۰۴	۰/۵۹۱۳۷۲	۰/۰۰۰۱۰۵	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۳۰۴	۰/۶۳۰
گزینه ۳۴	۰/۷۱۷	۰/۵۹۵۱۸۹	۰/۰۰۰۴۳۵	۰/۰۰۰۱۹۵	۰/۳۰۷	۰/۶۳۲
گزینه ۳۵	۰/۷۰۳۲۷۶	۰/۵۶۶۵۹۶	۰/۰۰۰۲۳۷	۰/۰۰۰۱۷۷	۰/۲۸۸	۰/۶۰۵
گزینه ۳۶	۰/۶۶۵	۰/۵۰۴۷۰۲	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۴۱	۰/۲۴۴	۰/۵۴۳
گزینه ۳۷	۰/۷۱۰۵۳۳	۰/۵۷۶۹۰۱	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۰۰۰۱۸۴	۰/۲۹۵	۰/۶۱۶
گزینه ۳۸	۰/۷۳۶۲۶۷	۰/۶۲۱۸۵۴	۰/۰۰۰۴۴۲	۰/۰۰۰۲۱۳	۰/۳۲۴	۰/۶۵۹
گزینه ۳۹	۰/۶۹۷۶	۰/۵۵۴۸۲۲	۰/۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۱۷	۰/۲۸۰	۰/۵۹۴

پس از تعیین میزان خطر در هر پهنه با استفاده از مدل WASPAS، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله تهیه و به پنج کلاس آسیب‌پذیری بسیار بالا، آسیب‌پذیری بالا، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری پایین و آسیب‌پذیری بسیار پایین تقسیم گردید (شکل ۴). بر اساس نقشه به‌دست آمده با مدل WASPAS، ۲۱ درصد از مساحت شهر ارومیه در محدوده آسیب‌پذیری بسیار بالا در برابر زلزله قرار دارند. مساحت محدوده‌ها با آسیب‌پذیری بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین، به ترتیب برابر ۱۶، ۲۲، ۱۵ و ۲۶ درصد می‌باشد. اسامی مناطقی که در معرض آسیب جدی قرار دارند، به ترتیب شماره پهنه، در جدول ۴ ارائه شده‌اند.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش WASPAS (ترسیم: نگارندگان)

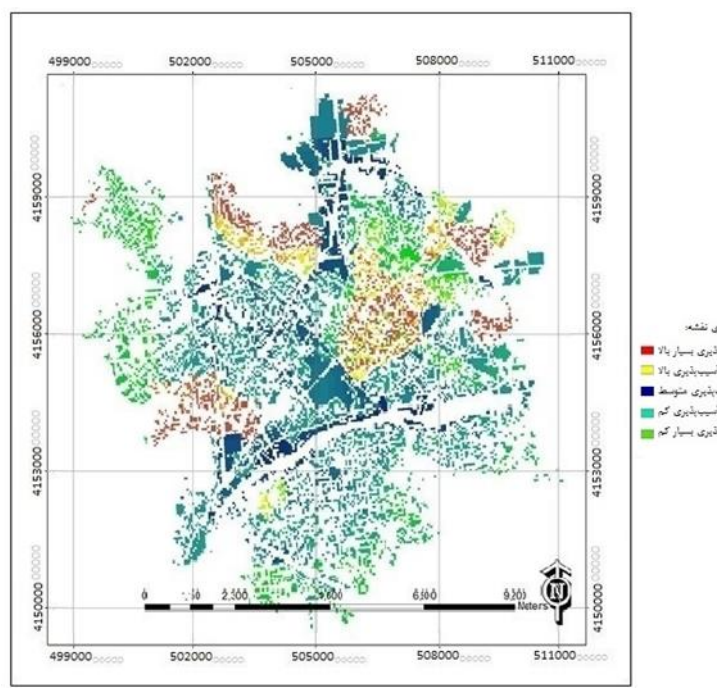
جدول ۴- مناطق در معرض آسیب جدی شهر ارومیه در برابر زلزله (نگارندگان)

شماره پهنه	نام محل	عامل (های) اصلی خطر	مساحت پهنه (کیلومتر مربع)
پهنه ۱	استاد شهریار	کیفیت بنا، شیب زمین	۰/۶۵
پهنه ۳	اسلام‌آباد ۱	کیفیت بنا، شیب زمین	۴/۱۹
پهنه ۶	محلوده بزرگراه شهدا	کیفیت بنا	۲/۷۵
پهنه ۹	کشتارگاه	کیفیت بنا، شیب زمین	۱/۶۴
پهنه ۱۴	وکیل‌آباد	قدمت بنا	۰/۷۲
پهنه ۱۵	اسلام‌آباد ۲	کیفیت بنا، قدمت بنا	۰/۹۵
پهنه ۲۴	طرزلیو	کیفیت بنا، قدمت بنا	۱/۹۶

نتایج حاکی از آن است که از بین ۳۹ پهنه شهری، ۷ پهنه شهری در ارومیه در معرض خطرپذیری بسیار بالا در هنگام بروز زلزله هستند و معیارهای کیفیت بناها، نوع مصالح ساختمانی و قدمت بناها در مقایسه با سایر عوامل نقش بیشتری در میزان حساسیت پهنه‌ها داشته‌اند.

چنانکه پیشتر اشاره شد، جهت مقایسه، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری با روش جمع وزنی نیز تهیه شد. در این روش هم از همان نقشه‌های هم‌مقیاس شده قبلی و وزن‌های به‌دست آمده از روش AHP استفاده شد. در این مرحله

نیز نقشه نهایی به پنج کلاس تقسیم شد که طبق آن مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا حدود ۱۵ درصد و مساحت محدوده‌ها با آسیب‌پذیری بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین، به ترتیب برابر ۱۲، ۱۶، ۳۵ و ۲۲ درصد می‌باشند (شکل ۵). بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی دو روش نشان می‌دهد که در اکثر مناطق دو روش نتایج مشابهی دارند. با اینحال برخی از محلات مانند بزرگراه شهدا که مربوط به پهنه شماره ۶ می‌باشد، در مدل WASPAS در طبقه آسیب‌پذیری بسیار بالا قرار گرفته در حالیکه در مدل WS به طبقه آسیب‌پذیری بالا تعلق دارد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش WS (ترسیم: نگارندگان)

۴. نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت محیط نسبت به وقوع بحران‌های احتمالی و انجام برنامه‌ریزی اصولی پیش از وقوع بحران، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت صحیح در هنگام وقوع بحران‌ها داشته باشد. زلزله از جمله سوانحی است که به سبب شرایط خاص جغرافیایی، کشور ما را دائماً مورد تهدید قرار می‌دهد. اغلب مناطق کشورمان در معرض خطر زلزله قرار دارند؛ لکن در داخل شهرها به دلیل بالاتر بودن تراکم جمعیتی، میزان آسیب‌پذیری و در نتیجه اثرات فاجعه بر شهروندان، در صورت وقوع زلزله، نیز بیشتر است. از این رو شناخت و تعیین میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

در این پژوهش به تهیه نقشه حساسیت مناطق مختلف شهر ارومیه در برابر وقوع زلزله و تعیین میزان آسیب پذیری هر یک از محلات در برابر زلزله، جهت کاهش میزان خسارات ناشی از این پدیده پرداخته شد. چنین اطلاعاتی می تواند هم در خصوص برنامه ریزی برای مقاوم سازی و هم در مدیریت بحران و اسکان اضطراری در صورت وقوع حادثه مفید واقع شود. به منظور تهیه نقشه پهنه بندی، اهمیت نسبی معیارهای مورد بررسی که شامل مصالح ساختمانی، کیفیت بناها، قدمت بناها، دسترسی به معابر، شیب زمین، تراکم جمعیتی، تعداد طبقات و نزدیکی به مراکز بهداشتی درمانی می باشند، با استفاده از روش پرکاربرد AHP شدند و در نهایت نقشه های پهنه بندی با استفاده از دو مدل WASPAS و WS ایجاد گردیدند و مورد مقایسه قرار گرفتند. طبق نتایج پژوهش صورت گرفته، کیفیت بناها و مصالح ساختمانی در مقایسه با سایر معیارها نقش مهم تری در میزان آسیب پذیری محلات مختلف شهر ارومیه داشته اند.

پس از تهیه نقشه های نهایی، کل منطقه مورد مطالعه بر اساس میزان حساسیت به پنج طبقه آسیب پذیری بسیار بالا، آسیب پذیری بالا، آسیب پذیری متوسط، آسیب پذیری پایین و آسیب پذیری بسیار پایین تقسیم گردید. بررسی نتایج مدل WASPAS نشان که حدود ۲۱ درصد از کل منطقه در طبقه مربوط به آسیب پذیری بسیار بالا قرار گرفته اند. در حالیکه طبق نتایج مدل WS، طبقه مربوط به آسیب پذیری بسیار بالا، حدود ۱۵ درصد از کل منطقه را پوشش می دهد. عبارتی مدل WASPAS محدوده بیشتری را برای این طبقه نسبت به مدل WS شناسایی کرده است.

با مشخص شدن مناطقی که میزان آسیب پذیری کمتری در هر دو روش داشته اند، می توان برنامه ریزی های مناسبی پیرامون مدیریت بحران انجام داد. به عنوان نمونه می توان برای پایگاه های چند منظوره مدیریت بحران، مراکز اسکان موقت و یا مراکز امداد رسان، مکان یابی نمود.

کتابنامه

- ابراهیم زاده، عیسی؛ کاشفی، دیمن؛ ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب پذیری محله های شهری در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر پیرانشهر. نشریه برنامه ریزی فضایی. دوره ۵. شماره ۱. ۱-۲۵.
- احدنژاد، محسن؛ زلفی، علی؛ نوروزی، محمدجواد؛ جلیلی، کریم؛ ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی (شهر خرمدره). فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس. دوره ۳. شماره ۷. ۸۱-۹۸.
- پورموسوی، سید موسی؛ شماعتی، علی؛ احدنژاد، محسن؛ ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای شهر با مدل فازی AHP و GIS مطالعه موردی منطقه ۳ شهرداری تهران. فصلنامه علمی و پژوهشی جغرافیا و توسعه. شماره ۳۴. ۱۱۷-۱۳۲.

- حاتمی نژاد، حسین؛ بذرافکن شهرام؛ ابراهیمی، محمد؛ ۱۳۹۳. تحلیل میزان آسیب‌پذیری مسکن شهری در مواقع بروز مخاطرات محیطی (زلزله) با استفاده تکنیک‌های تلفیقی MCDM و GIS مطالعه موردی: منطقه ۶ شهر تهران. نشریه جغرافیا و محیط پایدار. دوره ۴. شماره ۱۳. ۱-۱۱.
- حبیبی، کیومرث؛ جوانمردی، کومار؛ ۱۳۹۲. تحلیل ناپایداری بافت‌های شهری و پهنه بندی میزان آسیب پذیری در برابر زلزله با استفاده از GIS و AHP، نمونه موردی: بخشی از هسته مرکزی شهر سنندج. آرمانشهر. دوره ۶. شماره ۱۱. ۲۹۳-۳۰۵.
- حسینی خواه، حسین؛ ضرابی، اصغر. (۱۳۹۸). شناسایی پهنه‌های لرزه خیز شهر لیکک مرکز شهرستان بهمنی در استان کهگیلویه و بویراحمد. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. تابستان ۱۳۹۸ شماره ۲. ۱۴۷-۱۶۴.
- شکور، علی؛ ۱۳۹۴. مطالعه تطبیقی روش‌های چند شاخصه جهت اولویت بندی استقرار مراکز ICT مطالعه موردی بخش فورگ شهرستان داراب. مجله پژوهش و برنامه ریزی روستایی. سال ۴ و شماره ۴. ۲۱۱-۲۲۴.
- علوی، سید علی؛ حسینی، سید مصطفی؛ بهرامی، فریبا؛ عاشورلو، مهرباب؛ ۱۳۹۵. ارزیابی میزان آسیب پذیری بافت‌های شهری با استفاده از ANP و GIS (مطالعه موردی: شهر سمیرم). اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۵. شماره ۱۰۰. ۱۲۹-۱۴۶.
- طیبیان، منوچهر؛ مظفری، نگین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی در برابر زلزله و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری مطالعه موردی: منطقه شش شهرداری تهران. مطالعات شهری. ۲۷. ۹۳-۱۱۲.
- فرجی، امین؛ آروین، محمود؛ آتش افروز، نسرین؛ ۱۳۹۷. بررسی تاب‌آوری منطقه‌ای، شهرستان‌های استان خوزستان با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون. نشریه آمایش سرزمین تابستان ۱۳۹۷ دوره ۱۰ شماره ۱. ۱-۲۹.
- فلاح علی آبادی، سعید؛ گیوه چی، سعید؛ اسکندری، محمد؛ سرسنگی، علیرضا؛ ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب پذیری بافت تاریخی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مدیریت بحران. ۲(۱). ۵-۱۳.
- فلاحی، فرهاد؛ چاره جو، فرزین؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت فرسوده مرکزی شهر سنندج با ملاحظات پدافند غیرعامل. با استفاده از مدل IHWP و GIS. مطالعات ساختار و کارکرد شهری. دوره ۶. شماره ۲۱. ۸۵-۱۰۹.
- قنبری، ابولفضل؛ زلفی، علی؛ ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله با تاکید بر مدیریت بحران در شهر کاشمر. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات فضایی. سال اول. شماره چهارم. ۵۹-۷۴.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸). آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰).
- ملکی، سعید؛ مودت، الیاس؛ فیروزی، محمدعلی؛ ۱۳۹۳. ارزیابی و رتبه بندی آسیب پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله با مدل TOPSIS و GIS (نمونه موردی شهر یزد). برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۱۸. شماره ۳ (پیاپی ۸۵). ۹۹-۱۲۴.

نصیری، علی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله با استفاده از روش AHP پارامترهای در محیط GIS. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال شانزدهم. شماره ۴۰. ۹۰-۱۱۳.

نظم فر، حسین؛ علوی، سعیده؛ ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر شدت های مختلف زلزله مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران. سپهر. دوره ۲۷. شماره ۱۰۸. ۱۶۵ - ۱۸۱.

هاشمی، مهدی؛ آل شیخ، علی اصغر؛ ملک، محمدرضا؛ ۱۳۹۳. پهنه بندی آسیب پذیری زلزله به کمک GIS مطالعه موردی شهر تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۱۶. ۳۰۵-۳۱۳.

- Al-Dogom D, Schuckma K, Al-Ruzouq R. 2018. Geostatistical Seismic Analysis and Analysis Hazard Assessment, UNITED ARAB EMIRATES. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-3W4: 29-36.
- Alizadeh M, Ngah I, Hashim M, Pradhan B, Pour AB. 2018. A Hybrid Analytic Network Process and Artificial Neural Network (ANP-ANN) Model for Urban Earthquake Vulnerability Assessment. Remote Sensing 10: 975.
- Barbat A H, Carreño ML, Pujades LG, Lantada N, Cardona OD, Marulanda MC. 2010. Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area, Structure and Infrastructure Engineering 6:1-2: 17-38.
- Erden T, Karaman H. 2012. Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Kucukmece region, Natural Hazards and Earth System Sciences 12: 475-483.
- Jena R, Pradhan B, Beydoun G. 2020. Earthquake vulnerability assessment north Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model, International Journal of Disaster Risk Reduction (46): 1-28.
- Karimzadeh S, Miyajima M, Hassanzadeh R, Amiraslazadeh R, Kamel B. 2014. A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 66: 263-280.
- Moradi M, Delavar MR, Moshiri BA. 2017. GIS-based multi-criteria analysis model for earthquake vulnerability assessment using Choquet integral and game theory. Natural Hazards 87: 1377-1398.
- Ningthoujam MC, Nanda R P. 2018. A GIS System Integrated with Earthquake Vulnerability Assessment of RC Building. Structures 15: 329-340.
- Nyimbili PH, Erden T, Karaman H. 2018. Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. Natural Hazards 92: 1523-1546.
- Yariyan P, Avand M, Soltani F, Ghorbanzadeh O, Blaschke T. 2020. Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models, Symmetry 12(405): 1-31.
- Yazdani M, Zavadskas E, Ignatius J, Doval Abad M. 2016. Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material, Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics 27(4): 382-391.

Zavadskas E, K, Turskis Z, Antucheviene J, Zakareviciu A. 2012. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment, Electronical Engineering Electtronika IR Electrotechnica 122(6): 1392-1215.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۹۹-۱۲۳

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.67013.0>

مقاله پژوهشی

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فضاهای شهری با کاربریست تئوری کاتاستروف (مورد: شهر ورزقان)

پریچهر مصری علمداری^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

منصور خیری‌زاده آروق - دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۶

چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه یک چارچوب روش‌شناسی برای ارزیابی سریع و کارآمد آسیب‌پذیری فضاهای شهری نسبت به زلزله است. بسیاری از متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها از ماهیت مکانی برخوردار هستند؛ از این رو استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در ترکیب و یکپارچه نمودن این متغیرها می‌تواند به نتایج مطلوبی منجر شود. با این حال، یکی از مهم‌ترین مسائل روی هم‌گذاری لایه‌های داده در سیستم اطلاعات جغرافیایی مربوط به عدم قطعیت‌های وزن‌دهی و تصمیم‌گیری است. در پژوهش حاضر سعی شد که با استفاده از توابع تئوری کاتاستروف این‌گونه عدم قطعیت‌ها تا حد زیادی تعدیل شوند. در تئوری کاتاستروف، اهمیت هر یک از متغیرها از طریق مکانیسم درونی سیستم محاسبه می‌شود. درواقع، استفاده از رویکرد مذکور باعث تکرارپذیری نتایج مدل می‌گردد که مزیتی قابل توجه به شمار می‌رود. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان با استفاده از توابع تئوری کاتاستروف نشان می‌دهد که بالغ بر ۹ درصد از محدوده قانونی شهر در کلاس آسیب‌پذیری بسیار زیاد و ۱۲ درصد آن در کلاس آسیب‌پذیری زیاد واقع شده است. در این رابطه، بخش عمده‌ای از مرکز شهر ورزقان در برابر زلزله از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار است. تراکم بالای مسکونی و ساختمانی، کیفیت پایین ساختمان‌ها، قدمت بالا و مصالح نامطلوب بناها، محصورشدگی و کمبود فضاهای باز شهری، لیتولوژی و زیربنای سست، عدم دسترسی مطلوب به خدمات بیمارستانی و آتش‌نشانی و غیره منجر به افزایش آسیب‌پذیری این بخش از شهر شده است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، زلزله، تئوری کاتاستروف، GIS، شهر ورزقان.

۱- مقدمه

تخمین زده می‌شود که در طی دو دهه گذشته، بلایای طبیعی مسئول مرگ حدود سه میلیون نفر و آسیب دیدن ۸۰۰ میلیون نفر دیگر شده‌اند. مطابق برآورد دفتر هماهنگ‌کننده امدادرسانی سازمان ملل، بلایای طبیعی همه‌ساله بالغ بر ۳۰ الی ۵۰ میلیارد دلار ضرر و زیان اقتصادی را در کل دنیا باعث می‌گردند (سندرز و کلارک^۱، ۲۰۱۰: ۵) آمارهای مرتبط با بلایا (به‌عنوان مثال EM-DAT، ۲۰۰۸) نشان می‌دهند که اثرات بلایا در سطح جهان به‌شدت در حال افزایش است. بسیاری از این بلایا ناشی از رخداد‌های حدى ژئومورفولوژیکی هستند (آلکانتارا آیالا و گودی^۲، ۲۰۱۰: ۲۲۱). در این رابطه، زمین‌لرزه‌ها در زمره مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی در سطح جهان به‌شمار می‌روند که منجر به خسارت شدید کالبدی، اجتماعی و اقتصادی می‌شوند. قرارگیری شهرها در مناطق مستعد خطر، شهرنشینی و رشد جمعیت و افزایش اقدامات رفاهی از مهم‌ترین دلایل آسیب‌پذیری زیاد فضاهای شهری در برابر زمین‌لرزه‌ها است (دوزگان و همکاران^۳، ۲۰۱۱: ۹۱۸). پیش‌بینی مکان یا موقعیت دقیق، زمان، مدت و شدت زمین‌لرزه‌ها امکان‌پذیر نیست. با این حال، می‌توان خسارت‌های احتمالی را تخمین زد. نقشه‌های آسیب‌پذیری شهرها می‌تواند به برنامه‌ریزی مؤثر در پاسخ به سوانح کمک کند (مرادی^۴ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰۹).

ارزیابی تلفات و خسارت‌های مورد انتظار ناشی از رخداد‌های خطرناک مستلزم تحلیل فضایی است زیرا تمامی مؤلفه‌های ارزیابی ریسک در فضا و زمان تغییر می‌کنند؛ بنابراین ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک تنها زمانی می‌تواند به صورت مؤثر انجام شود که ابزارهایی مورد استفاده قرار گیرند که با اطلاعات فضایی از قبیل سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی سر و کار دارند (آلکانتارا آیالا و گودی^۲، ۲۰۱۰: ۲۲۱). در این رابطه، یکی از عمده‌ترین فعالیت‌ها در راستای کاهش خطرات ناشی از زمین‌لرزه و افزایش ایمنی عمومی، مطالعه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای مناطق شهری و روستایی است که بایستی در مقیاس مناسب و مطلوب صورت پذیرد. پهنه‌بندی لرزه‌ای در تعیین کاربری شهری، جابه‌جایی سازه‌های مهم و تأسیسات و شریان‌های حیاتی شهری، طراحی و اجرای سازه‌ها، مدیریت بحران در حین وقوع زمین‌لرزه و نظایر آن مورد استفاده قرار می‌گیرد (رحیمی شهید و رحیمی^۵، ۱۳۹۶: ۱۰۹-۱۱۸). در این راستا، محققان مختلف عمدتاً از ترکیب مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۶ (MCDM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته‌اند. در این زمینه می‌توان به قنبری و همکاران (۱۳۹۲)، نیری و همکاران (۱۳۹۵)، رضانی کیاسج‌محله و همکاران (۱۳۹۵)، فلاحی و اسدی (۱۳۹۵)، فاضل و همکاران (۱۳۹۶)، نوروزی طیولا و بینایی (۱۳۹۷)، طیبیان و مظفری (۱۳۹۷)، کرمی و امیریان (۱۳۹۷)، جعفرنیا و همکاران (۱۳۹۸)، خدادادی و همکاران (۱۳۹۹)، ارماس^۶

1 Sanders and Clark

2 Alcántara-Ayala and Goudie

3 Duzgan

4 Moradi

5 Multiple Criteria Decision Making

6 Armas

(۲۰۱۲)، راشد و ویک^۱ (۲۰۱۲)، مرادی و همکاران (۲۰۱۴)، سین‌ها^۲ و همکاران (۲۰۱۴)، ارماس و همکاران (۲۰۱۷) و ژنگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) اشاره نمود. در مدل‌سازی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای محاسبه اهمیت نسبی هر یک از معیارها از فرایند وزن‌دهی بهره گرفته می‌شود. در این زمینه، روش‌های وزن‌دهی مختلفی ارائه گردیده‌اند. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته روش‌های ذهنی^۴ و عینی^۵ گروه‌بندی نمود. در رویکردهای وزن‌دهی ذهن‌گرایانه، وزن هر یک از معیارها براساس دانش و قضاوت تصمیم‌گیران به‌دست می‌آید که تا حد زیادی سلیقه‌ای می‌باشند. در رویکردهای وزن‌دهی عینی، برای محاسبه وزن‌ها از مدل‌های ریاضیاتی بهره گرفته می‌شود. از روش‌های وزن‌دهی ذهن‌گرایانه می‌توان به ترکیب خطی وزنی (WLC)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تجمع وزنی (WAM)، مدل جمع وزنی (WSM)، و غیره اشاره نمود (احمد^۶ و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹). این روش‌ها اکثراً به دلیل ذهن‌گرایی و عدم قطعیت‌های ذاتی مورد انتقاد جدی قرار گرفته‌اند (سو^۷ و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۳۷-۷۴۶). با عطف به موارد مذکور، در این پژوهش به منظور حذف و یا کاهش عدم قطعیت‌های مرتبط با تصمیم‌گیری از توابع تئوری کاتاستروف جهت محاسبه میزان اهمیت معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها بهره گرفته شد. رویکرد ارزیابی مبتنی بر تئوری کاتاستروف مشتمل بر سلیقه و قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیران نیست؛ بلکه اهمیت یک معیار بر معیار دیگر را به‌واسطه مکانیسم درونی آن مورد محاسبه قرار می‌دهد و بدین ترتیب، ذهن‌گرایی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹). این رویکرد تمامی معیارها را یکپارچه ساخته و بر معایب مرتبط با ذهن‌گرایی و عدم قطعیت غلبه پیدا می‌کند (سو و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۳۷-۷۴۶). تئوری کاتاستروف، به عنوان یک تئوری ریاضیاتی، پدیده‌های ناپیوسته را بر اساس توپولوژی و تئوری پایداری ساختاری مورد مطالعه قرار می‌دهد (وانگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۵۶-۳۶۲). در طی سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه کاربری توابع تئوری کاتاستروف در موضوعات مختلف صورت گرفته است. تیان-ژون^۹ و همکاران (۲۰۰۹) به منظور پیش‌بینی انفجار زغال‌سنگ و گاز در معادن از این روش بهره گرفتند. این مدل توسط سو و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی وضعیت امنیت اکولوژیکی زمین در شانگهای چین به کار گرفته شد. خیاو-ژون^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۴) از تئوری کاتاستروف جهت ارزیابی امنیت آب و استراتژی سازگار در زمینه

1 Rashed & Week

2 Sinha

3 Zheng

4 Subjective

5 Objective

6 Ahmed

7 Su

8 Wang

9 Tian-jun

10 Xiao-jun

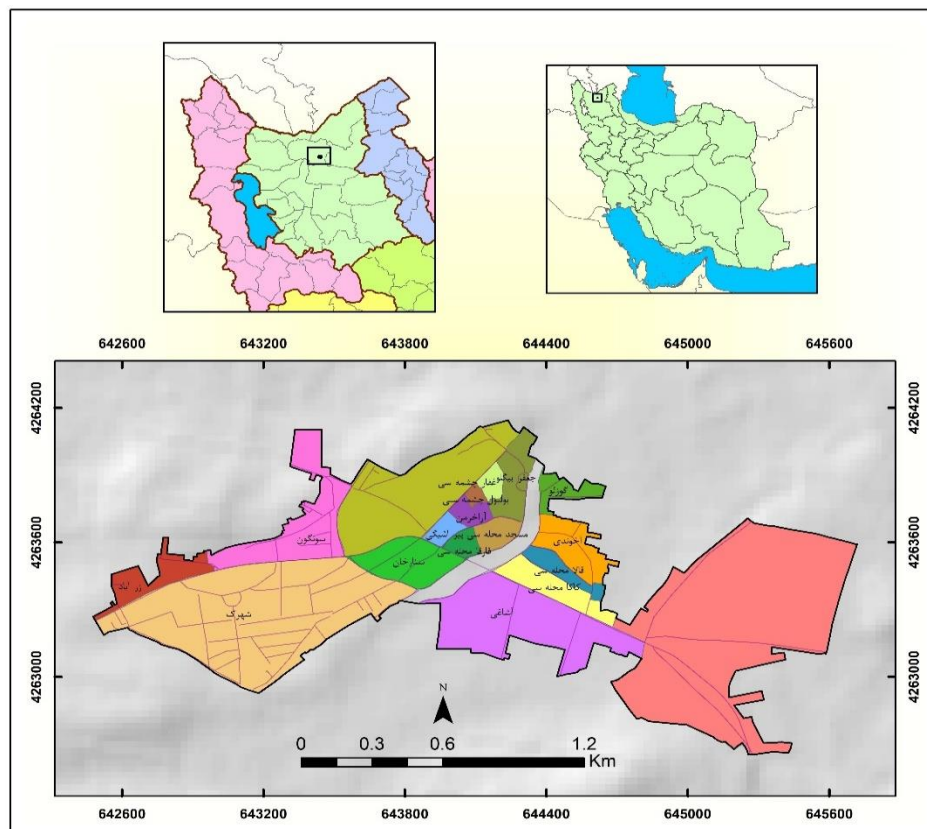
تغییرات محیطی استفاده به عمل آوردند. یو و ژانگ^۱ (۲۰۱۵) به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی نسبت به سیلاب‌ها در حوضه رودخانه هوای‌هی با روش مبتنی بر تئوری کاتاستروف پرداختند. احمد و همکاران (۲۰۱۵) برای ارزیابی پهنه‌های بالقوه آب زیرزمینی در منطقه خشک استان بلوچستان پاکستان از توابع تئوری کاتاستروف در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. همین رویکرد توسط صادق‌فام و همکاران (۲۰۱۶) برای ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت مراغه مورد استفاده قرار گرفت.

هدف پژوهش حاضر معرفی روش‌شناسی مبتنی بر توابع تئوری کاتاستروف به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه-ای شهرهاست. کاربست تئوری کاتاستروف مسائل مرتبط با عدم قطعیت‌های تصمیم‌گیری و کلاسه‌بندی داده‌ها را تا حد زیادی رفع می‌کند. رویکرد مذکور به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان به کار بسته شد. این شهر سابقه زمین‌لرزه نسبتاً شدید در سال‌ها اخیر را دارد. دو زمین‌لرزه پی در پی، اولی در ساعت ۱۶:۵۳ روز شنبه مورخ ۱۳۹۱/۵/۲۱ با بزرگای گشتاوری ۶/۴ در فاصله ۲۳ کیلومتری غرب اهر و دومی در ساعت ۱۷:۰۴ با بزرگای گشتاوری ۶/۳ در ۳۰ کیلومتری اهر و در حدود ۵۰ کیلومتری شمال شرق تبریز موجب تلفات جانی و خسارت مالی و هراس مردم در پهنه رومرکزی در استان آذربایجان شرقی شد. این زلزله‌ها با ژرفای کانونی حدود ۱۰ کیلومتر و سازوکار امتدادلغز بوده و موجب کشته شدن ۲۵۸ نفر و مجروح شدن ۱۳۸۰ نفر گردید. بیش‌ترین تلفات انسانی از روستاهای باجه‌باج، گوردره و دنبو و شهر ورزقان گزارش شده است (مهدوی‌فر و معماریان، ۱۳۹۱: ۲). در راستای اهداف پژوهش می‌توان سؤالاتی بدین شرح مطرح نمود: الف) آیا کاربست توابع تئوری کاتاستروف در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها از کارایی مطلوبی برخوردار است؟ و ب) وضعیت شهر ورزقان از نظر آسیب‌پذیری نسبت به وقوع زلزله چگونه است؟

۲- معرفی منطقه مطالعاتی

در پژوهش حاضر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان (مرکز شهرستان ورزقان) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این شهر با موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۷ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی در شمال استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). شهر ورزقان در ۴۰ کیلومتری غرب اهر و ۷۸ کیلومتری شمال تبریز واقع گردیده است. ارتفاع متوسط این شهر در حدود ۱۶۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این شهر در پایکوه‌های شمالی رشته‌کوه قره‌داغ واقع شده و به دره ساختمانی اهرچای ختم می‌شود. رودخانه ورزقان‌چای از مرکز شهر عبور کرده و این شهر را به دو نیمه غربی و شرقی تقسیم می‌کند. اراضی زراعی اطراف شهر، رودخانه و اراضی پرشیب را می‌توان جزو مهم‌ترین محدودیت‌های توسعه فضایی-کالبدی ورزقان برشمرد. جمعیت شهرستان ورزقان مطابق سرشماری سال ۱۳۹۵

(مرکز آمار کشور) بالغ بر ۵۲۶۵۰ نفر بوده که نسبت به سال ۱۳۹۰ رشدی در حدود ۲/۸۳ درصد را تجربه کرده است. از این تعداد بالغ بر ۵۳۴۸ نفر ساکن شهر ورزقان می‌باشند که نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهشى در حدود ۰/۱۴ درصدی را نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده مهاجرت برخی از اهالی شهر می‌باشد که حاکی از مشکلاتی بنیادین از قبیل ضعف زیرساخت‌ها، اشتغال، انزوای جغرافیایی و غیره در این شهر می‌باشد.



شکل ۱- قلمرو جغرافیایی شهر ورزقان (کارتوگرافی: نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان،

(۱۳۹۷)

۳- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کمی- کیفی یا ترکیبی است. همچنین رویکرد پژوهش توصیفی- تحلیلی بوده و از نظر هدف جزو پژوهش‌های کاربردی محسوب می‌گردد. متغیرهای متعددی بر میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها تأثیر می‌گذارند. در این پژوهش، شاخص‌های مورد استفاده به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان را می‌توان از سه جنبه مورد توجه قرار داد: الف) شاخص‌های سازه‌ای که شامل کیفیت بنا، عمر بنا، نوع مصالح بنا و تعداد طبقات می‌باشند؛ ب) شاخص‌های برنامه‌ریزی که در بستر موضوعاتی مانند توزیع فضایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی،

بیمارستان‌ها، دسترسی به فضاهای باز، تراکم مسکونی و فاصله از تأسیسات خطرزا مورد توجه قرار گرفتند؛ ج) شاخص‌های طبیعی که در این رابطه از دو متغیر شیب و لیتولوژی استفاده به عمل آمد. متغیر فاصله از گسل‌ها به دلیل فاصله تقریباً یکسان تمامی قسمت‌های شهر از گسل‌های منطقه و همچنین پوشیده بودن گسل‌های احتمالی مجاور شهر در پهنه‌بندی لحاظ نشد. درواقع، این متغیر به دلیل توزیع فضایی همگن از اهمیت یکسانی در مدل‌سازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر برخوردار است. برای آماده‌سازی و محاسبه شاخص‌های فوق‌الذکر از داده‌های طرح جامع شهر ورزقان (۱۳۹۸)، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۲۷ متر استفاده به عمل آمد.

به منظور ترکیب و یکپارچه نمودن شاخص‌ها یا متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان از توابع تئوری کاتاستروف بهره گرفته شد. این توابع، رابطه بین متغیر حالت (آسیب‌پذیری لرزه‌ای) و متغیرهای کنترل (کیفیت بنا، عمر بنا، فاصله از تأسیسات خطرزا و غیره) را مشخص می‌سازند. مشخصه اصلی این رویکرد، ارزیابی وزن‌های شاخص‌های مورد استفاده نیست بلکه اهمیت نسبی آن‌ها مورد توجه می‌باشد (تیان ژون و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۳۰-۴۳۴). در تئوری کاتاستروف، متغیرهای تابع^۱ سیستم به متغیرهای حالت وابسته^۲ و متغیرهای کنترل^۳ تفکیک می‌شوند. متغیرهای حالت وابسته، متغیرهای درونی سیستم می‌باشند و متغیرهای کنترل، فاکتورهای مؤثر خارجی حین اجرای سیستم هستند (خیائو-ژون و همکاران، ۲۰۱۴: ۶۶۳-۶۷۷). به‌عنوان مثال، در پژوهش حاضر، آسیب‌پذیری لرزه‌ای متغیر حالت یا پاسخ و کیفیت بنا، عمر بنا و ... متغیرهای کنترل به شمار می‌روند. وابستگی متغیرهای حالت بر متغیرهای کنترل توسط توابع عضویت فازی کاتاستروفیک- و نه وزن‌های تخصیص یافته توسط کاربران- تعیین می‌شود. در این رابطه، هفت مدل کاتاستروف وجود دارد که عبارتند از: کاتاستروف فولد^۴، کاتاستروف کاسپ^۵، کاتاستروف دم فاخته‌ای^۶، کاتاستروف پروانه‌ای^۷، کاتاستروف دم‌چلچله‌ای^۸، کاتاستروف هایپربولیک اومبیلیک^۹ و کاتاستروف پارابولا اومبیلیک^{۱۰} (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۵۶-۳۶۲). این مدل‌ها در جدول (۱) ارائه گردیده‌اند. در این جدول، x نشان‌دهنده متغیر حالت و a، b، c، d نشان‌دهنده متغیر کنترل می‌باشند.

1 Function variables

2 Dependent state variables

3 Control variables

4 Fold catastrophe

5 Cusp catastrophe

6 Dovetail catastrophe

7 Butterfly catastrophe

8 swallowtail catastrophe

9 hyperbolic umbilical catastrophe

10 parabola umbilical catastrophe

جدول ۱- هفت نوع مدل کاتاستروف

مدل کاتاستروف	پارامترهای کنترل	متغیرهای حالت	تابع پتانسیل
فولد	۱	۱	$V_a(x) = 1/3x^3 + ax$
کاسپ	۲	۱	$V_{ab}(x) = 1/4x^4 + 1/2ax^2 + bx$
دم فاخته‌ای	۳	۱	$V_{abc}(x) = 1/5x^5 + 1/3ax^3 + 1/2bx^2 + cx$
پروانه‌ای	۴	۱	$V_{abcd}(x) = 1/6x^5 + 1/4ax^4 + 1/3bx^3 + 1/2cx^2 + dx$
دم چلچله‌ای	۳	۲	$V_{abc}(x, y) = x^3 - xy^2 + a(x^2 + y^2) + bx + cy$
الیتیک اومیلیک	۳	۲	$V_{abc}(x, y) = x^3 - xy^2 + a(x^2 + y^2) + bx + cy$
پارابولیک اومیلیک	۴	۲	$V_{abc}(x, y) = x^2y + y^4 + ax^2 + by^2 + cx + dy$

منبع: (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹؛ خیائو- ژون و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۳-۶۷)

تئوری کاتاستروف جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان در طی مراحل بدین شرح به کار بسته شد: انتخاب شاخص‌ها، نرمالیزه کردن شاخص‌ها، تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تئوری کاتاستروف و ارزیابی آسیب‌پذیری. مراحل مذکور جهت حفظ پیوستگی مطالب در یافته‌های پژوهش ارائه شده‌اند. خاطر نشان می‌شود که مدل - سازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت پذیرفت.

۴- یافته‌ها

۴-۱- ایجاد سیستم شاخص

جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شهر ورزقان نسبت به مخاطره زلزله با استفاده از توابع تئوری کاتاستروف، سیستم شهر به تعدادی زیرسیستم تقسیم‌بندی شد. هر کدام از این زیرسیستم‌ها شامل تعدادی از شاخص‌های ارزیابی می‌باشند. در ادامه، توزیع فضایی این شاخص‌ها در سطح شهر ورزقان به‌اختصار تبیین می‌شوند.

کاربری اراضی: در پژوهش حاضر، لایه کاربری اراضی (شکل ۲) به منظور ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ورزقان وارد مدل شد. در این رابطه، کاربری‌های اراضی شهر مطالعاتی از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای به پنج کلاس از آسیب‌پذیری بسیار کم تا آسیب‌پذیری بسیار زیاد طبقه‌بندی شد (جدول ۳). کاربری‌های مسکونی، آموزشی و تجاری به دلیل تراکم بالای جمعیتی جزو آسیب‌پذیرترین کاربری‌های شهری محسوب شدند. کاربری مسکونی با حدود ۱۸ درصد (بالغ بر ۳۶ هکتار) سهم قابل توجهی از مساحت شهر ورزقان را به خود اختصاص داده است. این کاربری با

عطف به جمعیت ساکن آن در زمره آسیب‌پذیرترین کاربری‌ها در شرایط بحرانی و اضطراب، به‌ویژه زلزله‌ای شدید با حجم بالای تخریب و ویرانی، به شمار می‌رود.

تراکم مسکونی: تراکم مسکونی به عنوان نسبت مساحت کاربری‌های مسکونی به مساحت منطقه تعریف می‌شود. در پژوهش حاضر این معیار به عنوان جایگزین معیار تراکم جمعیت به کار گرفته شد (به دلیل عدم دسترسی به داده‌های جمعیتی بلوک‌های شهری). در حالت تطبیقی، تراکم مسکونی بالا نشان‌دهنده جمعیت بیشتر و آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیشتر می‌باشد. در شکل (۳) تراکم مسکونی در سطح محلات شهر ورزقان ارائه شده است. سه محله بولبول چشمه‌سی، قالامحله‌سی و آخوندی با تراکم مسکونی بیش از ۰/۶ دارای بالاترین میزان تراکم مسکونی هستند. این محلات در هسته اولیه یا مرکزی شهر واقع شده‌اند. مقادیر بالاتر این شاخص دلالت بر حجم بالای ساخت و ساز در محله است و در نقطه مقابل، مقادیر پایین تا حدودی بیانگر وجود اراضی باز و خالی از قبیل اراضی کشاورزی، بایر و فضای سبز در سطح محله می‌باشد. در حالت تطبیقی، محلاتی از شهر ورزقان که دارای تراکم مسکونی بالایی می‌باشند به دلیل محدودیت فضا، محصورشدگی، احتمال تخریب زیاد و عدم دسترسی مطلوب جزو آسیب‌پذیرترین محلات شهر محسوب می‌شوند.

دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی: از میان کاربری‌ها و خدمات موجود در شهر، ایستگاه‌های آتش‌نشانی علاوه بر اینکه به عنوان مراکز اصلی اطفای حریق عمل می‌کنند، همواره از مراکز مهم امداد و نجات در سایر سوانح نظیر زلزله، سیل، آب‌گرفتگی معابر و ... به حساب می‌آیند (فلاح علی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۲). در پژوهش حاضر، نزدیکی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی به دلیل امکانات خدمات‌رسانی سریع‌تر این کاربری در موقع حوادث غیرمترقبه مزیتی مهم محسوب شده و در نتیجه، مناطق مجاور ایستگاه‌های آتش‌نشانی به عنوان نواحی با آسیب‌پذیری کم در نظر گرفته شده و با فاصله گرفتن از این مراکز آسیب‌پذیری نیز روند افزایشی پیدا می‌کند. در شهر ورزقان تنها یک ایستگاه آتش‌نشانی وجود دارد (شکل ۴). این ایستگاه در جنوب غرب شهر (محله شهرک) استقرار یافته است. براساس فاصله استاندارد ۱۰۰۰ متری (پورمحمدی، ۱۳۸۲: ۷۸)، تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در سطح شهر ورزقان مطلوب نبوده و فاصله زیادی از استانداردهای موجود دارد. کمبود ایستگاه‌های آتش‌نشانی مخصوصاً در محلات مرکزی- با تراکم بالای مسکونی و ساختمانی- از نمود بیشتری برخوردار است.

دسترسی به بیمارستان‌ها: از جمله محورهای برنامه‌ریزی و اقدام در مواجهه با پدیده زلزله، ارائه خدمات سلامت کارا و اثربخش به زلزله‌زدگان می‌باشد. در قلب هر برنامه عرضه خدمات سلامت، بیمارستان‌ها دارای جایگاه ویژه‌ای می‌باشند (سیدین و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۶). در این رابطه، شهر ورزقان دارای یک بیمارستان در شرق شهر می‌باشد. می‌توان گفت که قسمت‌های میانی و غربی شهر در شعاع عملکردی مناسب بیمارستان شهر واقع نشده‌اند. در

پژوهش حاضر، معیار دسترسی به بیمارستان‌ها تحت عنوان لایه شعاع عملکردی بیمارستان‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان به کار بسته شد (شکل ۵).

مجاورت با تأسیسات خطرزا: تأسیسات خطرزا تأسیساتی هستند که در ارتباط با مواد خطرناک می‌باشند. این تأسیسات می‌توانند به مخاطرات ثانویه‌ای از قبیل آتش‌سوزی و انفجار منجر گردند. استقرار و مکان‌گزینی کاربری‌هایی با پتانسیل بالای آسیب‌رسانی در مجاورت با کاربری‌های دیگر باعث افزایش آسیب‌پذیری می‌شود. به همین دلیل انتقال این نوع تأسیسات خطرزا به خارج از محدوده شهر یا تخصیص حریم مناسب برای آن‌ها، می‌تواند راه‌کار مطلوب به منظور کاهش آسیب‌رسانی آن‌ها به شمار آید (جایکا، ۱۳۸۰: ۹۷). در شکل (۶) توزیع فضایی تأسیسات خطرزا در محدوده شهر ورزقان ارائه شده است. این تأسیسات شامل پمپ‌بنزین‌ها، ایستگاه‌های CNG، پست برق قوی و پست تقلیل فشار گاز می‌باشند. این تأسیسات، مواد قابل اشتعال و خطرناکی مانند بنزین و گاز را در خود ذخیره می‌کنند. به هنگام رخداد زلزله احتمال ترکیدگی یا انفجار و آتش‌سوزی این گونه تأسیسات بالاست؛ بنابراین این تأسیسات علاوه بر اینکه نسبت به مخاطره زلزله آسیب‌پذیر هستند می‌توانند باعث آسیب‌رسانی به کاربری‌های مجاور خود نیز بشوند. به همین دلیل در حالت تطبیقی مناطق مجاور یا نزدیک این تأسیسات از آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله برخوردار می‌باشند. آسیب‌رسانی این تأسیسات تحت عنوان لایه فاصله از تأسیسات خطرزا در ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ورزقان دخالت داده شد (شکل ۶).

دسترسی به فضاهای باز عمومی: فضاهای باز نقش مهمی در کاهش وسعت میزان عمل و نتایج اکثريت حوادث طبیعی و مصنوعی دارد (ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۵). همان‌گونه که نقشه فضاهای باز و دسترسی به این فضاها در محدوده شهر ورزقان (شکل ۷) نشان می‌دهد این فضاها در حاشیه‌های شهر دارای وسعت قابل توجهی هستند. این در حالی است که قسمت‌های مرکزی شهر، مخصوصاً محلات مسجد محله‌سی، آخوندی، قالامحله‌سی، بولبول چشمه‌سی، غفارچشمه‌سی و قارقا محله‌سی، از محدودیت شدیدی در رابطه با دسترسی به فضاهای باز شهری برخوردار می‌باشند. این امر به دلیل تراکم بالای ساختمانی و مسکونی و کمبود فضاهای سبز و سایر کاربری‌های مربوطه در قسمت‌های مرکزی شهر می‌باشد. این محلات به دلیل فقدان فضاهای باز و سبز شهری و همچنین تراکم بالای ساختمانی از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به خطر وقوع زلزله برخوردار می‌باشند.

کیفیت ساختمان: کیفیت بنا یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌باشد؛ بنابراین، این شاخص در ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ورزقان مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۸). بر اساس محاسبات صورت گرفته، بالغ بر ۳۳/۳ درصد ساختمان‌ها و بناهای شهر ورزقان از نظر کیفیت جزو ساختمان‌های نوساز می‌باشند. همچنین در حدود ۷ درصد ساختمان‌ها در گروه ساختمان‌های در حال ساخت جای می‌گیرند. ساختمان‌های مذکور در حالت تطبیقی از کم‌ترین میزان آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله برخوردار هستند. در حدود ۵۳/۱ درصد ساختمان‌های

شهر ورزقان در طبقه کیفیتی قابل نگهداری و ۵/۸ درصد در طبقه کیفیتی مرمتی قرار دارند که از آسیب‌پذیری متوسطی نسبت به مخاطره زلزله برخوردارند. در نهایت تقریباً ۰/۹ درصد از ساختمان‌ها در گروه ساختمان‌های تخریبی قرار دارند که نسبت به مخاطره زلزله به شدت آسیب‌پذیر می‌باشند؛ بنابراین از نظر این شاخص، بخش قابل‌توجهی از ساختمان‌ها و بناهای موجود در شهر ورزقان در گروه آسیب‌پذیری متوسط تا بالا جای می‌گیرند. در حالت کلی، هسته اولیه شهر از نظر کیفیت ساختمان‌ها در وضعیت مطلوبی قرار ندارد.

نوع سازه و مصالح ساختمان: مصالح ساختمانی جزو معیارهای مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله به شمار می‌رود. در این رابطه، بخش قابل‌توجهی از ساختمان‌های شهر ورزقان (با درصد فراوانی حدود ۵۷/۵ درصد) با استفاده از مصالح آجر و آهن ساخته شده‌اند (شکل ۹). این مصالح از آسیب‌پذیری متوسطی نسبت به زلزله برخوردارند. بالغ بر ۲۳/۸ درصد ساختمان‌ها دارای اسکلت بتنی و ۱۰/۹ درصد ساختمان‌ها نیز دارای اسکلت فلزی می‌باشند. این ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایینی نسبت به سایر مصالح برخوردارند. در حدود ۴/۶ درصد ساختمان‌ها از آجر و چوب، در حدود ۰/۲ ساختمان‌ها از بلوک و آهن، ۰/۰۵ درصد از بلوک و چوب، ۱/۲ درصد از خشت و چوب و ۱/۸ درصد از سنگ ساخته شده‌اند. تمامی این ساختمان‌ها با تفاوت‌هایی از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به مخاطره زلزله برخوردار هستند.

قدمت ساختمان: در شرایط برابر بدیهی است که هرچه عمر ساختمان بیشتر باشد مقاومت ساختمان‌ها در برابر تکانه‌های زمین‌لرزه کاهش پیدا کرده و میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. در این رابطه، بالغ بر ۲۷/۸ درصد ساختمان‌ها و بناهای شهر ورزقان دارای عمری کمتر از ۵ سال می‌باشند که در حالت تطبیقی از پایین‌ترین آسیب‌پذیری در برابر زلزله برخوردارند. در حدود ۲۱/۸ درصد ساختمان‌ها دارای عمری بین ۵ تا ۱۵ سال می‌باشند. همچنین، بالغ بر ۳۹/۴ درصد ساختمان‌ها دارای عمری بین ۱۵ تا ۳۰ سال و در حدود ۱۰/۹ درصد نیز دارای عمر بیش از ۳۰ سال می‌باشند (شکل ۱۰). این ساختمان‌ها به علت قدمت زیاد از آسیب‌پذیرترین ساختمان‌های شهر در برابر زلزله می‌باشند. از طرف دیگر، اغلب این ساختمان‌ها علاوه بر عمر زیاد از کیفیت پایینی نیز برخوردارند که آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن‌ها را مضاعف می‌نماید.

تعداد طبقات ساختمان‌ها: هر چه تعداد طبقات ساختمان بیشتر باشد احتمال آسیب‌پذیری آن در برابر زلزله بیشتر خواهد بود؛ چراکه ارتفاع ساختمان، رفتار ساختمان‌ها را در طول وقوع یک زلزله متأثر می‌کند. در این رابطه، اکثر ساختمان‌های شهر ورزقان شامل ساختمان‌های یک طبقه می‌باشند (شکل ۱۱). در واقع، بالغ بر ۷۸/۷ درصد ساختمان‌های شهر ورزقان یک طبقه، ۱۳/۹ درصد ساختمان‌های ۲ طبقه، ۷/۴ درصد ساختمان‌های ۳ طبقه و ۰/۰۵ درصد ساختمان‌های ۵ طبقه می‌باشند. ساختمان ۴ طبقه‌ای نیز در این شهر وجود ندارد. ساختمان‌های یک طبقه اکثراً

در هسته مرکزی (اولیه) شهر ساخته شده‌اند و عمده ساختمان‌های بلند مرتبه نیز در مناطق جدیدالتاسیس پراکنده گردیده‌اند.

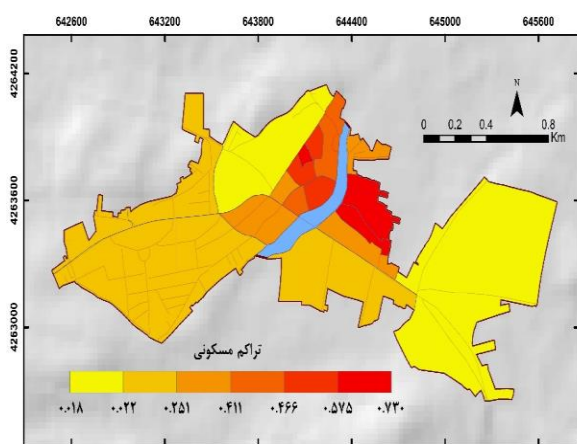
وضعیت لیتولوژیکی شهر: مواد تشکیل دهنده زمین از قبیل سنگ بستر، ماسه، شن، سیلت و گل و لای نسبت به امواج زلزله دارای واکنش‌های متفاوتی هستند؛ به عنوان نمونه احتمال دارد که میزان تکانه و لرزش در رسوبات منفصل بسیار شدیدتر از سنگ بستر باشد (کلر و پیتر^۱، ۱۹۹۶: ۲۱)؛ بنابراین، هر چه سازندهای زمین‌شناسی سخت‌تر و مقاوم‌تر باشد به کاهش توان موج لرزه‌ای و ازاین‌رو تضعیف قدرت تخریبی زلزله منجر می‌گردد (کوبورن و اسپنس^۲، ۲۰۰۳: ۵۴۱-۵۵۲). شهر ورزقان بر روی چهار واحد زمین‌شناسی توسعه یافته است (شکل ۱۲) که به ترتیب آسیب‌پذیری عبارتند از: واحد Qt2 که متشکل از نهشته‌های آبرفتی جوان بوده و ترکیبی از قلوه‌سنگ، ماسه، سیلت و رس می‌باشد. این واحد به دلیل منفصل بودن و مقاومت پایین جزو آسیب‌پذیرترین واحدهای سنگ‌شناختی در مقابل تکانه‌ها و ارتعاشات زمین‌لرزه محسوب می‌شود و در نتیجه به دلیل تشدید ارتعاشات، بناها و ساختمان‌های مستقر بر روی این واحد از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشند. این واحد در حدود ۱۹ درصد از محدوده شهر ورزقان را پوشش می‌دهد که عمدتاً در قسمت‌های میانی شهر رخنمون یافته‌اند. واحد Qt1 دومین واحد زمین‌شناسی در محدوده شهر ورزقان است که شامل آبرفت‌های کواترنری قدیمی می‌باشد و در برخی از موارد همراه با کنگلومرا بوده و به صورت محلی سیمانی شده‌اند. این واحد در حدود ۹ درصد از محدوده شهر را پوشش می‌دهد و از نظر آسیب‌پذیری در مرتبه دوم قرار می‌گیرد. واحد PIQC وسیع‌ترین واحد زمین‌شناسی در محدوده شهر ورزقان محسوب می‌شود و بالغ بر ۴۷ درصد از سطح شهر را پوشش می‌دهد. این واحد شامل کنگلومرا، سیلت و مارن می‌باشد و به طور عمده در قسمت‌های غربی شهر رخنمون یافته است. این واحد هر چند در مقایسه با آبرفت‌های جوان و قدیمی کواترنری از مقاومت و استحکام بالاتری برخوردار است اما به دلیل سیمان سست از مقاومت بالایی در برابر ارتعاشات و تکانه‌های زمین‌لرزه برخوردار نمی‌باشد. در نهایت، واحد PIQV در حدود ۲۵ درصد از سطح شهر ورزقان را دربرمی‌گیرد و شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی، مارن، سیلت و ایگنمبریت می‌باشد. این سازند در مقایسه با سایر سازندهای رخنمون یافته در سطح شهر ورزقان از مقاومت بالاتری در برابر تکانه‌های زلزله برخوردار است.

شیب: در حالت کلی، هر چه شیب سطح زمین افزایش پیدا کند میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله نیز بیشتر می‌شود (احدنژاد روشتی و جلیل پور، ۱۳۹۲: ۳۷). در پژوهش حاضر، شیب منطقه مطالعاتی از روی تصویر DEM منطقه با قدرت تفکیک ۲۷ متر تهیه شد. میانگین شیب در محدوده قانونی شهر ورزقان در حدود ۴ درصد است. پراکندگی سطوح شیب در سطح شهر ورزقان از وضعیت ناهمواری‌ها و ژئومورفولوژی منطقه تبعیت می‌نماید.

1 Keller and Pinter

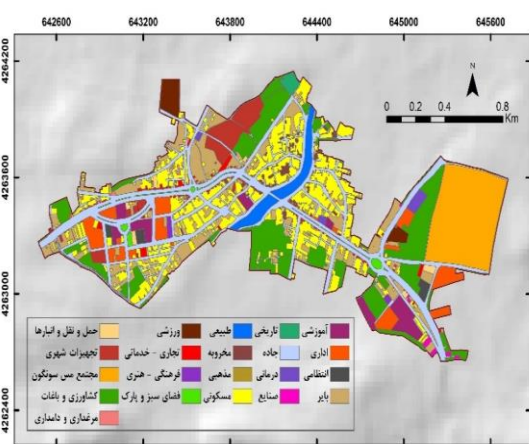
2 Coburn and Spence

جهات عمومی شیب در سطح شهر به تبعیت از روند ناهمواری‌ها و جهت حرکت رواناب‌های سطحی دارای جهات عمومی شمال به جنوب است. محدوده شهر ورزقان عمدتاً شامل اراضی هموار و کم شیب است (شکل ۱۳). درواقع، هسته اولیه شهر ورزقان بر روی اراضی هموار (با شیب کمتر از ۳ درصد) مکان‌گزینی شده است. با وجود این، روند توسعه شهر در جهات شرقی و غربی در طی سال‌های اخیر موجب شده است که قسمت‌هایی از شهر دارای شیب‌های نسبتاً تندی باشند که این امر باعث افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر می‌شود.



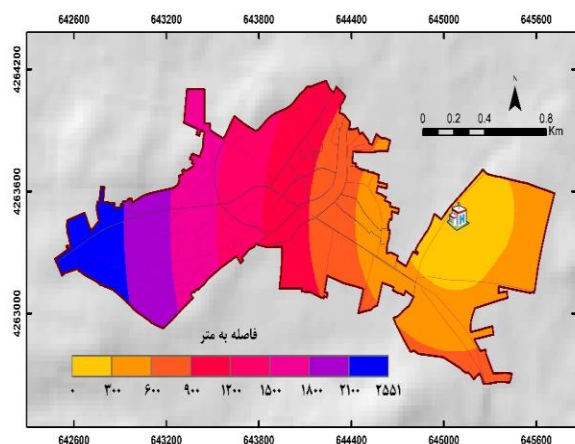
شکل ۳- تراکم مسکونی محلات شهر ورزقان (منبع:

محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر
ورزقان، ۱۳۹۷)



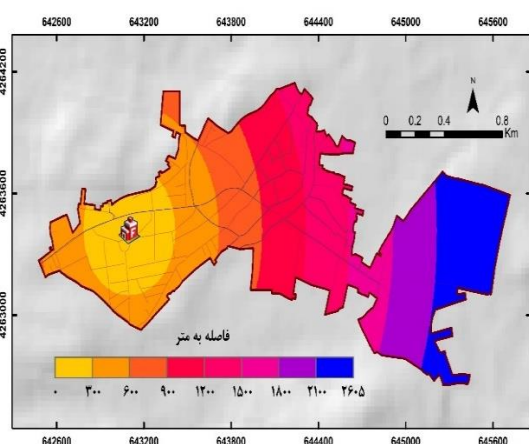
شکل ۲- کاربری اراضی شهر ورزقان (کارتوگرافی:

نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر
ورزقان، ۱۳۹۷)



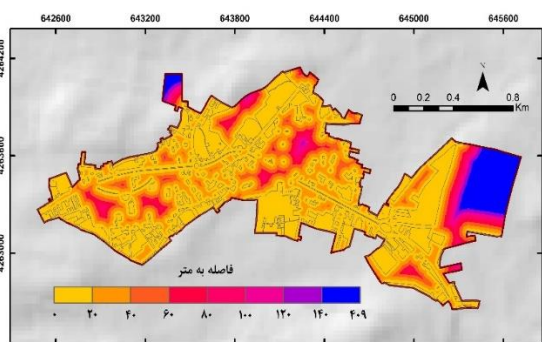
شکل ۵- شعاع عملکردی بیمارستان ورزقان (منبع:

نگارندگان)

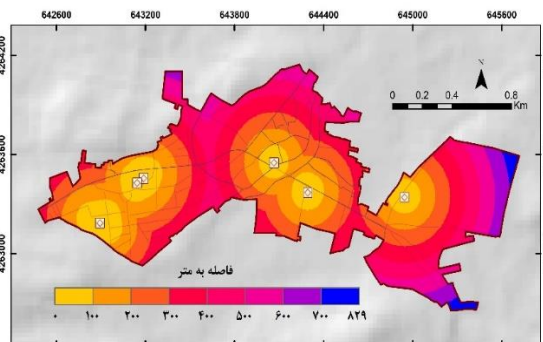


شکل ۴- شعاع سرویس‌دهی ایستگاه آتش‌نشانی

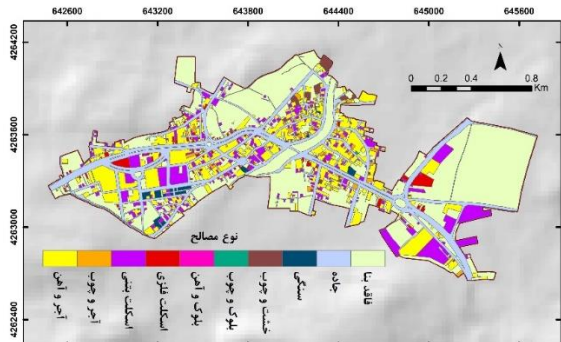
ورزقان (منبع: نگارندگان)



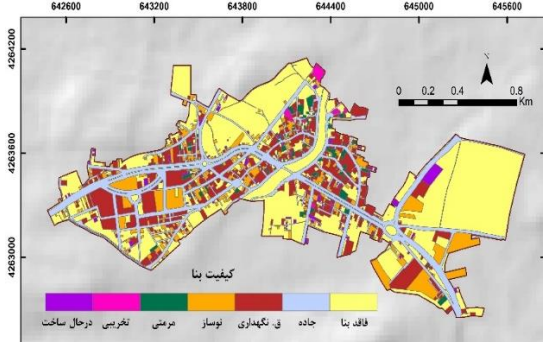
شکل ۷- دسترسی به فضاهای باز شهری در محدوده شهر ورزقان (منبع: محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



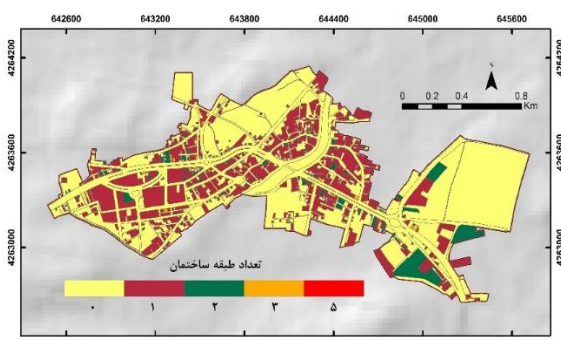
شکل ۶- فاصله از تأسیسات خطرزا در محدوده شهر ورزقان (منبع: محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



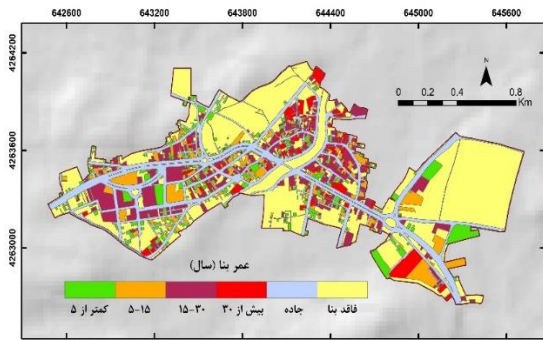
شکل ۹- نوع مصالح بناها در سطح شهر ورزقان (منبع: نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



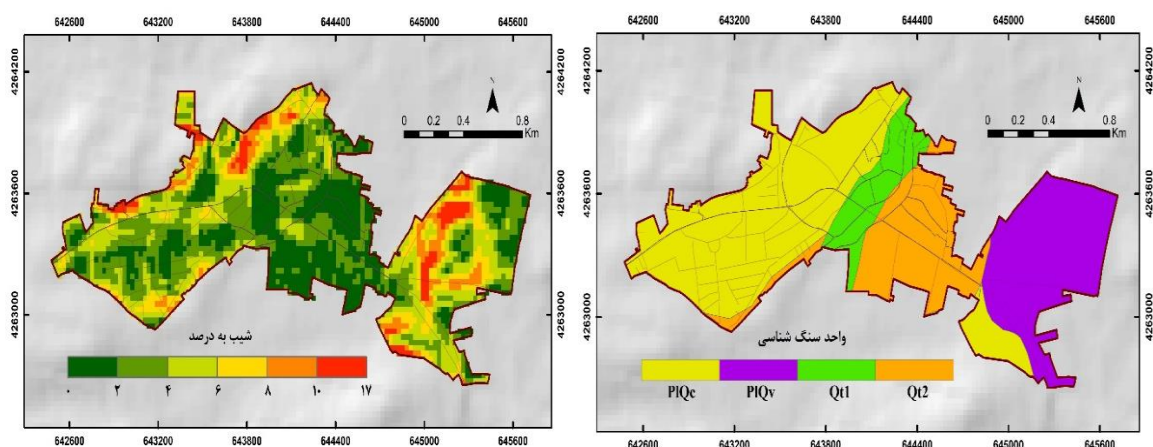
شکل ۸- کیفیت بناها در سطح شهر ورزقان (منبع: نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



شکل ۱۱- تعداد طبقات ساختمان‌ها در سطح شهر ورزقان (منبع: محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



شکل ۱۰- عمر بناها در سطح شهر ورزقان (منبع: محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های طرح جامع شهر ورزقان، ۱۳۹۷)



شکل ۱۲- لیتولوژی محدوده شهر ورزقان (منبع:

سازمان زمین شناسی)

شکل ۱۳- توزیع فضایی شیب در سطح شهر ورزقان

(منبع: تصاویر Aster)

۴-۲- نرمال سازی شاخص ها

دامنه و واحدهای شاخص های مورد استفاده در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر یکسان نیستند؛ در نتیجه، نرمالیزه نمودن شاخص ها ضرورت پیدا می کند. در واقع، در طی فرایند نرمالیزه سازی داده ها بی بعد شده و بدین ترتیب مساله عدم تناسب شاخص ها رفع می شود. در این پژوهش، به منظور نرمالیزه سازی لایه های رستری شاخص های مورد استفاده دو معادله زیر به کار بسته شد (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹):

معادله مورد استفاده جهت نرمالیزه سازی شاخص های «بزرگتر بهتر» یا «بزرگتر آسیب پذیرتر»:

$$x'_i = \frac{x_i - x_i(\min)}{x_i(\max) - x_i(\min)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

معادله مورد استفاده جهت نرمالیزه سازی شاخص های «کوچکتر بهتر» یا «کوچکتر آسیب پذیرتر»:

$$1 - \frac{x_i - x_i(\min)}{x_i(\max) - x_i(\min)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، i شاخص یا صفت، x_i مقدار اولیه i ، و $x_i(\max)$ و $x_i(\min)$ مقادیر حداکثر و حداقل می باشند. مقادیر بالاتر شاخص های تراکم مسکونی، تعداد طبقات ساختمان، شیب، فاصله از فضاها یا باز عمومی و فاصله از شعاع عملکردی بیمارستان ها و مراکز آتش نشانی منجر به افزایش آسیب پذیری در برابر زلزله می شوند؛ بنابراین برای نرمال سازی این شاخص ها از معادله «بزرگتر بهتر» یا به تعبیر دیگر «بزرگتر آسیب پذیرتر» (معادله ۱) استفاده شد. برعکس، مقادیر پایین تر شاخص مجاورت با تأسیسات خطرزا باعث افزایش آسیب پذیری لرزه ای می شوند. بدین ترتیب می بایست معادله «کوچکتر بهتر» یا «کوچکتر آسیب پذیرتر» (معادله ۲) برای نرمال کردن این شاخص به

کار بسته شود. در مورد شاخص‌های کیفی نیز براساس افزایش آسیب‌پذیری کدبندی صورت گرفت و از معادله (۱) برای نرمال‌سازی استفاده به عمل آمد.

۴-۳- تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تئوری کاتاستروف

همانگونه که بیان گردید جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شهر ورزقان نسبت به مخاطره زلزله با کاربست تئوری کاتاستروف، سیستم شهر به تعدادی زیرسیستم تقسیم‌بندی گردید. هر کدام از این زیرسیستم‌ها شامل تعدادی از شاخص‌های ارزیابی می‌باشند. مطابق با رویکرد کاتاستروف، زیرسیستم می‌تواند فولد (یک شاخص)، کاسپ (دو شاخص)، دم‌چلچله‌ای (سه شاخص)، پروانه‌ای (چهار شاخص) و ویگ‌وام (پنج شاخص) باشد. در پژوهش حاضر، برای تعیین نوع تابع کاتاستروف شاخص‌های کمی از روش بهینه‌سازی جنکس بهره گرفته شد. در این روش، نقاط شکست کلاس بر اساس گروه‌هایی که دارای مقادیر مشابهی بوده و حداکثر اختلاف را با گروه‌های دیگر نشان می‌دهند تعیین می‌گردند. درواقع، روش مذکور یک روش خوشه‌بندی داده محسوب می‌شود که چیدمان بهینه مقادیر را در کلاس‌های مختلف مشخص می‌سازد. این روش به دنبال یافتن حداقل انحراف میانگین از میانگین کلاس است درحالی‌که انحراف هر کلاس از میانگین‌های سایر کلاس‌ها را حداکثر می‌سازد؛ بنابراین، واریانس داخل کلاس‌ها را کاهش داده و واریانس بین کلاس‌ها را حداکثر می‌سازد (جنکس^۱، ۱۹۶۷: ۱۸۶-۱۹۰).

تصاعد کاتاستروف^۲ هر متغیر کنترل می‌تواند از روی تابع تبعی فازی اولیه^۳ براساس فرمول‌های نرمالیزه‌سازی محاسبه شود. در طی فرایند محاسبه، دو اصل به کار گرفته می‌شود: اصل مکمل^۴ و اصل غیرمکمل^۵. اصل غیرمکمل بدین معنی است که متغیرهای کنترل یک سیستم، از قبیل a, b, c, d و نمی‌توانند جایگزین یکدیگر شوند؛ بنابراین، هنگام یافتن مقدار متغیر حالت x با استفاده از فرمول‌های نرمالیزه‌سازی، کوچک‌ترین مقادیر متغیر حالت متناظر با متغیرهای کنترل است، یعنی $x = \min \{x_a, x_b, x_c, x_d\}$ به عنوان مقدار متغیر حالت کل سیستم انتخاب می‌شوند. از سوی دیگر، اصل مکمل به این اشاره دارد که متغیرهای کنترل، مکمل همدیگرند به طوریکه هر یک از آن‌ها تمایل دارند تا به مقدار میانگین برسند؛ یعنی $x = (x_a + x_b + x_c + x_d)/4$ (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۵۶-۳۶۲). در پژوهش حاضر، اصل مکمل برای محاسبه تصاعد کاتاستروف هر متغیر کنترل مورد استفاده قرار گرفت. توابع عضویت فازی کاتاستروف هر شاخص مطابق جدول (۲) محاسبه می‌شود. نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه شده است.

1 Jenks

2 Catastrophe progression

3 Initial fuzzy subordinate function

4 Complementary

5 Non-complementary

جدول ۲- توابع عضویت فازی کاتاستروف

نام	متغیر حالت	متغیر کنترل	فرمول نرمال کردن
کاسپ	۱	۲	$x_a = a^{1/2}$ and $x_b = b^{1/3}$
دم چلچله‌ای	۱	۳	$x_a = a^{1/2}$ and $x_b = b^{1/3}$ and $x_c = c^{1/4}$
پروانه‌ای	۱	۴	$x_a = a^{1/2}$ and $x_b = b^{1/3}$ and $x_c = c^{1/4}$ and $x_d = d^{1/5}$
ویگ‌وام	۱	۵	$x_a = a^{1/2}$ and $x_b = b^{1/3}$ and $x_c = c^{1/4}$ and $x_d = d^{1/5}$ and $x_e = e^{1/6}$

منبع: (احمد و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۳۹-۵۴۹)

جدول ۳- جزئیات روش وزن‌دهی کاتاستروف جهت تلفیق سیستم‌های شاخص مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای

شهر ورزقان

لایه داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازی کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
تراکم مسکونی	$0.20 \leq \text{کلاس ۱} \leq 0$	بسیار کم	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	ویگ وام	۰/۰۰۰	۰/۶۷۸۹	۰/۶
	$0.249 \leq \text{کلاس ۲} < 0.20$	کم	۰/۱۵۹	۰/۰۸۲	۰/۲۴۱		۰/۶۲۲		
	$0.409 \leq \text{کلاس ۳} < 0.249$	متوسط	۰/۲۹۶	۰/۰۵۷	۰/۴۷۳		۰/۸۲۹		
	$0.538 \leq \text{کلاس ۴} < 0.409$	زیاد	۰/۴۵۶	۰/۰۳۲	۰/۷۴۴		۰/۹۴۳		
	$0.730 \leq \text{کلاس ۵} < 0.538$	بسیار زیاد	۰/۶۰۷	۰/۰۴۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
شعاع سرویس-دهی آتش‌نشانی	$0.21 \leq \text{کلاس ۱} \leq 0$	بسیار مناسب	۲۹۲/۹	۱۲۷/۹	۰/۰۰۰	ویگ وام	۰/۰۰۰	۰/۶۸۴۱	۰/۹
	$0.42 \leq \text{کلاس ۲} < 0.21$	مناسب	۷۸۴/۲	۱۵۷/۲	۰/۲۴۷		۰/۶۲۷		
	$0.63 \leq \text{کلاس ۳} < 0.42$	نسبتاً مناسب	۱۲۷۱/۹	۱۳۷/۸	۰/۴۹۲		۰/۸۳۷		
	$0.84 \leq \text{کلاس ۴} < 0.63$	نامناسب	۱۸۸۲/۸	۱۳۱/۹	۰/۷۹۸		۰/۹۵۶		
	$0.05 \leq \text{کلاس ۵} < 0.84$	بسیار نامناسب	۲۲۸۴/۲	۱۳۲/۴	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
تأسیسات خطرزا	$0.50 \leq \text{کلاس ۱} \leq 0$	بسیار خطرناک	۱۴۴/۳	۶۶/۲	۱/۰۰۰	دم چلچله‌ای	۱/۰۰۰	۰/۶۰۱۰	۰/۲

لایه داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازى کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
	$500 \leq \text{کلاس} 2 <$ ۲۵۰	نسبتاً خطرناک	۳۵۸/۵	۶۸/۹	۰/۵۱۸		۰/۸۰۳		
	$829 \leq \text{کلاس} 3 <$ ۵۰۰	نسبتاً بی-خطر	۵۸۸/۶	۷۱/۲	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		
عمر بنا	کلاس ۱ = کمتر از ۵ سال	جدید	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۴۹۲	۰/۵
	کلاس ۲ = ۵ تا ۱۵ سال	نسبتاً قدیمی	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳۳		۰/۶۹۳		
	کلاس ۳ = ۱۵ تا ۳۰ سال	قدیمی	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۶۷		۰/۹۰۴		
	کلاس ۴ = بیش از ۳۰ سال	بسیار قدیمی	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
شعاع عملکردی بیمارستان	$510 \leq \text{کلاس} 1 \leq$ ۰	بسیار مناسب	۳۰۰/۷	۱۴۱/۵	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۷۹۸	۰/۷
	$1020 \leq \text{کلاس} 2 \leq$ ۵۱۰ <	مناسب	۷۴۷/۰	۱۵۴/۳	۰/۲۳۱		۰/۶۱۴		
	$1531 \leq \text{کلاس} 3 \leq$ ۱۰۲۰ <	نسبتاً مناسب	۱۲۵۴/۴	۱۵۴/۲	۰/۴۹۴		۰/۸۳۸		
	$2041 \leq \text{کلاس} 4 \leq$ ۱۵۳۱ <	نامناسب	۱۷۷۴/۱	۱۴۳/۶	۰/۷۶۳		۰/۹۴۷		
	$2551 \leq \text{کلاس} 5 \leq$ ۲۰۴۱ <	بسیار نامناسب	۲۲۳۲/۱	۱۲۹/۸	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
دسترسی به فضاهاى باز	$30 \leq \text{کلاس} 1 \leq$ ۰	مناسب	۸۳۸	۸۹۸	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۵۸۶۸	۰/۱
	$70 \leq \text{کلاس} 2 <$ ۳۰۰	نسبتاً مناسب	۴۵/۴۷	۱۰/۸۸	۰/۱۷۵		۰/۵۶۰		
	$120 \leq \text{کلاس} 3 <$ ۷۰	نامناسب	۸۹/۶۱	۱۴/۱۸	۰/۳۸۴		۰/۷۸۷		
	$409 \leq \text{کلاس} 4 <$ ۱۲۰	بسیار نامناسب	۲۱۹/۸۴	۷۴/۶۱	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
طبقات بنا	کلاس ۱ = ۱ طبقه	حساسیت کم	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۱۷۷	۰/۳
	کلاس ۲ = ۲ طبقه	حساسیت نسبتاً کم	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰		۰/۶۳۰		
	کلاس ۳ = ۳	حساسیت	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰		۰/۸۴۱		

لایه داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کانتاستروف	عضویت فازی کانتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
	طبقه	زیاد							
	کلاس ۴ = ۵ طبقه	حساسیت بسیار زیاد	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰				
کیفیت بنا	کلاس ۱ = در حال ساخت	مقاومت بالا	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۸۳۰	۰/۸
	کلاس ۲ = نوساز	مقاومت بالا	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰		۰/۶۳۰		
	کلاس ۳ = قابل نگهداری	مقاومت متوسط	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰		۰/۸۴۱		
	کلاس ۴ = مرمتی	مقاومت پایین	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۵۰		۰/۹۴۴		
	کلاس ۵ = تخریبی	مقاومت بسیار پایین	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
مصلح بنا	کلاس ۱ = اسکلت بتنی و فازی	استحکام بالا	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۴۹۲	۰/۵
	کلاس ۲ = آجر و آهن - بلوک و آهن	استحکام متوسط	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳۳		۰/۶۹۳		
	کلاس ۳ = آجر و چوب - بلوک و چوب	استحکام کم	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۶۷		۰/۹۰۴		
	کلاس ۴ = خشت و چوب - سنگی	استحکام بسیار کم	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
کاربری	کلاس ۱ = بایر، کشاورزی، ف. سبز، طبیعی	حساسیت بسیار کم	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۸۳۰	۰/۸
	کلاس ۲ = مرغداری، دامداری، مجتمع مس سونگون، مخروطه، جاده	حساسیت کم	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰		۰/۶۳۰		
	کلاس ۳ =	حساسیت	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰		۰/۸۴۱		

لایه داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازى کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
	مذهبی، تجهیزات شهری، ورزشی، انبارداری، فرهنگی، هنری، انتظامی	متوسط							
	کلاس ۴ = اداری، تاریخی، درمانی، صنایع	حساسیت زیاد	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۵۰		۰/۹۴۴		
	کلاس ۵ = مسکونی، آموزشی، تجاری	حساسیت بسیار زیاد	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
لیتولوژی	کلاس ۱ = PIQv	مقاوم	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۴۹۲	۰/۵
	کلاس ۲ = PIQc	نسبتاً مقاوم	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳۳		۰/۶۹۳		
	کلاس ۳ = Qt1	سست	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۶۷		۰/۹۰۴		
	کلاس ۴ = Qt2	بسیار سست	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
شیب	۱ ≤ کلاس ≤ ۳	ملايم	۱/۶۰	۰/۸۶	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۴۰۳	۰/۴
	۲ ≤ کلاس < ۳	نسبتاً ملايم	۴/۳۶	۰/۸۷	۰/۳۰۳		۰/۶۷۱		
	۳ ≤ کلاس < ۹	تند	۷/۳۱	۰/۷۸	۰/۶۲۷		۰/۸۹۰		
	۴ ≤ کلاس < ۱۷	بسیار تند	۱۰/۷۰	۱/۴۴	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		

۴-۴- تلفیق لایه‌ها و ارزیابی آسیب‌پذیری فضایی شهر ورزقان در برابر مخاطره زلزله

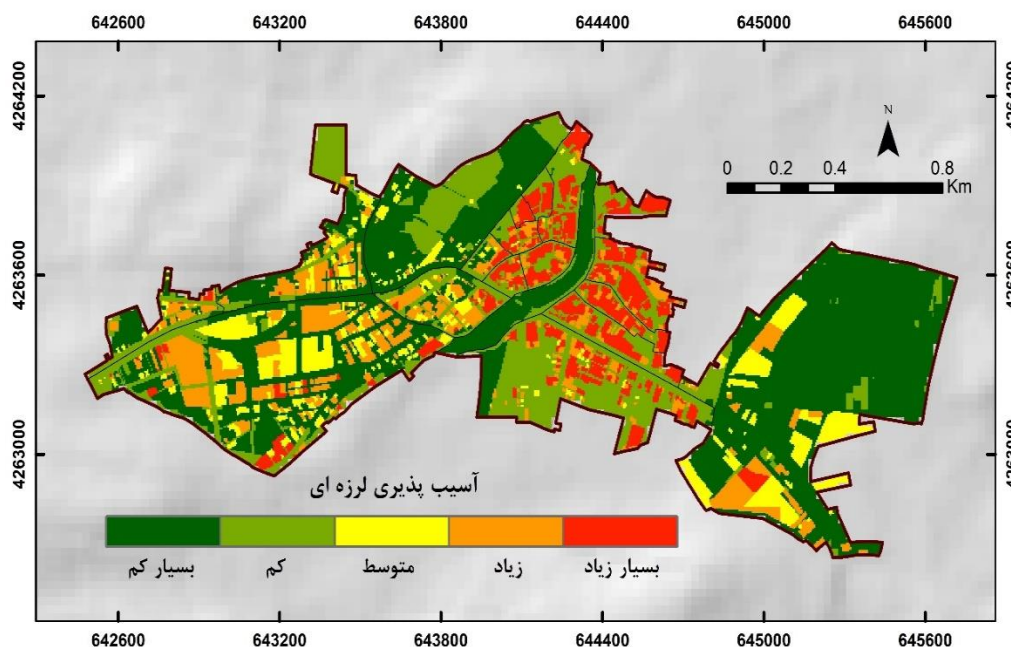
اکثر نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت روی هم‌گذاری^۱ لایه‌های رستری را دارند. در این رابطه، به منظور روی هم‌گذاری لایه‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان ابتدا وزن‌های حاصل از تئوری کاتاستروف به هر کدام از لایه‌های رستری نرمال شده مربوطه ضرب شدند؛ بدین ترتیب لایه‌های رستری موزون حاصل گردید. در نهایت لایه‌های رستری موزون جمع بسته شدند. در لایه رستری حاصله، مقادیر بیشتر هر پیکسل نشان دهنده آسیب‌پذیری لرزه‌ای بیشتر می‌باشد؛ بنابراین، لایه‌های مربوطه در بستر یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مطابق رابطه زیر تلفیق شدند:

$$\text{Vulnerability} = \sum_{i=1}^{12} w_i \times \text{Layer}_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن w_i وزن هر لایه و Layer_i لایه رستری نرمال شده متناظر می‌باشد. نتیجه نهایی ترکیب لایه‌های موضوعی با استفاده از تئوری کاتاستروف به صورت شکل (۱۴) است که نمایانگر آسیب‌پذیری فضایی شهر ورزقان در برابر مخاطره زلزله می‌باشد. این نقشه در یک حالت تطبیقی سطح شهر را از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله با در نظر گرفتن ۱۲ متغیر انتخابی پهنه‌بندی می‌کند؛ بنابراین، می‌تواند به شناسایی کانون‌های بحرانی شهر در برابر خطر وقوع زلزله کمک شایانی نماید. در حالت کلی، محدوده قانونی شهر ورزقان از نظر میزان آسیب‌پذیری نسبت به رخداد زلزله به پنج کلاس (از پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم تا پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا) طبقه‌بندی شد.

با مقایسه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و فضاهای ساخته شده شهر می‌توان بیان داشت که بخش قابل توجهی از شهر ورزقان از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به رخداد زلزله برخوردار است؛ به طوری که پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم در قسمت‌های مرکزی شهر به ندرت به چشم می‌خورند. درواقع، بخش قابل توجهی از هسته اصلی شهر در کلاس -های با آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا جای گرفته‌اند. سایر قسمت‌ها نیز از آسیب‌پذیری متوسطی برخوردار می‌باشند. در این رابطه، در حدود ۱۲ درصد از محدوده قانونی شهر ورزقان در کلاس آسیب‌پذیری زیاد و در حدود ۹ درصد آن در کلاس آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته است. با توجه به اینکه مساحت اراضی ساخته شده شهر در حدود ۳۲ درصد می‌باشد بنابراین درصد قابل توجهی از اراضی ساخته شده شهر در کلاس آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد. پراکندگی این پهنه‌ها مخصوصاً در قسمت‌های مرکزی شهر بسیار چشمگیر است. درواقع، این پهنه‌ها را می‌توان بحرانی‌ترین منطقه شهر ورزقان در صورت رخداد زمین‌لرزه در نظر گرفت. تراکم بالای مسکونی و ساختمانی (این منطقه جزو متراکم‌ترین مناطق شهر ورزقان از نظر ساختمانی، مسکونی و جمعیتی می‌باشد)، ریزدانه بودن اکثریت ساختمان‌ها، کمبود فضاهای باز شهری، کیفیت پایین بناها و ساختمان‌ها و موارد مشابه باعث شده است که

این منطقه نسبت به رخداد زلزله از آسیب‌پذیری شدیدی برخوردار باشد. درواقع، پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا منطبق بر هسته اولیه و قدیمی شهر ورزقان می‌باشد که عمده‌تاً جزو بافت فرسوده این شهر نیز می‌باشد.



شکل ۱۴- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان با کاربرد مدل کاتاستروف (منبع: محاسبات نگارندگان)

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر ورزقان واقع در استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای زیادی در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها مؤثر هستند که هر کدام با توجه به توزیع فضایی خود دارای اهمیت متفاوتی می‌باشند. در پژوهش حاضر از ۱۲ متغیر طبیعی، سازه‌ای و برنامه‌ریزی به منظور ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ورزقان استفاده به عمل آمد. برای روی هم‌گذاری و یکپارچه نمودن این متغیرها از توابع تئوری کاتاستروف در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد. این تکنیک جهت فائق آمدن بر مساله عدم قطعیت تصمیم‌گیری در فرایند وزن‌دهی به کار بسته شد. درواقع، در رویکرد مذکور وزن معیارها از طرق مکانیسم درونی سیستم و با بهره‌گیری از توابع فازی کاتاستروفیک استخراج می‌شود. از طرف دیگر، در ترکیب نهایی، متغیرهای پژوهش به صورت پیوسته وارد مدل می‌شوند و در نتیجه عدم قطعیت‌های مرتبط با کلاسه‌بندی داده‌ها نیز تا حد زیادی رفع می‌شود. از نقاط قوت رویکر مبتنی بر تئوری کاتاستروف می‌توان به بنیان ریاضیاتی، کاهش عدم قطعیت‌های مرتبط با فرایند تصمیم‌گیری و کلاسه‌بندی، تکرارپذیری نتایج، انعطاف بالا در تعداد متغیرها، لحاظ کردن توزیع فضایی متغیرها و قابلیت اجرا در تمامی شرایط جغرافیایی اشاره نمود. نتایج حاصل از پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ورزقان با استفاده

از این رویکرد حاکی از کارایی بالای مدل مورد استفاده است. در این زمینه می توان به انطباق بالای پهنه های با آسیب پذیری لرزه ای بالا با بافت های فرسوده شهر اشاره داشت. نتایج بیانگر این است که بخش اعظمی از فضاهای ساخته شده شهر ورزقان در برابر زلزله از آسیب پذیری بالایی برخوردار هستند. در این رابطه، بخش های مرکزی یا هسته اولیه شهر دارای شرایط حاد و بحرانی می باشد. به واقع، ترکیب مجموعه ای از متغیرها از قبیل تراکم بالای مسکونی، قدمت زیاد ساختمان ها، کیفیت پایین بناها، محصورشدگی و عدم دسترسی مناسب به فضاهای باز شهری و غیره باعث شده است که بخش عمده ای از مرکز شهر نسبت به مخاطره زلزله از آسیب پذیری بسیار بالایی برخوردار باشد. با توجه به آسیب پذیری بالای قسمت های مرکزی شهر ورزقان پیشنهاد می گردد که مطالعات و اقدامات بیشتری در خصوص نوسازی بافت های فرسوده، عریض نمودن کوچه ها و خیابان ها، افزایش فضاهای باز، احداث ایستگاه های آتش نشانی و غیره صورت گیرد.

کتابنامه

- احدنژاد روشنی، محسن؛ جلیل پور، شهناز؛ ۱۳۹۲. ارزیابی عوامل درونی تأثیرگذار در آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر زلزله با استفاده از GIS (نمونه موردی: بافت قدیم شهر خوی). فصلنامه آمایش محیط، دوره ۶، شماره ۲۰، ۲۳-۲۰.
- آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (جایکا)؛ ۱۳۸۰. گزارش پروژه ریز پهنه بندی لرزه ای تهران بزرگ. شهرداری تهران.
- جعفرنیا، افشین؛ خرم بخت، احمدعلی؛ قنبری، عبدالرسول؛ ۱۳۹۸. پهنه بندی آسیب پذیری ناشی از زلزله با استفاده از منطق فازی در GIS، مطالعه موردی شهر لار. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۳، ۱۲۵-۱۰۵.
- خدادادی، فاطمه؛ انتظار، مژگان؛ ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان شهر کرج). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۶، ۱۱۳-۹۳.
- رحیمی شهید، مجتبی؛ رحیمی، نیما؛ ۱۳۹۶. پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سمیرم). یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۲، ۱۱۸-۱۰۹.
- رمضانی کیاسج محله، رؤیا؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه سادات؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله با استفاده از تکنیک WLC و OWA، موردشناسی: منطقه ۷ تهران. جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، شماره ۲۱، ۱۳۸-۱۲۵.

ساسان‌پور، فرزانه؛ شماعتی، علی؛ افسر، مجید؛ سعیدپور، شراره؛ ۱۳۹۶. بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) (مطالعه موردی: محله محتشم کاشان). مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره ۱۴، ۱۰۳-۱۲۲.

سیدین، سید حسام؛ عباسی دولت‌آبادی، زهرا؛ سورانی، محمد؛ نقدی، سیران؛ رجبی‌فرد مزرعه نو؛ ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب‌پذیری بیمارستان‌های عمومی دانشگاه علوم پزشکی تهران در مقابل زلزله. مدیریت ارتقای سلامت، جلد ۳، شماره ۲، ۷۱-۶۵.

طیبیان، منوچهر؛ مظفری، نگین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی در برابر زلزله و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری، مطالعه موردی: منطقه شش شهرداری تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات شهری، شماره بیست و هفت، ۱۱۲-۹۳.

فاضل، سوگل؛ تقوایی، مسعود؛ محمودزاده، امیر؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهری با استفاده از مدل ANP، مطالعه موردی: شهر نجف‌آباد. دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره یازدهم، ۱۳۲-۱۲۱. فلاح علی‌آبادی، سعید؛ سلمانی ندوشن، ابراهیم؛ مقدم جعفر، امین؛ دهقانی فیروزآبادی، سعیده؛ ۱۳۹۵. اولویت‌بندی اقدامات مؤثر جهت ارتقای کیفیت خدمات ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر یزد با استفاده از روش AHP و TOPSIS. فصلنامه علمی تخصصی طب کار، دوره ۸، شماره ۲، ۸۹-۸۱.

فلاحی، علیرضا؛ اسدی، سعیده؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری کالبدی بافت کهن کرمان در برابر زلزله احتمالی با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش آنتروپی. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ششم، شماره دوم، ۱۵۹-۱۴۹.

قنبری، ابوالفضل؛ سالکی ملکی، محمدعلی؛ قاسمی، معصومه؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره پنجم، ۳۵-۲۱. کرمی، محمدرضا؛ امیریان، سهراب؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-AHP، مطالعه موردی شهر تبریز. نشریه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال سوم، شماره ۶ (سری جدید)، پیاپی ۱۰، ۱۲۴-۱۱۰.

مهدوی‌فر، محمدرضا؛ معماریان، پرهام؛ ۱۳۹۱. گزارش شناسایی مقدماتی پدیده‌های ژئوتکنیکی ناشی از زلزله ورزقان (۱۳۹۱/۵/۲۱). پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

نوروزی طیولا، رعنا؛ بینایی، یوسف؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در منطقه یک کلان‌شهر تهران با روش طبقه‌بندی فازی و سلسله مراتبی. پژوهش‌های دانش زمین، سال نهم، شماره ۳۵، ۵۰-۳۵. نیری، هادی؛ خالقی‌پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ احمدی، خهبات؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۷، ۲۹۴-۲۷۷.

- Ahmed, K., Shahid, Sh., Bin Harun, S., Ismail, T., Nawaz, N., Shamsudin, S., 2015. Assessment of groundwater potential zones in an arid region based on catastrophe theory. *Earth Science Informatics*, Vol. 8, Issue. 3: 539-549.
- Alcántara-Ayala, I., Goudie, A.S., 2010. *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge University Press.
- Armas, I., 2012. Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. *Natural Hazards* 63:1129-1156.
- Armas, L., Toma-Danila, D., Lonescu, R., Gavris, A., 2017. Vulnerability to earthquake hazard: Bucharest case study. *International Journal of Disaster Risk Science* 8: 182-195.
- Coburn A, Spence R. 2003. Earthquake Protection, *Journal of Seismology*, Vol. 7, No. 2: 541-552.
- Duzgun, H.S.B., Yucemen, M.S., Kalaycioglu, H.S., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., Deniz, A., 2011. An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. *Natural Hazards* 59: 917-947.
- Jenks, GF., 1967. The data model concept in statistical mapping. *Int Yearb Cartogr* 7:186–190.
- Keller, E. A., Pinter, N., 1996. *Active Tectonic, Earthquake, Uplift and landscape*. prentice hall.
- Moradi, M., Delavar, M. R., Moshiri, B., 2014. A GIS-based multi-criteria decision-making approach for seismic vulnerability assessment using quantifier-guided OWA operator: a case study of Tehran, Iran. *Annals of GIS* 21: 209-222.
- Rasheed, T., Weeks, J., 2012. Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science* 17: 547-576.
- Sadeghfam, S., Hassanzadeh, Y., Nadiri, A.A., Khatibi, R., 2016. Mapping groundwater potential field using catastrophe fuzzy membership functions and Jenks optimization method: a case study of Maragheh-Bonab plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5107-y>.
- Sanders, M. H., Clark, P. D., 2010. *Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications*. Nova Science Publishers, Inc. 216 P.
- Sinha, N., Priyanka, N., Joshi, P., 2014. Using spatial Multi-criteria analysis and ranking tool (SMART) in earthquake risk assessment: a case study of Delhi region, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 7: 680-701.
- Su, Sh., Li, D., Yu, X., Zhang, Zh., Zhang, Q., Xiao, R., Zhi, J., Wu, J., 2011. Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 25, Issue. 6: 737-746.
- Tian-jun, Zh., Shu-xin, R., Shu-gang, L., Tian-cai, Zh., Hong-jie, X., 2009. Application of the catastrophe progression method in predicting coal and gas outburst. *Mining Science and Technology*, Vol. 19: 430-434.
- Wang, Ch., Ni, F., Deng, Y., Jiang, L., 2011. Research on the Risk Associated with Rural Drinking Water Safety Based on Catastrophe Theory. *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 3: 356-362.
- Xiao-jun, W., Jian-yun, Zh., Shahid, Sh., Xing-hui, X., Rui-min, H., Man-ting, Sh., 2014. Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Vol. 19, Issue. 4: 463-477.
- You, W. J., Zhang, Y. L., 2015. Evaluation of social vulnerability to floods in Huaihe River basin: a methodology based on catastrophe theory. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, Vol. 3, Issue. 8: 4937-4965.

Zheng, H., Guo, L., Liu, J., Zhen, T., Deng, Z., 2020. Evaluating seismic risk in small and medium-sized cities with the modified vulnerability index method, a case study in Jiangyou City, China. Bull Earthquake Eng 18, 1303–1319, <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00757-3>.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۱۴۲-۱۲۵

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.67030.0>

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی مسیرهای آتش در اکوتون‌های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان

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

مهدی عربی- استادیار نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۶

چکیده

مدل‌سازی رفتار آتش می‌تواند درک ارتباطات بین آتش و محیط‌زیست آن شامل آب و هوا، توپوگرافی و تیپ‌های پوشش گیاهی موجود در سطح یک توده تا سیمای سرزمین را ساده کند و به مدیران برای بازسازی یا حفظ نقش طبیعی آتش کمک کند. در این مطالعه از الگوریتم حداقل زمان حرکت (MTT) در مدل گسترش آتش FlamMap برای بررسی مسیرهای اصلی رشد آتش و نیز احتمال سوختن به عنوان یک سنجش ریسک آتش در پارک ملی گلستان در شمال شرق ایران بر اساس شرایط آب و هوا و رخداد آتش مشاهده شده در دوره مطالعه (۱۳۷۹-۱۳۹۹) استفاده شد. این پارک ملی یک زون انتقالی بین دو اقلیم متفاوت یعنی نیمه‌مرطوب و معتدل (غرب و جنوب غربی) و سرد خشک (شرق و جنوب شرقی) است و پوشش گیاهی آن به‌طور عمده از رویش‌های هیرکانی (جنگل) و ایرانو-تورانی (علفزار) و اکوتون آن‌ها تشکیل شده است. با توجه به خروجی شبیه‌سازی مسیرهای اصلی گسترش آتش در پارک، بردارهای MTT از مواد سوختنی علفی خشک‌تر در بخش‌های جنوبی و شرقی عبور می‌کنند. این بردارها با حرکت از بخش‌های جنوبی و تقریباً با رسیدن به بخش مرکزی پارک به دو بردار اصلی به طرف جهت‌های شرقی و شمالی تقسیم می‌شود. مسیرهای مهم گسترش آتش با آزمون کای‌اسکوئر در سطح $P < 0.05$ تعیین شد که همه این مسیرهای مهم در مدل‌های مواد سوختنی علفی قرار گرفته و تقریباً دوسوم آن‌ها نیز در اکوتون جنگل-علفزار پراکنش دارند. همچنین نقشه احتمال سوختن برآورد شده روندهای مکانی مشخصی را در پارک ملی نشان داد. بر اساس این نقشه بیش‌ترین احتمال سوختن در علفزارها و اکوتون در بخش جنوبی پارک در دامنه ارتفاعی ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متری مشاهده شد. بخش‌های مرکزی رو به غرب و جنوب پارک

تاب‌آوری بیشتری نسبت به آتش‌سوزی حتی در شرایط آب و هوای شدید آتش دارند. در این مطالعه اکوتون جنگل-علفزار به عنوان نمونه‌ای از یک اکوسیستم طبیعی ارائه شده که از طریق کنترل ارتباطات رفتار آتش و موزائیک ماده سوختنی در جهت افزایش تاب‌آوری در این سیمای سرزمین می‌توان اقدام نمود. شناسایی کریدورهای اصلی آتش می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران اراضی در پیش‌بینی و تنظیم پویایی‌های زمانی و مکانی رژیم‌های آتش طبیعی کمک کند.

کلیدواژه‌ها: احتمال سوختن، پارک ملی گلستان، مسیرهای آتش، FlamMap MTT.

۱- مقدمه

اکوتون‌ها مناطق با مرز مشترک پویایی است که در آنجا بیوم‌های زمینی اصلی با هم برخورد دارند. این اکوتون‌ها به آثار تغییر اقلیم و نیز فعالیت‌های انسانی حساس هستند. تغییرات محیط‌زیستی در اکوتون‌ها منجر به تغییرات در ترکیب گونه‌ها، تنوع زیستی، ساختار و عملکرد می‌شود و در سطح اکوسیستم و سطح منطقه‌ای بکار می‌رود (کوتز و سمویز^۱، ۲۰۰۱؛ میستر^۲، ۲۰۱۲). این اکوتون‌ها به عنوان زون‌های انتقالی بین سیستم‌های اکولوژیکی مجاور (دلکورت و دلکورت^۳، ۱۹۹۲) فرم‌های مختلف شامل ترکیب باز و پراکنده از تیپ‌های پوشش گیاهی نزدیک تا یک تقابل شدید با شباهت ساختاری یا ترکیبی کم را به هم وصل می‌کند (کانور و همکاران^۴، ۲۰۱۸). زون‌های اتصال بین و درون تیپ‌های پوشش گیاهی مختلف در یک سیمای سرزمین منعکس‌کننده عوامل معینی است که وسعت جوامع اکولوژیکی مربوطه را تنظیم می‌کند. شکل‌گیری اکوتون بین جنگل و علفزار می‌تواند با عوامل توپوگرافی، خاکی، تغییرپذیری اقلیمی یا آتش تنظیم شود (کووپ و جیوینیش^۵، ۲۰۰۷). فعل‌وانفعال‌های بین این عوامل و آستانه‌های محدودکننده‌ای که وسعت مکانی موزائیک پوشش گیاهی را تنظیم می‌کند پویایی‌های زمانی و مکانی این زون تماس را تعیین می‌کند (لیگ و وبلن^۶، ۲۰۰۶)، اما احتمالاً نوسانات در این اکوتون در نتیجه تغییرات در فراوانی و شدت شرایط حداکثر به جای تغییرات در شرایط متوسط است (کیتزبرگر^۷، ۲۰۱۲).

آتش نقش مهمی در تنظیم ارتباطات مکانی بین انواع تیپ‌های پوشش گیاهی مجاور در سطح توده تا سیمای سرزمین ایفا می‌کند (کانور و همکاران، ۲۰۱۸). اکوتون‌ها با تأثیر روی موزائیک مواد سوختنی سیمای سرزمین که می‌تواند موانع یا کریدورهایی برای گسترش آتش ایجاد کند به صورت متقابل روی رفتار آتش اثر دارند (موریتز و

1 Kotze and Samways

2 Myster

3 Delcourt and Delcourt

4 Conner et al

5 Coop and Givnish

6 League and Veblen

7 Kitzberger

همکاران^۱، ۲۰۱۱). آتش نقش مهمی در اکوتون جنگل علفزار با تثبیت پویای موقعیت مکانی حد واسط این دو جامعه ایفا می کند (فیشر و همکاران^۲، ۱۹۸۷)، از طریق مرگ و میر نهال ها محدود کننده استقرار گیاهان چوبی است (بورن و همکاران^۳، ۱۹۹۷)، تسهیل کننده تجدید حیات سریع گراس ها و علف ها است که گیاهان چوبی را از رقابت خارج می کند (مک پرسون^۴، ۱۹۹۵) و از تنوع گونه ها حفاظت می کند (پترسون و ریچ^۵، ۲۰۰۸). در حالی که در مطالعات زیادی بر نقش رخداد آتش در شکل گیری اکوتون های جنگل علفزار تأکید شده است (کووپ و جیوینیش، ۲۰۰۸؛ اسچوتاگل^۶ و همکاران، ۲۰۰۸؛ آموروسو^۷ و همکاران، ۲۰۱۱)، پویایی های مکانی حرکت آتش در این زون اکوتونی، به ویژه در سیمای سرزمین با مواد سوختنی ناهمگن کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. سیرولی و کالسینیک^۸ (۲۰۱۰) به بررسی پویایی های آتش سوزی در اکوتون جنگل علفزار در یک ذخیره گاه اکولوژیکی در آرژانتین و آثار آتش روی تجدید حیات در این اکوسیستم پرداختند. بر اساس نتایج رخداد قابل توجه آتش و واکنش تاب آور به آن در علفزارها مشاهده شد. از سوی دیگر جنگل ها نیز تاب آور به این آتش سوزی ها شناخته شد و هیچ علائمی روی عملکرد آن مشاهده نشد. علیرغم اینکه برخی از گونه های مهاجم در منطقه قادر به بازسازی خود در برابر آتش در این اکوتون نبودند. هاروی و همکاران^۹ (۲۰۱۷) به بررسی ساختار متغیر مکانی توده و ارتباطات آتش - اقلیم در یک اکوتون ارتفاعی جنگل علفزار در غرب بریتیش کلمبیا در کانادا پرداختند. نتایج مطالعه آتش سوزی های با شدت مختلف در این اکوتون را نشان داد و آتش سوزی های مکرر با شدت کم غالب بودند و البته آتش سوزی های گسترده با شدت متوسط تا زیاد نیز قابل توجه بود. فالک و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۱) به تجزیه و تحلیل تاریخچه آتش در اکوتون جنگل علفزار در سیمای سرزمین یک ذخیره گاه ملی در نیومکزیکو آمریکا پرداختند و فراوانی آتش زیاد در این اکوتون شناسایی شد. همچنین در این منطقه کانور و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از الگوریتم حداقل زمان حرکت (MTT) در شبیه ساز رفتار و گسترش آتش FlamMap به بررسی مسیرهای رشد آتش برای شرایط مختلف آب و هوای آتش پرداختند. نتایج نشان داد که این اکوتون یک کریدور اصلی برای رشد آتش در این سیمای سرزمین است. تاکنون مطالعاتی در مورد بررسی رژیم آتش و تجزیه و تحلیل توزیع مکانی آتش در نواحی اکوتون در مناطق مختلف رویشی ایران انجام نشده است.

1 Moritz et al

2 Fisher et al

3 Boren et al

4 Mcpherson

5 Peterson and Reich

6 Schoennagel et al

7 Amoroso et al

8 Sirolli and Kalesnik

9 Harvey et al

10 Falk et al

به‌طورکلی سه روش شامل نمونه‌برداری پوشش گیاهی و خاک، آزمایش‌های میدانی و مدل‌سازی برای مطالعه پویایی‌های اکوتون‌های جنگل-علفزار وجود دارد (میستر، ۲۰۱۲). روش سوم یک ابزار مفید برای آزمودن فرضیه‌ها درباره کنترل‌ها روی رفتار آتش در یک دامنه گسترده‌ای از شرایط ماده سوختنی و آب و هوا است (کین و همکاران^۱، ۲۰۰۳؛ سالیس و همکاران^۲، ۲۰۱۳). بررسی منابع در ارتباط با مدل‌سازی آتش برای درک بهتر طرح‌های زمانی مکانی در ریسک آتش و پیشران‌های مرتبط انجام شد. این مطالعات شامل ارزیابی‌های فشار آتش در مقیاس بزرگ (تامپسون و همکاران^۳، ۲۰۱۱؛ ایگر و همکاران^۴، ۲۰۱۴؛ جهدی و همکاران^۵، ۲۰۲۰). ارزیابی استراتژی‌های تیمار ماده سوختنی (ایگر و همکاران، ۲۰۰۷)، برنامه‌ریزی جنگل در سطح سیمای سرزمین (گونزالس-اولاباریا و پوکالا^۶، ۲۰۱۱)، حمایت حوزه‌های آبخیز (تامپسون و همکاران، ۲۰۱۳)، پشتیبانی تصمیم‌گیری در سطح حادثه (کالکین و همکاران^۷، ۲۰۱۱؛ نونان-رایت و همکاران^۸، ۲۰۱۱)، ارزیابی مکانی ریسک برای ساختارها و ارزش‌ها (سالیس و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴) و ارزیابی آثار تغییر اقلیم (آرکا و همکاران^۹، ۲۰۱۲) است. استفاده از شبیه‌سازهای آتش در ارزیابی آتش در مقیاس سیمای سرزمین امکان تهیه نقشه‌های رفتار آتش مانند مسیرهای گسترش و شدت آتش مرتبط با پیشران‌های اصلی مانند آب و هوا، ماده سوختنی، توپوگرافی، و طرح‌های مکانی احتراق را فراهم می‌کند (میلر و ایگر^{۱۰}، ۲۰۱۳).

بررسی تاریخیچه آتش در پارک ملی گلستان نشان می‌دهد که آتش‌سوزی‌های سطحی رخدادهای مکرر در سیمای سرزمین جنگل-مرتع پارک است که در تنظیم موقعیت و ترکیب جوامع گیاهی این سیمای سرزمین نقش زیادی دارد (جهدی و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه از مدل‌سازی آتش با الگوریتم حداقل زمان حرکت در شبیه-ساز FlamMap (فینی^{۱۱}، ۲۰۰۶) برای بررسی طرح‌های زمانی مکانی گسترش آتش در اکوتون جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان استفاده شده است. این پارک ملی یکی از مناطق ایران است که بیشتر تحت تأثیر آتش‌سوزی‌ها است و یک منطقه حساس به آتش‌سوزی به دلیل شرایط و محیط‌زیست نیمه‌مدیترانه‌ای آن است. در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در زمینه آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان (پورشکوری و همکاران، ۱۳۹۲؛ فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۳؛ جهدی و همکاران، ۱۳۹۴)، هدف این مطالعه بررسی گسترش آتش در جنگل‌ها و علفزارها (مراجع)

1 Keane et al

2 Salis et al

3 Thompson et al

4 Ager et al

5 Jahdi et al

6 González-Olabarria and Pukkala

7 Calkin et al

8 Noonan-Wright et al

9 Arca et al

10 Miller and Ager

11 Finney

و اکوتون حائل آن‌ها به منظور تعیین مسیرهای اصلی گسترش آتش و تجزیه و تحلیل احتمال سوختن به عنوان یک سنجه ریسک آتش در این پارک است. به‌طور مشخص، گستره‌ای را که در آن این اکوتون به عنوان یک کربدور اصلی برای حرکت آتش در سیمای سرزمین پارک ملی بر اساس مشخصات ماده سوختنی، توپوگرافی و آب و هوای آتش عمل می‌کند در مقایسه با علفزارها و جنگل‌های مجاور مورد بررسی قرار می‌گیرد. درک عواملی که مسیرهای اصلی گسترش آتش در این سیمای سرزمین بزرگ جنگل-علفزار را تعیین می‌کند نقش مهمی در مدیریت پیشگیری، کنترل و اطفای آتش در این منطقه و سایر مناطق مشابه دارد.

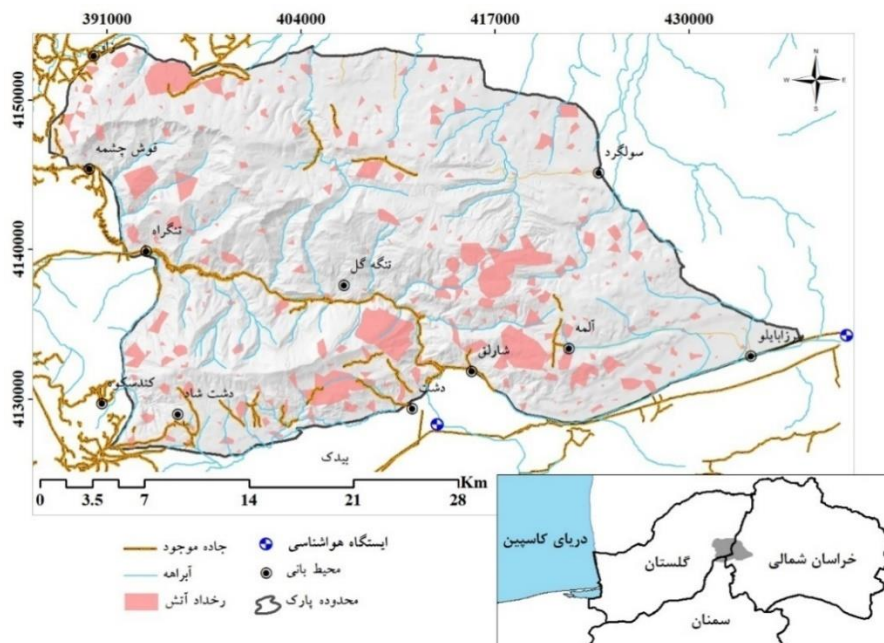
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعه

این مطالعه در پارک ملی گلستان ($37^{\circ}17' - 37^{\circ}31'$ عرض شمالی، $56^{\circ}43' - 55^{\circ}17'$ طول شرقی)، در شمال شرق ایران با وسعت $87,402$ هکتار انجام شد (شکل ۱). این پارک ملی یک سیمای سرزمین ایده‌آل برای این مطالعه به دلیل وسعت مکانی بزرگ و ترکیب جوامع گیاهی غالب آن (شکل ۲) است. موقعیت اکوتون جنگل-مرتع در پارک به‌طور کلی مرتبط با یک تغییر توپوگرافی از مکان‌های با شیب متوسط تند در غرب تا شیب سطحی در بخش جنوبی و شرقی است. توپوگرافی پارک با دامنه‌های کوهستانی با شیب شدید در بخش‌های غربی و جنوب مرکزی و ناحیه دشتی واقع شده در بخش شرقی به نام دشت میرزابابیلو مشخص شده است (شکل ۲). این پارک در مرز بین اقلیم‌های نیمه مرطوب خزری و نیمه خشک قرار گرفته و با توجه به جهت‌های عمده گوناگون و پستی و بلندی‌های شدید دارای اقلیم‌های متنوعی است که منجر به ایجاد جنگل‌های پهن‌برگ در بخش غربی، جنگل‌های سوزنی‌برگ در ارتفاعات و مراتع در بخش‌های شرقی و شمالی آن شده است. دامنه نوسان‌های بارندگی از 200 تا 750 میلی‌متر است که از غرب به شرق و نیز از مناطق مرتفع به مناطق پست پارک از شدت نزولات کاسته می‌شود (آخانی^۱، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹؛ لیلیان و همکاران^۲، ۲۰۱۰). دمای متوسط سالانه بین 12 تا 18 درجه سانتی‌گراد متغیر است. رطوبت هوا بین $60-80\%$ متغیر است. بیش‌ترین فراوانی بادهای غربی با سرعت 6 متر در ثانیه و شدیدترین بادهای منطقه دارای جهت شمالی-شرقی با سرعت 12 متر در ثانیه است (غلامی و مصداقی، ۱۳۹۰؛ شکل ۳).

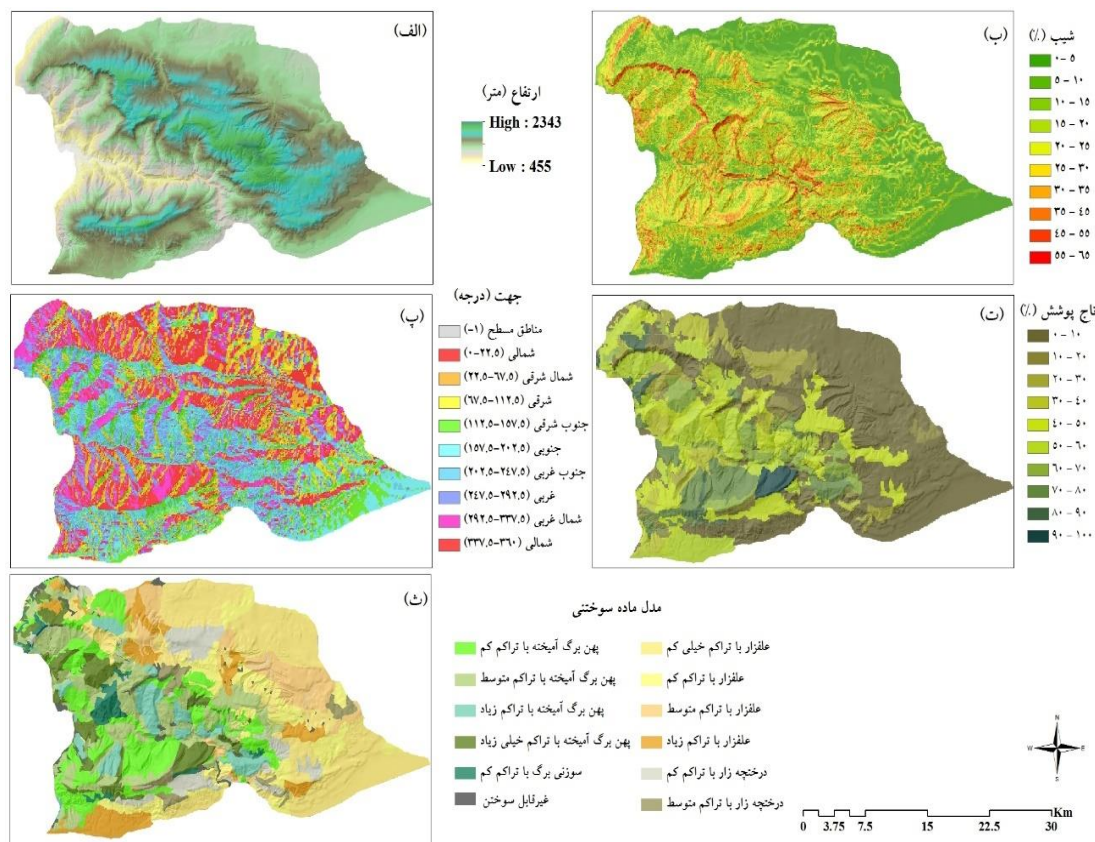
1 Akhani

2 Leylian et al



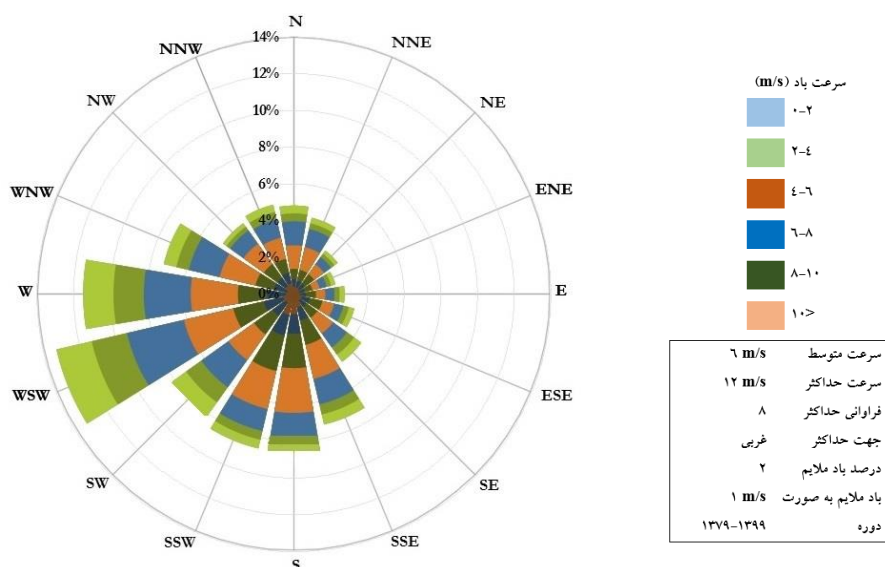
شکل ۱- محدوده پارک ملی گلستان در شمال شرق ایران و توزیع رخداد آتش در دوره مطالعه در پارک ملی.

تقریباً نیمی از پارک از جنگل‌های پهن‌برگ (۴۱٪) با گونه‌های غالب شامل بلوط بلندمازو (*Quercus*، *castaneifolia* C.A.Mey., ممرز (*Carpinus betulus* L.)، لور (*Carpinus orientalis* Mill.) و افرا شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.) به همراه درختچه‌های سوزنی‌برگ ارس (۸٪) شامل دو گونه غالب اردوج (*Juniperus excelsa* M. Bieb) در نواحی پرشیب کوهستانی و پیرو (*Juniperus communis* L.) در دامنه‌ها همراه با درختچه‌های زرشک و دغدغک با زیراشکوب گیاهان مرتعی پوشیده شده است (جهدی و همکاران، ۱۳۹۴). بخش قابل توجهی از پارک نیز مراتع نیمه‌استپی (۴۸٪) به‌ویژه در مناطق شرقی پارک به صورت تپه‌ماهوری با پوشش‌های علفی با غالبیت گونه‌های *Bromus persicus*، *Agropyron* spp.، *Stipa barbata*، *Artemisia siberi* و *Hordeum bulbosum* و *Astragalus* spp. است (قدسی و همکاران، ۱۳۹۰). کمتر از ۲٪ پارک نیز به صورت پراکنده از بخش‌های غیرقابل سوختن شامل اراضی لخت و سنگلاخی، کشاورزی و توسعه‌یافته تشکیل شده است (جهدی و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۲- ورودی های مکانی برای مدل شبیه سازی آتش FlamMap MTT: الف) ارتفاع، ب) شیب، پ) جهت، ت) تاج پوشش و ث) مدل ماده سوختنی.

در طول بیست سال گذشته، بیش از ده هزار هکتار از پارک ملی گلستان سوخته شده است. آتش سوزی های چشمه سردار (۸۶۹ هکتار) در آبان و آذر ۱۳۸۹ (پورشکوری و همکاران، ۱۳۹۲) و منطقه شارلق (۳۰۰۰ هکتار) در شهریور ۱۳۹۲ (فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۳) از عمده ترین حوادث رخ داده است. اطلاعات مربوط به حوادث آتش سوزی در پارک بر اساس گزارش های حریق ثبت شده توسط اداره مرکزی پارک، اطلاعات محیط بانان و نیز مساحی لکه های آتش باقیمانده با استفاده از GPS بدست آمده است. همچنین اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره مطالعه از نزدیک ترین ایستگاه ها به پارک ملی شامل ایستگاه کليما تولوژی دشت گلستان و ایستگاه هواشناسی خودکار رباط قره بیل تهیه شد (شکل ۱).



شکل ۳- گلباد برای جهت باد و سرعت باد در طول فصل حریق در منطقه مطالعه در دوره مورد مطالعه. طول میله‌ها درصد روزها با جهت باد مشخص در طول فصل حریق است.

۲-۲- مدل‌سازی آتش

الگوریتم گسترش آتش حداقل زمان حرکت (MTT) فینی (۲۰۰۲) به‌طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل ریسک آتش و تشخیص رفتار آتش مورد استفاده قرار گرفته است (ایگر و همکاران، ۲۰۰۷؛ سالیس و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴؛ جهدی و همکاران، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰). این الگوریتم از داده‌های ورودی مکانی شامل توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) و مدل ماده سوختنی سطحی و مشخصات ماده سوختنی تاجی استفاده می‌کند که به صورت یک فایل سیمای سرزمین باینری (LCP) ترکیب می‌شود. مواد سوختنی سطحی با مدل‌های ماده سوختنی که شامل مشخصات بار ماده سوختنی زنده و مرده (با کلاسه اندازه)، نسبت سطح به حجم برای مواد سوختنی زنده و مرده، عمق بستر ماده سوختنی، رطوبت اظفا و محتوای گرما است توصیف می‌شود. این مدل‌های ماده سوختنی از طریق اندازه‌گیری-های میدانی، با استفاده از راهنماهای تصاویر، یا بر اساس سایر منابع داده یعنی مدل‌های ماده سوختنی استاندارد (اندرسون^۱، ۱۹۸۲؛ اسکات و بورگان^۲، ۲۰۰۵) تهیه می‌شود. در این مطالعه تهیه نقشه‌های مدل‌های ماده سوختنی محلی و تاج پوشش بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده با ۵۴ قطعه نمونه‌های مربع شکل شامل علفزار (۲۴ قطعه نمونه ۱m×۱m)، درختچه‌زار (۸ قطعه نمونه ۱۰m×۱۰m) و جنگل (۲۲ قطعه نمونه ۳۰m×۳۰m) در تابستان و پائیز سال ۱۳۹۸ انجام شد. مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری برای تهیه نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت

1 Anderson

2 Scott and Burgan

استفاده شد (شکل ۲). داده‌های مکانی توپوگرافی و ماده سوختنی منطقه مطالعه با ArcFuels (ایگر و همکاران، ۲۰۱۱) در اندازه تفکیک ۱۰ متری پردازش شد. همچنین نقشه طرح‌های تاریخی احتراق در پارک با استفاده از داده حوادث آتش جمع‌آوری شده از مشاهدات آتش در بیست سال گذشته تهیه شد (شکل ۱).

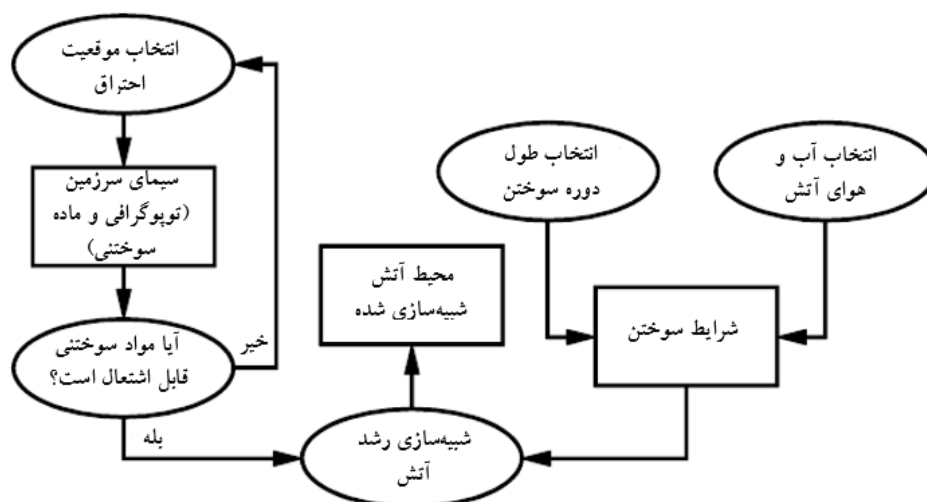
جهت باد و سرعت باد غالب در طول فصل‌های تابستان و پائیز (دوره حریق) در منطقه مطالعه به عنوان پارامترهای شبیه‌سازی انتخاب شد. مطابق اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (شکل ۱) جهت ۲۴۰ درجه متداول‌ترین جهت باد در منطقه است (شکل ۳). این جهت معرف جهت باد بیش از ۴۰٪ از کل روزها در طول فصل حریق در منطقه مطالعه است. سرعت باد ۶ m/s نیز به عنوان متوسط سرعت باد غالب منطقه انتخاب شد.

از الگوریتم MTT برای شبیه‌سازی مسیرهای گسترش آتش با توجه به شرایط آب و هوای تاریخی آتش و سرعت و جهت باد متوسط مشاهده شده در پارک در طول فصل حریق در دوره مطالعه (۱۳۹۹-۱۳۷۹) استفاده شد. این الگوریتم یک نمایش برداری از رشد آتش با محاسبه زمان بری حرکت آتش از یک نقطه سلول به نقاط سلول مجاور ارائه می‌دهد (فینی، ۲۰۰۲). حرکت آتش با کوتاه‌ترین زمان حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر تعریف می‌شود. در واقع مسیرهای MTT کریدورهایی با کمترین مقاومت برای رشد آتش بر اساس داده زنده و غیرزنده موجود در فایل سیمای سرزمین و ورودی‌های باد و آب و هوا را ترسیم می‌کند. مسیرهای وکتوری آتش تولید شده در شبیه‌سازی‌های MTT به شبکه‌های رستری باینری تبدیل شد و جمع آن‌ها برای تعیین تعداد دفعاتی که هر سلول ۱۰ متری سوخته شده، محاسبه شد. از آزمون کای اسکوئر در سطح $P < 0.05$ برای تعیین مناطقی که کریدورهای مهمی برای رشد آتش در این سیمای سرزمین هستند استفاده شد.

در این مطالعه بر پایه نتایج شبیه‌سازی آثار احتراق و گسترش آتش‌سوزی‌های تاریخی در پارک ملی محاسبه احتمال سوختن مشخص مکانی در سطح سیمای سرزمین پارک ملی گلستان بر اساس روش ارائه شده در شکل ۴ با استفاده از مدل FlamMap MTT انجام شد. در این روش شبیه‌سازی رشد آتش بر اساس عوامل فیزیکی کنترل گسترش آتش با مولفه‌های احتمالی (در نتیجه تغییرپذیری زمانی و مکانی) در مقیاس بزرگ از رژیم‌های آتش (شامل احتراق‌های مکانی و شرایط آب و هوای آتش) در یک سیمای سرزمین با مواد سوختنی و توپوگرافی مشخص انجام می‌شود. در این مدل‌سازی سطحی که می‌سوزد برای هر آتش‌سوزی ثبت می‌شود و در نهایت در یک شبکه تجمعی از منطقه سوخته‌شده جمع می‌شود. محصول نهایی یک نقشه احتمال سوختن (BP) است که در آن BP هر سلول i به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$BP_i = \frac{b_i}{N} \times 100 \quad (1)$$

که در آن b_i تعداد دفعاتی است که یک سلول i می‌سوزد و N تعداد کل شبیه‌سازی‌ها (معمولاً ≥ 1000) است. BP_i درصد احتمال سالانه که سلول i می‌سوزد را نشان می‌دهد (میلر و همکاران^۱، ۲۰۰۸). مدل احتمال سوختن نه تنها توزیع زمانی و مکانی احتراق‌ها، بلکه زمینه‌های مکانی که روی گسترش آتش اثر می‌گذارد را نیز در نظر می‌گیرد. توپولوژی مکانی گسترش آتش به‌ویژه در تهیه نقشه ریسک آتش مهم است، زیرا تغییرات در احتمال سوختن می‌تواند فراتر از یک مشخصه سیمای سرزمین باشد که آتش‌سوزی‌های پیش‌رو را افزایش یا تغییر دهد (فینی، ۲۰۰۵).



شکل ۴- شبیه‌سازی رشد آتش برای تهیه نقشه احتمال سوختن در مدل FlamMap MTT (Finney, 2006). جعبه‌های مستطیلی ورودی‌ها/خروجی‌های مدل و جعبه‌های بیضی فرآیندهای مدل را نشان می‌دهد. این فرآیند تا زمان دستیابی به تعداد مشخص شبیه‌سازی‌ها تکرار می‌شود. تعداد احتراق‌ها در هر شبیه‌سازی توسط کاربر انتخاب می‌شود (میلر و همکاران، ۲۰۰۸).

۳- نتایج و بحث

شناسایی اکوتون مسئله اصلی این مطالعه بود، بنابراین فایل‌های رستری حاصل از شبیه‌سازی به سه طبقه ماده سوختنی کلی شامل علفی، درختچه‌ای و درختی جمع و ارزش‌ها از فایل رستری MTT جمع‌شده برای هر طبقه مدل ماده سوختنی استخراج شد. طبقه مدل ماده سوختنی درختچه‌ای از این تجزیه و تحلیل حذف شد زیرا تنها ۸٪ از ماده سوختنی موجود در سیمای سرزمین پارک را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱- توصیف مدل‌های ماده سوختنی محلی در منطقه مطالعه با تجمیع آن‌ها در سه طبقه مدل ماده سوختنی علفی، درختچه‌ای و درختی.

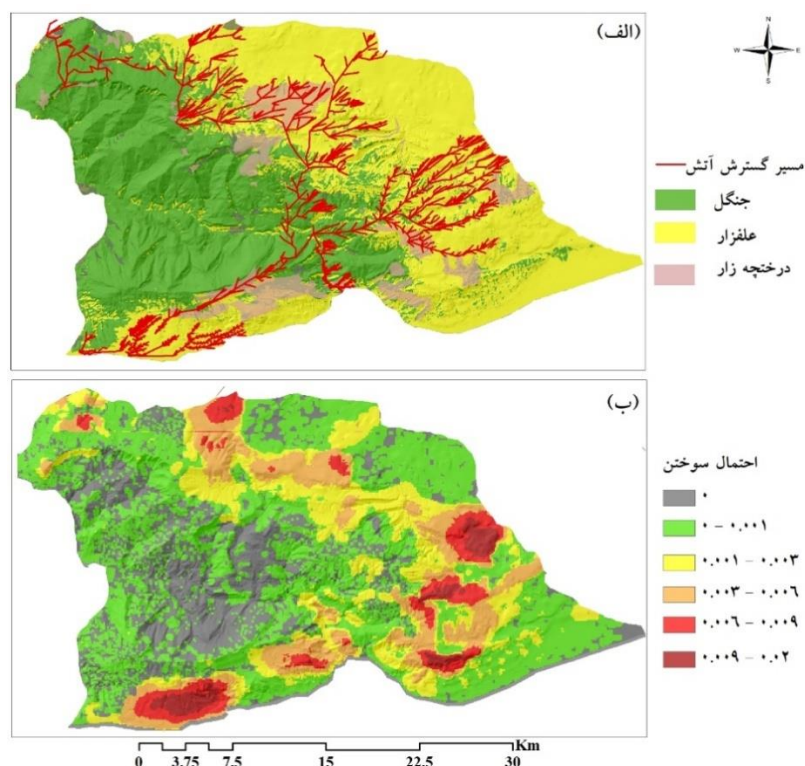
طبقه مدل	نام مدل	سطح (ha)	پوشش (%)
علفی	علفزار با تراکم خیلی کم	۲۱۵۵۶/۰۵	۲۴/۶۶
	علفزار با تراکم کم	۸۵۵۰/۹۶	۹/۷۸
	علفزار با تراکم متوسط	۶۴۰۰/۲۰	۷/۳۲
	علفزار با تراکم زیاد	۵۹۶۲/۵۱	۶/۸۲
درختچه‌ای	درختچه‌زار با تراکم کم	۵۰۶۸/۱۶	۵/۸۰
	درختچه‌زار با تراکم متوسط	۲۲۴۴/۱۸	۲/۵۷
درختی	پهن‌برگ آمیخته با تراکم کم	۱۲۰۱۱/۷۴	۱۳/۷۴
	پهن‌برگ آمیخته با تراکم متوسط	۱۱۴۷۱/۲۶	۱۳/۱۲
	پهن‌برگ آمیخته با تراکم زیاد	۴۸۳۲/۹۳	۵/۵۳
	پهن‌برگ آمیخته با تراکم خیلی زیاد	۵۶۲۲/۵۳	۶/۴۳
	سوزنی‌برگ با تراکم کم	۲۰۱۱/۹۲	۲/۳۰
غیرقابل سوختن		۱۶۶۹/۵۶	۱/۹۱
کل		۸۷۴۰۲	۱۰۰

تعداد آتش‌سوزی مورد انتظار با ضرب تعداد آتش‌سوزی‌های شبیه‌سازی‌شده به نسبت مواد سوختنی علفی و درختی محاسبه شد (جدول ۲). از آنجایی که مدل‌های ماده سوختنی درختچه‌ای از آزمون کای‌اسکوئر حذف شده است، در جدول ۲ این مدل‌ها ارائه نشده است و نسبت سیمای سرزمین به ۱۰۰٪ نمی‌رسد. در این مطالعه ۳۲۴ فقره حریق شبیه‌سازی‌شده، در حالی که تعداد آتش‌سوزی‌های مورد انتظار در این جدول نیز به ۳۲۴ نمی‌رسد، چون انتظار بر این است که بخشی از آن در مواد سوختنی درختچه‌ای رخ دهد. انتظار بر این است که مواد سوختنی علفی ۱۵۷ بار و مواد سوختنی درختی ۱۳۳ بار بسوزند. مجموع مسیره‌های MTT در هر سلول تعداد آتش مشاهده شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در آزمون کای‌اسکوئر فرض بر این است که احتمال رخداد آتش در هر سلول یکسان است و تفاوت‌های مربوط به پتانسیل سوختن بین مواد سوختنی مختلف مانند علفی و درختی را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین تعداد مورد انتظار آتش درصدی از مدل‌های ماده سوختنی جمع‌شده در این سیمای سرزمین است.

جدول ۲- تعداد آتش مورد انتظار برای هر سلول، نسبتی از سیمای سرزمین برای مدل‌های ماده‌سوختنی جمع‌شده و نسبت مورد انتظار و مشاهده‌شده آتش‌سوزی‌های مدل‌سازی‌شده برای هر طبقه برای آتش‌سوزی‌های شبیه‌سازی‌شده.

مدل‌های ماده‌سوختنی متغیر	علفی	درختی
تعداد سلول‌ها	۴۲۴۶۹۷۲	۳۵۹۵۰۳۸
نسبتی از سیمای سرزمین	۴۸/۵۹	۴۱/۱۳
تعداد آتش‌سوزی مورد انتظار در هر سلول	۱۵۷/۴۳	۱۳۳/۲۶
حداکثر تعداد آتش‌سوزی مشاهده‌شده در هر سلول (% از آتش‌سوزی‌های شبیه‌سازی‌شده)	۱۷۸ (۵۴/۹۴)	۱۹۱ (۵۸/۹۵)

بر اساس نتایج بدست آمده بردارهای گسترش آتش تحت تأثیر اکوتون جنگل-علفزار در بیشتر موارد هستند (شکل ۵). در حالی که در بخش‌های غربی پارک که میزان بارندگی بیشتر بوده و دارای آب و هوای مرطوب و معتدل است و جنگل‌های مناطق نیمه مرتفع و مرتفع هیرکانی شکل گرفته است، به دلیل رطوبت زیاد ماده سوختنی مقاومت بیش‌ترین نسبت به گسترش آتش دارند. در مقابل در شرقی‌ترین بخش پارک، نواحی استپی خشک با بارندگی کم در برگیرنده جوامع گیاهی تشکیل‌دهنده رویشگاه ایرانو-تورانی است و بردارهای MTT از مواد سوختنی علفی خشک‌تر در این بخش عبور می‌کند. بردارهای آتش اکوتون‌های جنگل-علفزار را در همه جهت‌های پارک ملی دنبال می‌کنند. این بردارها با حرکت از بخش‌های جنوبی و تقریباً با رسیدن به بخش مرکزی پارک به دو بردار اصلی به طرف جهت‌های شرقی و شمالی تقسیم می‌شود (شکل ۵). نتایج این مطالعه نشان داد که آتش به راحتی در نزدیکی اکوتون جنگل-علفزار حرکت می‌کند که با نتایج فالک و همکاران^۱ (۲۰۱۱) و کانور و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. همچنین این نتیجه که مناطق اکوتون کریدورهای مهم آتش در پارک ملی گلستان است با مطالعات مکانی حوادث آتش تاریخی انجام شده در منطقه مطابقت نیز دارد. بر اساس مطالعات پورشکوری و همکاران (۱۳۹۲) و فرامرزی و همکاران (۱۳۹۳) آتش‌سوزی‌های گسترده با شدت زیاد در بخش جنوبی پارک ملی مشاهده شده است که قسمت عمده‌ای از اکوتون جنگل-علفزار در پارک ملی است. بر اساس نتایج آزمون کای-اسکوئر، از ۸۷۴۰۲۰۰ سلول درون منطقه مطالعه، ۳۴۹۶۱ سلول (۰/۴٪) به اندازه‌ای سوخت که در سطح $P < ۰/۰۵$ معنی‌دار و مهم است. همه سلول‌های مهم در مدل‌های مواد سوختنی علفی واقع شده است. تقریباً دوسوم این سلول‌های مهم در اکوتون جنگل-علفزار پراکنش دارند.



شکل ۵- مسیرهای اصلی گسترش آتش ترسیم‌شده با آنالیز حداقل زمان حرکت FlamMap (الف) و برآوردهای احتمال سوختن در سیمای سرزمین پارک ملی گلستان (ب).

اکوتون‌های جنگل-علفزار کریدورهای مهمی برای رشد آتش در سیمای سرزمین پارک ملی است. مولفه‌های مثلث سوختن (ماده سوختنی، گرما و اکسیژن) در طول این اکوتون به صورت بهینه می‌باشد، که شامل بستر ماده سوختنی پیوسته از مواد سوختنی ریز و سبک است و به سرعت با خشک شدن فوری با آتش می‌سوزند. رطوبت‌های کمتر ماده سوختنی در بخش‌های جنوبی در نتیجه وضعیت توپوگرافی این ناحیه و مسیرهای باد است که کنتورهای توپوگرافی را دنبال می‌کند. توپوگرافی در تعیین کریدورهای اصلی آتش در سیمای سرزمین پارک به روش‌های مختلف اثرگذار است. نخست، توپوگرافی روی توزیع مکانی تیپ‌های ماده سوختنی به‌ویژه در سیمای سرزمین با گرادیان‌های ارتفاعی اساسی اثر می‌گذارد (پارکز و همکاران^۱، ۲۰۱۲). دوم، فعل و انفعال بین باد، ماده سوختنی و توپوگرافی روی رفتار کریدورهای آتش در طول اکوتون اثر می‌گذارد (کووپ و جیوینیش، ۲۰۰۸). در مقایسه اثر توپوگرافی و ماده سوختنی روی گسترش آتش، با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه می‌توان گفت که اثر ترکیب و توزیع ماده سوختنی بیش از توپوگرافی قابل توجه است. این نتیجه مطابق با نتیجه پارکز و همکاران

(۲۰۱۲) است که دریافتند ترکیب ماده سوختنی چهاربرابر مهم‌تر از توپوگرافی برای گسترش آتش در منطقه مورد مطالعه است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ مرطوب در پارک مسیرهای اصلی گسترش آتش تحت شرایط آب و هوایی نرمال نیستند. جریان هوای خنک در توده‌های جنگلی انبوه در غرب پارک همراه با تکرار رخداد‌های آتش‌سوزی سطحی با شدت کم موقعیت اکوتون جنگل-علفزار را کنترل می‌کند. این نتیجه مشابه با نتیجه مطالعه هاروی و همکاران (۲۰۱۷) در تکرار زیاد آتش‌سوزی‌های با شدت کم در مناطق جنگلی در مقایسه با آتش‌سوزی‌های شدید در بخش علفزار و اکوتون است.

نقشه احتمال سوختن (شکل ۵) روندهای مکانی مشخصی را از این سنج ریسک آتش نشان می‌دهد. بخش‌های مرکزی رو به غرب و جنوب پارک مقاومت بیشتری نسب به آتش‌سوزی حتی در شرایط آب و هوای شدید آتش دارند. آتش می‌تواند بخش‌هایی از جنگل‌ها را بسوزاند اما رفتار آن به شدت آتش‌سوزی‌ها در علفزارهای خشک موجود نخواهد بود. این مورد در شمال غربی پارک در جایی که در چند نقطه آتش رخ داده مشخص است. بخش‌های جنوبی و شرقی پارک دارای بیش‌ترین احتمال سوختن هستند که نشان می‌دهد این مناطق گسترش آتش را به سمت مرکز پارک تسهیل می‌کند. همچنین احتمال سوختن به گرادیان ارتفاعی در منطقه مطالعه واکنش نشان می‌دهد، به نحوی که بیش‌ترین احتمال سوختن در علفزارها و اکوتون در بخش جنوبی پارک در دامنه ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متری است. در این مطالعه دامنه ارزش‌های احتمال سوختن در سطح پیکسل بین ۰ الی ۰/۰۲ برآورد شده است. بر اساس مطالعات ایگر و همکاران (۲۰۰۷) و فالک و همکاران (۲۰۱۱) پیکسل‌ها با بیش‌ترین احتمال سوختن مرتبط با مسیرهای اصلی گسترش آتش هستند. نتایج مدل‌سازی مسیرهای گسترش آتش و احتمال سوختن بدست آمده در پارک ملی گلستان نیز با این مطالعات مطابقت دارد. به‌طور کلی احتمال سوختن در نتیجه فعل و انفعالات پیچیده بین توپوگرافی، مواد سوختنی، آب و هوا و احتراق‌ها است. تجزیه و تحلیل‌های مکانی احتمال سوختن می‌تواند برای ارزیابی طرح‌های تغییر مواد سوختنی به منظور کاهش ریسک آتش یا نحوه توزیع منابع کنترل آتش استفاده شود (پاریسین و همکاران، ۲۰۱۹؛ بورلی و مک‌لوگلین^۲، ۲۰۱۹).

۴- نتیجه‌گیری

اکوتون جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان به عنوان منطقه مهم برای حرکت آتش است و مسیرهای MTT یک سیمای سرزمین اشتعال‌پذیر با کربدورهای احتمالی آتش بسیاری را در این منطقه نشان می‌دهد. درک و شناسایی مهم‌ترین مسیرها برای رشد آتش می‌تواند به مدیران اراضی در برنامه‌ریزی اقدامات پیشگیرانه حریق و حفظ این اکوتون به عنوان یک پیوند قوی از آتش و فعالیت‌های بیولوژیکی کمک کند. همچنین با توجه به آتش‌سوزی‌های

1 Parisien et al

2 Beverly and McLoughlin

بزرگی که در دو دهه اخیر در اکوسیستم باارزش پارک ملی گلستان رخ داده است و نیز تکرار رو به افزایش آتش در اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق مختلف ایران، تلاش‌ها برای بازسازی و احیای مناطق سوخته‌شده می‌تواند روی افزایش تاب‌آوری نسبت به آتش‌سوزی در مناطق اکوتون متمرکز شود. بررسی ارتباطات اقلیم-آتش و ساختار توده می‌تواند روش موثری برای شناسایی و درک عوامل مؤثر بر رخداد و شدت آتش در مقیاس سیمای سرزمین ارائه دهد. درک این ارتباطات در گذشته و زمینه‌سازی این ارتباطات برای آینده در مواجهه با تغییر اقلیم از اهمیت زیادی برخوردار است. اگرچه طرح‌هایی که از نظر تاریخی شناسایی شده‌اند ممکن است مستقیماً در مورد سناریوهای آبی و هوا اعمال نشوند، اما می‌توانند بینش‌های مهمی ارائه دهند. مدیریت سیمای سرزمین با مواد سوختنی ناهمگن می‌تواند منجر به افزایش تاب‌آوری محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی اکوسیستم شود. با افزایش آشفته‌گی‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی، آفات و بیماری‌ها و خشکی از نظر فراوانی، وسعت و مدت، چارچوب‌های اکوسیستم‌های طبیعی سازگار با تغییرات اقلیمی و انسان‌ساخت مورد نیاز است.

کتابنامه

- پورشکوری اله‌ده، فرخ؛ درویش صفت، علی اصغر؛ صمدزادگان، فرهاد؛ عطارد، پدرام؛ سلیماری، جواد؛ ۱۳۹۲. ارزیابی الگوریتم جهانی کشف آتش در شناسایی آتش فعال در عرصه‌های منابع طبیعی به کمک تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان). *پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*. ۲۳ (۴): ۸۱-۹۷.
- جهدی، رقیه؛ درویش صفت، علی اصغر؛ اعتماد، وحید؛ ۱۳۹۴. ارزیابی اثر وضعیت رطوبت ماده سوختنی بر گسترش و رفتار آتش در پارک ملی گلستان. *جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران*. ۶۸ (۴): ۷۹۹-۸۱۳.
- غلامی، نغمه؛ مصداقی، منصور؛ ۱۳۹۰. بررسی الگوی مکانی درختچه‌ها در بیشه پارک ملی گلستان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۱۸ (۴): ۵۱۵-۵۲۵.
- فرامرزی، حسن؛ حسینی، سیدمحسن؛ غلامعلی فرد، مهدی؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مخاطره آتش‌سوزی پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰: ۷۳-۹۰.
- قدسی، مرضیه؛ مصداقی، منصور؛ حشمتی، غلامعلی؛ ۱۳۹۰. بررسی اثر گیاهان با فرم‌های رویشی مختلف بر ویژگی‌های سطح خاک (مطالعه موردی: مراتع نیمه استپی پارک ملی گلستان). *پژوهش‌های آبخیزداری*. ۹۳: ۶۳-۶۹.

- Ager, A.A., Finney, M.A., Kerns, B.K., & Maffei, H., 2007. Modeling wildfire risk to northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*) habitat in Central Oregon, USA. *Forest Ecology and Management*. 246: 45-56.
- Ager, A.A., Day, M.A., McHugh, C.W., Short, K., Gilbertson- Day, J., Finney, M.A., & Calkin, D.E., 2014. Wildfire exposure and fuel management on western US national forests. *Journal of Environmental Management*. 145: 54-70.
- Akhani, H., 1998. Plant Biodiversity of Golestan National Park, Iran. *Stapfia*. 53: 1-411.

- Akhani, H., 1999. Studies on the flora and vegetation of the Golestan National Park, NE Iran, III. Three new species, one new subspecies and fifteen new records for Iran. *Edinburgh Journal of Botany*. 56 (1): 1–31.
- Arca, B., Pellizzaro, G., Duce, P., Salis, M., Bacciu, V., Spano, D., Ager, A.A., Finney, M.A., & Scoccimarro, E., 2012. Potential changes in fire probability and severity under climate change scenarios in Mediterranean areas. In Spano D, Bacciu V, Salis M, Sirca C (eds.), 2012. *Modelling Fire Behavior and Risk*. 92–98.
- Amoroso, M.M., Daniels, L.D., Bataineh, M., & Andison, D.W., 2011. Evidence of mixed-severity fires in the foothills of the Rocky Mountains of west-central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*. 262: 2240–2249.
- Beverly, J.L., & McLoughlin, N., 2019. Burn probability simulation and subsequent wildfire activity in Alberta, Canada – Implications for risk assessment and strategic planning. *Forest Ecology Management*. 451: 117490.
- Boren, J.C., Engle, D.M., Gregory, M.S., Masters, R.E., Bidwell, T.G., & Mast, V.A., 1997. Landscape structure and change in a hardwood forest-tall-grass prairie ecotone. *Journal of Range Management*. 50: 244–249.
- Calkin, D.E., Thompson, M.P., Finney, M.A., & Hyde, K.D., 2011. A real-time risk assessment tool supporting wildland fire decision making. *Journal of Forestry*. 109 (5): 274–280.
- Conver, J.L., Falk, D.A., Yool, S.R., & Parmenter, R.R., 2018. Modeling Fire Pathways in Montane grassland-forest ecotones. *Fire Ecology*. 14 (1): 17–32.
- Coop, J.D., & Givnish, T.J., 2007. Spatial and temporal patterns of recent forest encroachment in montane grasslands of the Valles Caldera, New Mexico, USA. *Journal of Biogeography*. 34: 914–927.
- Coop, J.D., & Givnish, T.J., 2008. Constraints on tree seedling establishment in montane grasslands of the Valles Caldera, New Mexico. *Ecology*. 89: 1101–1111.
- Delcourt, P.A., & Delcourt, H.R., 1992. Ecotone dynamics in space and time. Pages 19–54 in: A.J. Hansen and F. diCasti, editors. *Landscape boundaries: consequences for biotic diversity and ecological flows*. Springer, New York, New York, USA.
- Falk, D.A., Allen, C.D., Parmenter, R., Swetnam, T., & Dils, C., 2011. *Fire Regimes of Montane Grasslands of the Valles Caldera National Preserve, New Mexico*. JFSP Research Project Reports. 83.
- Finney, M.A., 2006. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In ‘Fuels management—how to measure success: conference proceedings’, 28–30 March, Portland, OR. (Comp PL Andrews, BW Butler), USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station Proceedings RMRS-P-41, pp. 213–220.
- Finney, M.A., 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 211: 97–108.
- Finney, M.A., 2002. Fire growth using minimum travel time methods. *Canadian Journal of Forest Research*. 32(8): 1420–1424.
- Fisher, R.F., Jenkins, M.J., Fisher, J.W., 1987. Fire and the prairie-forest mosaic of Devil’s Tower National Monument. *The American Midland Naturalist*. 117: 250–257.
- González-Olabarria, J.R., & Pukkala, T., 2011. Integrating fire risk considerations in landscape-level forest planning. *Forest Ecology and Management*. 261: 278–287.
- Harvey, J.E., Smith, D.J., & Veblen, T.T., 2017. Mixed-severity fire history at a forest-grassland ecotone in west central British Columbia, Canada. *Ecological Applications*. 27 (6): 1–15.
- Jahdi, R., Salis, M., Alcasena, F., Arabi, M., Arca, B., Duce, P., 2020. Evaluating landscape-scale wildfire exposure in northwestern Iran. *Natural Hazards*. 101: 911–932.

- Jahdi, R., Salis, M., Darvishsefat, A.A., Alcasena, F., Mostafavi, M.A., Etemad, V., Munoz Lozano, O., & Spano, D., 2016. Evaluating fire modeling systems in recent wildfires of the Golestan National Park, Iran. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 89: 136-149.
- Keane, R.E., Cary, G.J., Parsons, R., 2003. Using simulation to map fire regimes: An evaluation of approaches, strategies, and limitations. *International Journal of Wildland Fire*. 12: 309-322.
- Kitzberger, T., 2012. Ecotones as complex arenas of disturbance, climate, and human impacts: the trans-Andean forest-steppe ecotone of northern Patagonia. Pages 59-88 in: R.W. Myster, editor. *Ecotones between forest and grassland*. Springer, New York, New York, USA.
- Kotze, D.J., & Samways, M.J., 2001. No general edge effects for invertebrates at Afromontane forest/grassland ecotones. *Biodiversity & Conservation*. 10: 443-466.
- League, K., & Veblen, T., 2006. Climatic variability and episodic *Pinus ponderosa* establishment along the forest-grassland ecotones of Colorado. *Forest Ecology and Management*. 228(1): 98-107.
- Leylian, M.R., Amirkhani, A., Ansari, M., & Bemanian, M.R., 2010. Investigating the Perceptions of Residents in Golestan National Park, Iran. *Asian Social Science*. 6 (9): 64-72.
- McPherson, G.R., 1995. The role of fire in the desert grasslands. Pages 130-151 in: M.P. McClaran, and T.R. Van Devender, editors. *The desert grassland*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA.
- Miller, C., & Ager, A.A., 2013. A review of recent advances in risk analysis for wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*. 22: 1-14.
- Miller, C., Parisien, M.A., Ager, A.A., & Finney, M.A., 2008. Evaluating spatially explicit burn probabilities for strategic fire management planning. *Transactions on Ecology and the Environment*. 19: 245-252.
- Moritz, M.A., Hessburg, P.F., & Povak, N.A., 2011. Native fire regimes and landscape resilience. Pages 51-88 in: D. McKenzie, C. Miller, and D.A. Falk, editors. *The landscape ecology of fire*. Springer, New York, New York, USA.
- Myster, R.W., editor. 2012. *Ecotones between forest and grassland*. Springer, New York, New York, USA.
- Noonan-Wright, E.K., Opperman, T.S., Finney, M.A., Zimmerman, G.T., Seli, R.C., Elenz, L.M., Calkin, D.E., & Fiedler, J.R., 2011. Developing the US wildland fire decision support system (WFDSS). *Journal of Combustion*. 2011: 11-40.
- Parks, S.A., Parisien, M.A., & Miller, C., 2012. Spatial bottom-up controls on fire likelihood vary across western North America. *Ecosphere*. 3(1): 1-20.
- Parisien, M.A., Dawe, D.A., Miller, C., Stockdale, C.A., & Armitage, O.B., 2019. Applications of simulation-based burn probability modelling: a review. *International Journal of Wildland Fire*. 28: 913-926.
- Peterson, D.W., & Reich, P.B., 2008. Fire frequency and tree canopy structure influence plant species diversity in a forest-grassland ecotone. *Plant Ecology*. 194(1): 5-16.
- Salis, M., Ager, A.A., Arca, B., Finney, M.A., Bacciu, V., Duce, P., & Spano, D., 2013. Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy. *International Journal of Wildland Fire*. 22 (4): 549-565.
- Salis, M., Ager, A.A., Finney, M.A., Arca, B., & Spano, D., 2014. Analyzing spatiotemporal changes in wildfire regime and exposure across a Mediterranean fire-prone area. *Natural Hazards*. 71(3): 1389-1418.

- Schoennagel, T., Smithwick, E.A., & Turner, M.G., 2008. Landscape heterogeneity following large fires: insights from Yellowstone National Park, USA. *International Journal of Wildland Fire*. 17: 742-753.
- Sirolli, H., & Kalesnik, F., 2010. Effects of fire on a forest-grassland ecotone in De La Plata River, Argentina. *Plant Ecology*. 212 (4): 689-700.
- Thompson, M.P., Calkin, D.E., Gilbertson-Day, J.W., Ager, A.A., 2011. Advancing effects analysis for integrated, large scale wildfire risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 179 (1-4): 217-239.
- Thompson, M.P., Scott, J., Langowski, P.G., Gilbertson-Day, J.W., Haas, J.R., & Bowne, E.M., 2013. Assessing watershed-wildfire risks on national forest system lands in the rocky mountain region of the United States. *Water*. 5(3): 945-971.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۱۵۷-۱۴۳

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i3.87005>

مقاله پژوهشی

پارامترهای مؤثر بر مسائل زیست محیطی در شمال غرب ایران (مطالعه موردی: خشک شدن دریاچه ارومیه)

محسن جان‌پرور^۱ - استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

فرید عباسی - دانش آموخته کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

الهام قباسفیدی - دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

دریا مازندرانی - دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۵

چکیده

مسائل زیست محیطی در جغرافیا و میان جغرافیدانان از اهمیت و جایگاه برجسته‌ای برخوردار است چراکه پایه‌های این حوزه علمی بر محیط زیست قرار دارد. مسائل زیست محیطی در کشور ایران در طی دهه‌های اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای کرده‌اند و فضاهاى جغرافیایی را تحت شعاع خود قرار داده‌اند. در این میان شمال غرب کشور وضعیت ویژه‌ای دارد؛ چراکه کم آبی دریاچه ارومیه توانایی از بین بردن اکوسیستم موجود در آنجا را به صورت بالقوه داراست. بر این مبناء، پژوهش حاضر با هدف شناسایی پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه و رتبه‌بندی آن‌ها تلاش دارد گام مثبتی جهت ایجاد شناخت و تلاش جهت کاهش مسائل ناشی از این مشکل زیست محیطی بردارد. روش به کار رفته در این پژوهش، توصیفی-تحلیلی است. روش جمع‌آوری اطلاعات بر مبنای کتابخانه‌ای و نیز میدانی (پرسشنامه‌ای) بوده و تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون T-test انجام شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد ۴۴ پارامتر در بعد انسانی، طبیعی و ترکیبی در خشک شدن دریاچه ارومیه نقش دارند. در بین پارامترهای انسانی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه پارامترهای برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه و کم توجهی به مدیریت منابع آبی، در پارامترهای طبیعی، تغییر بارش و کم شدن بارش و کم آبی و خشکسالی‌های پی در پی، و در پارامترهای ترکیبی، تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پر آب و استفاده از تالاب‌ها بدون توجه به توان تالاب‌ها، اهمیت بیشتری در خشک شدن دریاچه ارومیه دارند.

کلیدواژه‌ها: محیط زیست، شمال غرب ایران، دریاچه ارومیه، خشکی.

۱- مقدمه

اگرچه محیط‌زیست دارای قدمت بس طولانی است اما توجه به مفهوم و کاربرد علمی آن محدود به چند دهه اخیر است. به تعریف دبیر کل یونسکو، محیط‌زیست همه چیز یا تقریباً همه چیز را دربر می‌گیرد. هم انسان، هم طبیعت، و هم روابط بین این دو را شامل می‌شود و بر کلیه فعالیت‌های بشر تأثیر دارد و ضمناً از آن‌ها متأثر می‌شود (مهرآرا و همکاران، ۱۳۹۷). به بیان دیگر، محیط‌زیست عبارت است از یک ساختار منسجم که در آن همه عوامل و شرایط محیطی در یک ارتباط متقابل با یکدیگر قرار دارند (داوودیان و اسکندری ثانی، ۱۳۹۶). امروزه محیط‌زیست بسیاری از مسائل را در بر می‌گیرد، از جمله آب و هوا، گرمایش جهانی، بالا آمدن سطح دریاها، حفظ گونه‌های گیاهی و حیوانی، فرسایش لایه ازن، آثار فعالیت‌های صنعتی ناشی از اعمال انسان، تخریب جنگل‌ها، آلودگی آب‌ها، باران‌های اسیدی، آلودگی صوتی و بسیاری مسائل دیگر مانند آن (جمالی، ۱۳۸۹). از آنجاکه بشر جزئی از طبیعت است که باید حیات مستمر داشته باشد و سیستم طبیعی تأمین کننده آن است، هر جزئی از حیات با هر نوع سود و فایده‌ای که دارد، بی‌نظیر و مستحق احترام است زیرا که تمدن بشر ریشه در طبیعت دارد و فرهنگ و هنر و علم بشر با تأثیر از آن شکل یافته است (حبیبی، ۱۳۷۹: ۸). با وجود این اهمیت و جایگاه برجسته محیط‌زیست، امروزه اکوسیستم‌های ملی، منطقه‌ای و جهانی در وضعیت وخیم آلودگی قرار دارند و این نشان دهنده ورود خسارات غیرقابل جبران بر محیط‌زیست است (جلالی، ۱۳۸۸) به نحوی که چالش‌های زیست‌محیطی برخاسته از دگرگونی‌های اقلیمی، تغییر الگوی بارش، گسترش صنعت و کشاورزی، رشد جمعیت، کاهش منابع و افزایش کشمکش بر سر منابع طبیعی و بنیادهای زیستی، بهره‌کشی از منابع طبیعی در قالب جنگل زدایی، بیابان‌زایی، نابودی مراتع و کشاورزی بی‌رویه، بهره‌گیری از سم‌های گوناگون برای پیکار با آفات گیاهی و جانوری به آشفتگی تعادل بوم‌شناختی و فروسایي محیط‌زیست آبی و خشکی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای، ملی، منطقه‌ای و جهانی انجامیده به گونه‌ای که (زیست‌کره) و (زیست) در مقیاس و مفهوم کلان و بقای حیات و مدنیت انسان در مقیاس خردتر با چالش‌های بنیادی همراه شده‌اند (کاویانی‌راد، ۱۳۹۷: ۱۵). در مجموع می‌توان گفت تحولات و تغییرات صورت گرفته در عرصه محیط‌زیست مبتنی بر چالش‌های فوق فضای جغرافیایی را از حالت بسامان خارج کرده است. این امر سبب شده است که امر حفاظت و بهسازی محیط‌زیست و مقابله با بحران‌های محیط‌زیستی به یکی از مهم‌ترین مسائل در اداره امور کشورها تبدیل شود و مسائل محیط‌زیستی در دستور کار اغلب دولت‌های جهان در سطح داخلی و بین‌المللی قرار گیرد (عبداللهی و فریادی، ۱۳۸۹). بر این مبنا، فضاهای جغرافیایی، متناسب با چگونگی مواجهه با مسائل محیط‌زیستی و سیاست‌ها و استراتژی‌هایی که در پیش می‌گیرند تلاش می‌کنند ضمن برطرف کردن مسائل و مشکلات محیط‌زیستی خود، زمینه را برای پایداری محیط‌زیست به وجود آورند. در این میان ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و تلاش‌ها و سیاست‌هایی برای حفظ و پایداری محیط‌زیست در آن در نظر گرفته شده است. البته، با

وجود اقدامات صورت گرفته در حوزه محیط‌زیست، وضعیت محیط‌زیست کشور به گواهی (شاخص عملکرد زیست‌محیطی)، (شبکه ردپای جهانی) و (بانک جهانی) با هدف (محیط‌زیست مطلوب) در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ فاصله قابل توجهی دارد (اسماعیلی فرد و دیگران، ۱۳۹۶). این بحث در ناحیه شمال غرب کشور تا حد قابل توجهی بارزتر است چراکه با مشکلات و بحران‌های زیست‌محیطی مانند آلودگی رودخانه ارس، آلودگی و فرسایش خاک و آلودگی آب بر اثر کشاورزی غیراصولی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی، کاهش تنوع زیستی و آلودگی هوا در کلان‌شهرهای تبریز و ارومیه روبه‌رو است. بهره‌برداری نامناسب از طبیعت در ناحیه شمال غرب ایران موجب پیدایش چالش‌های زیست‌محیطی شده که در این میان، خشک شدن دریاچه ارومیه به مهم‌ترین بحران زیست‌محیطی شمال غرب و شاید کشور مبدل شده است و شروع فجایع محیط‌زیستی را در این حوزه هشدار می‌دهد. از آنجا که ناحیه شمال غرب یکی از مراکز مهم کشور است و جغرافیای خاص خود را از نظر کشاورزی و صادرات، صنایع، تجارت و داد و ستد خارجی دارد و از دیرباز یکی از اصلی‌ترین کانون‌های اقتصادی ایران بوده است، پارامترهای سیاسی، نظامی و اقتصادی در کنار فرهنگ و منابع طبیعی غنی، این ناحیه را به یکی از مهم‌ترین نواحی ایران تبدیل کرده است. منطقه‌ای که از قطب‌های اقتصادی-صنعتی ایران است و سهم مهمی از پرداخت مالیات کشور و صادرات غیر صنعتی دارد (کاویانی‌راد، ۱۳۹۷: ۱۵). با توجه به وجود چنین وضعیتی در شمال غرب کشور، لزوم پژوهش و اطلاع از دلایل و متغیرهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه که خود می‌تواند منشأ مسائل و چالش‌های زیست‌محیطی متعدد دیگر در آینده باشد ضروری به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است بررسی‌های صورت گرفته نشان دهنده آن است که پژوهش‌هایی که در زمینه خشک شدن دریاچه ارومیه صورت گرفته بیشتر به صورت تک‌بعدی، ناکافی و پراکنده به موضوع پرداخته‌اند. در پژوهش حاضر تلاش خواهد شد با نگاهی جامع‌تر، کامل‌تر و فراگیرتر به موضوع پرداخته و پارامترهایی که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته‌اند مورد توجه قرار داده شوند تا با اطلاع از دلایل و متغیرهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه و آگاهی از چرایی به وجود آمدن چنین بحران‌هایی در جهت حل آن‌ها و نیز پیشگیری از وقوع دوباره آن‌ها گام برداشت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منابع انتخاب شاخص‌ها

مطالعه پیشینه تحقیق باعث گسترش آگاهی‌های محقق درباره موضوع می‌شود؛ تا بتواند در پرتو اطلاعات به دست آمده، مسئله تحقیق و متغیرهای خود را دوباره تعریف و معین کند و کرانه‌های آن‌ها را مشخص سازد. این امر کمک می‌کند تا تحقیقات در راستای مجموعه پژوهش‌های هم‌خانواده قرار گیرد و با دستاوردهای تحقیقاتی دیگران هماهنگ شود. همچنین مطالعه پیشینه از دوباره‌کاری و انجام کارهای تکراری جلوگیری می‌کند. در پژوهش حاضر

نیز تلاش شده است با مطالعه پیشینه تحقیق ضمن بهره‌برداری از نتایج این تحقیقات تا حد امکان نواقص آن‌ها در کار حاضر برطرف شود. در ادامه برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در زمینه علل خشک شدن دریاچه ارومیه در قالب جدول زیر به تفکیک پارامترها و منابع آورده شده است:

جدول ۱- پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

منابع	پارامترها
برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه، ۱۳۹۰	رقابت برای استفاده و تخصیص منابع آب، آلودگی آب بر اثر افزایش تخلیه آلاینده‌های شیمیایی کشاورزی و افزایش فاضلاب شهری، کاهش آب رودها بر اثر رخداد خشکسالی، سدسازی و تغییرات اقلیمی، تغییر کاربری و تخریب چراگاه‌های طبیعی و افزایش رسوبات ورودی به دریاچه، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، پدیدار شدن گونه‌های غیربومی و پرورش آبزیان در حوضه آب خیز، تغییر کاربری زیستگاه‌ها و توسعه زمین‌های کشاورزی در مناطق تالابی و احداث ساختمان در چراگاه‌های پیرامون و مجاور تالاب، کاهش کیفیت آب بر اثر تخلیه پساب‌های روستایی تصفیه نشده و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع تالاب‌ها
سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵	خشکسالی، کاهش آب ورودی به دریاچه، لایروبی رودخانه‌ها
احمدی و اکبرزاده، ۱۳۹۷	اجرای طرح‌های متعدد توسعه آبی، توسعه روز افزون بخش کشاورزی، تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پر آب، عدم حفاظت مؤثر از منابع زیست‌محیطی و اکولوژی، نوسانات اقلیمی، کاهش میزان بارش، کاهش روان آب، خشکسالی‌های مستمر، مصرف بیش از حد آب شیرین برای کشاورزی در مناطق ساحلی دریاچه، آلودگی منابع آب و خاک با انواع آلاینده‌های صنعتی، کشاورزی و پساب‌های شهری، فعالیت‌های بندرها، برداشت بی‌رویه نمک، گسترش ساخت‌وساز در مجاورت دریاچه، افزایش تبخیر و نبود برنامه آمایشی منسجم برای کل حوضه آبریز
فرجی و همکاران، ۱۳۹۷	سدسازی، کاهش بارندگی، حفر چاه‌های کشاورزی در اطراف دریاچه
احمدی و همکاران، ۱۳۹۳	تغییر اقلیم، سدسازی، احداث راه گذر، برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه، از بین بردن جریان‌های چرخش دریاچه، کاهش بارندگی، کم عمقی دریاچه، تغییر الگوی کشت
ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۶	کم آبی و خشکسالی، تغییرات اقلیمی، تغییر بارش
سلیمی ترکمانی، ۱۳۹۰	پروژه‌های عمرانی، استفاده ناپایدار از تالاب‌ها بدون توجه به توانایی تالاب در رفع آثار نامطلوب ناشی از فعالیت‌های بشری، افزایش طرح‌های توسعه و بهره‌برداری از آب، احداث بزرگراه شهید کلانتری، احداث سدها و کاهش آب ورودی به دریاچه، فعالیت‌های عمرانی و اقتصادی در تالاب ارومیه.
مینی و همکاران، ۱۳۸۸	تغییر اقلیم دریاچه، احداث پل شهید کلانتری
پروین، ۱۳۹۰	خشکسالی، نوسانات اقلیمی، کمبود بارش، کشت محصولات استراتژیک
کاویانی راد، ۱۳۹۰	تغییر اقلیم، الگوی کشت، خشکسالی، کم بارشی، سد و پل‌سازی، گسترش کشاورزی در فرادست رودهای منتهی به دریاچه، کم توجهی به مدیریت منابع آب، شکل و ساختار زمین، موقعیت عمومی جغرافیایی و قرار گرفتن در کمربند خشک کره زمین، عرض جغرافیایی و همسایگی با پرفشار جنب حاره‌ای، گرمایش کره زمین، افت شدید آب‌های زیرزمینی و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، الگوی مصرف، عدم استفاده از روش‌ها و الگوهای کشت مدرن، افزایش دما و افزایش تبخیر، برداشت از آب‌های سطحی و رودخانه‌ها برای جبران اثرات خشکسالی
نادر صفت، ۱۳۹۰	ارتفاع، ژئومورفولوژی

پارامترها	منابع
دوره خشکسالی، احداث سد، تبخیر آب، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی	محرمی و همکاران، ۱۳۹۵
شیب، نوع خاک، سیاست‌های غلط، عدم مشارکت مردم منطقه در مسائل محیط‌زیستی، عدم تخصیص بودجه کافی برای محیط‌زیست، عدم نظارت مسئولین، مهاجرت، آسیب‌پذیری معیشتی و فقر، اشتغال، الگوی زیست، افزایش باغات در حاشیه دریاچه	متغیرهای اضافه شده توسط نگارنده

همان‌گونه که در جدول بالا آورده شده است پژوهش‌ها و مطالعات قبلی متعددی درباره علل خشک شدن دریاچه ارومیه صورت گرفته است. بررسی کلی کارهای صورت گرفته در این زمینه نشان‌دهنده آن است که بیشتر این کارها به صورت تک‌بعدی و یا به صورت پراکنده به مسئله خشک شدن دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. بر این مبنا، پژوهش حاضر با مطالعه‌ای متفاوت به دنبال آن است که با نگرشی جامع موضوع خشک شدن دریاچه ارومیه را مورد بحث و بررسی قرار دهد.

۲-۲- روش‌شناسی تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و گردآوری اطلاعات به دو روش کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است. مبانی و شاخص‌های تحقیق از پژوهش‌های پیشین در زمینه مطالعات دریاچه ارومیه به دست آمده است و همچنین پرسش‌نامه‌ای برای شناسایی و رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه طراحی و نظر صاحب‌نظران در حوزه‌های مختلف گرفته شد که با عنایت به تخصصی بودن موضوع تحقیق، جامعه آماری تحقیق با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. سؤالات به صورت طیف لیکرت با ۵ گزینه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تنظیم و نظر ۷۰ نفر از اساتید و فعالین محیط‌زیستی سنجش گردید. برای به دست آوردن روابط بین متغیرها از روش آماری آزمون T تک متغیره در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در پژوهش حاضر تلاش شده است با نگرشی کلان نگر و جامع پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه را مورد بحث و بررسی قرار بدهد تا ضمن شناخت این پارامترها به رتبه‌بندی آن‌ها از نظر اهمیت نیز پرداخته شود.

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- یافته‌های آماری

برای اینکه بتوان پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه را مبتنی بر پارامترهای استخراج شده از نظریات و کارهای گذشته مورد آزمون و تأیید قرار داد و وزن آن‌ها را سنجید در این بخش پارامترها در قالب پرسشنامه طراحی شده است و در اختیار صاحب‌نظران و متخصصان این حوزه قرار گرفته است. پرسشنامه طراحی شده برای این منظور مشتمل بر ۵۰ پارامتر بوده است که با توجه به تخصصی بودن موضوع تحقیق با استفاده از روش

نمونه‌گیری هدفمند، در اختیار ۷۰ نفر از اساتید دانشگاه‌ها و فعالان محیط‌زیستی قرار گرفته است تا بتوان تأیید یا رد و از سوی دیگر وزن این پارامترها را سنجید.

۳-۲- روایی و پایایی

برای آزمون درستی و خوب بودن پرسشنامه انواع آزمون‌های روایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نویسندگان برای تفهیم آزمون‌های روایی اصطلاحات مختلفی بکار می‌گیرند مانند: روایی محتوی، روایی معیار و روایی سازه (دانایی فرد و دیگران، ۱۳۸۳: ۳۱۳). برای تأیید بر روایی سؤالاتی که در اینجا مطرح شده است می‌توان به تأیید اساتید و صاحب‌نظران این حوزه اشاره کرد.

از سوی دیگر، پایایی پرسشنامه، از طریق آزمون سازگاری و ثبات تأیید می‌شود. سازگاری نشان می‌دهد چگونه اجزایی که یک مفهوم را می‌سنجد به صورت یک مجموعه، به نحوی شایسته به هم گره می‌خورند. ضریب آلفای کرانباخ نوعی ضریب پایایی است که نشان می‌دهد چگونه اجزاء در یک مجموعه، به نحو مناسب به یکدیگر همبسته شده‌اند. آلفای کرانباخ در قالب میانگین همبستگی‌های درونی میان اجزاء سنجش‌کننده محاسبه می‌شود. اگر آلفای کرانباخ به ۱ نزدیک‌تر باشد، پایایی سازگاری درونی بیشتر است (دانایی فرد و دیگران، ۱۳۸۳: ۴۸۵). بر این اساس، نتیجه آزمون کرانباخ برای پرسشنامه حاضر به صورت ذیل است:

آزمون آلفای کرانباخ	
تعداد متغیرها	آلفای کرانباخ
۵۰	۰/۸۴۹

بر پایه آزمون کرانباخ با توجه به اینکه نتیجه به دست آمده از این آزمون ۰/۸۴۹ است و به ۱ نزدیک می‌باشد می‌توان گفت که پرسشنامه از پایایی لازم برخوردار بوده است.

۳-۳- آمار توصیفی

برای شناخت بهتر صاحب‌نظران و مسئولین اجرایی که در تحقیق حاضر به عنوان نخبگان این حوزه مطالعاتی در نظر گرفته شده است آمار توصیفی آن‌ها بدین شرح ارائه می‌شود که از نظر جنسیت تعداد ۲۰ نفر از پاسخ‌دهندگان زن و تعداد ۵۰ نفر نیز مرد بوده است. از نظر مدرک تحصیلی، تعداد ۲۰ نفر از پاسخ‌دهندگان دارای مدرک کارشناسی ارشد و تعداد ۵۰ نفر دارای مدرک دکتری بوده‌اند. در نهایت، تعداد ۱۵ نفر از پاسخ‌دهندگان دارای تخصص در علوم و مهندسی آب، ۲۷ نفر دارای تخصص در علوم جغرافیایی، ۱۳ نفر دارای تخصص محیط‌زیست و ۱۵ نفر دارای تخصص در سایر رشته‌های تحصیلی بوده‌اند.

۳-۴- آمار استنباطی

پرسشنامه تحقیق حاضر، شامل ۵۰ پارامتر، توسط متخصصین در حوزه‌های مرتبط با موضوع تحقیق، شامل ۷۰ نفر، تکمیل شد و برای تحلیل آن جهت تأیید یا رد از آزمون T-test تک متغیره استفاده شده است. نتایج آزمون حاضر به صورت جدول ذیل آورده شده است:

جدول ۲- نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای در خصوص پارامترهای انسانی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

پارامترها	t	df	سطح معناداری	اختلاف میانگین	در سطح ۹۵٪ اطمینان	
					پایینی	بالایی
الگوی مصرف نادرست آب توسط ساکنین منطقه	۵/۲۶۰	۶۹	/۰۰۰	۰/۷۸۵۷۱	۰/۴۸۷۷	۱/۰۸۳۷
عدم استفاده از روش‌ها و الگوهای کشت مدرن	۰/۵۵۱	۶۹	/۰۰۰	۰/۹۷۱۴۳	۰/۷۱۴۸	۰/۲۲۸۱
احداث پل شهید کلانتری در میان دریاچه	۰/۲۴۶	۶۹	/۰۰۰	۰/۹۴۲۸۶	۰/۶۸۳۳	۰/۲۰۲۴
احداث سدها و آب‌بندها	۱۲/۱۷۳	۶۹	/۰۰۰	۱/۳۸۵۷۱	۱/۱۵۸۶	۱/۶۱۲۸
برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه	۲۲/۴۸۳	۶۹	/۰۰۰	۱/۵۰۰۰۰	۱/۳۶۶۹	۱/۶۳۳۱
افزایش طرح‌های توسعه و بهره‌برداری از آب	۱۶/۷۵۹	۶۹	/۰۰۰	۱/۳۷۱۴۳	۱/۲۰۸۲	۱/۵۳۴۷
کم توجهی به مدیریت منابع آبی	۱۸/۲۵۷	۶۹	/۰۰۰	۱/۴۱۴۲۹	۱/۲۵۹۷	۱/۵۶۸۸
استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی	۱۰/۵۶۰	۶۹	/۰۰۰	۱/۱۴۲۸۶	۰/۹۲۷۰	۱/۳۵۸۸
رقابت برای استفاده و تخصیص منابع آبی به علت توسعه کشاورزی، صنعت و شهرنشینی	۱۱/۶۳۹	۶۹	/۰۰۰	۱/۱۴۲۸۶	۰/۹۴۷۰	۱/۳۸۸۷
آلودگی منابع آب بر اثر تخلیه آلاینده‌های شیمیایی کشاورزی	۴/۹۲۰	۶۹	/۰۰۰	۰/۵۷۱۴۳	۰/۳۳۹۶	۰/۸۰۳۱
آلودگی منابع آبی بر اثر افزایش فاضلاب شهری	۴/۴۵۲	۶۹	/۰۰۰	۰/۴۸۵۷۱	۰/۲۶۸۱	۰/۷۰۳۴
پروژه‌های عمرانی	۴/۵۳۰	۶۹	/۰۰۰	۰/۵۴۲۸۶	۰/۳۰۳۸	۰/۷۸۱۹
برداشت از آب‌های سطحی و رودخانه‌ها برای جبران اثرات خشکسالی	۸/۶۲۱	۶۹	/۰۰۰	۰/۹۴۲۸۶	۰/۷۲۴۷	۱/۱۶۱۰
توسعه بی‌رویه کشاورزی در اطراف دریاچه	۹/۵۳۴	۶۹	/۰۰۰	۱/۱۰۰۰۰	۰/۸۶۹۸	۱/۳۳۰۲
کاهش کیفیت آب بر اثر پساب‌های روستایی تصفیه نشده	۳/۹۵۹	۶۹	/۰۰۰	۰/۵۱۴۲۹	۰/۲۵۵۲	۰/۷۷۳۴
بهره‌برداری بی‌رویه از منابع تالاب‌ها	۹/۲۸۸	۶۹	/۰۰۰	۰/۹۴۲۸۶	۰/۷۴۰۳	۱/۱۴۵۴
عدم لایروبی رودخانه‌ها	۳/۶۸۷	۶۹	/۰۰۰	۰/۴۱۴۲۹	۰/۱۹۰۱	۰/۶۳۸۵
اجرای طرح‌های متعدد توسعه آبی	۱۰/۱۳۹	۶۹	/۰۰۰	۰/۹۴۲۸۶	۰/۷۵۷۳	۱/۱۲۸۴
عدم حفاظت مؤثر از منابع زیست‌محیطی و اکولوژیکی منطقه	۶/۶۱۴	۶۹	/۰۰۰	۸۷/۱۴۳	۰/۶۰۸۶	۱/۱۳۴۳
فعالیت‌های بندرهای موجود در اطراف دریاچه	-۰/۵۲۷	۶۹	/۶۰۰	-۰/۰۷۱۴۳	-۰/۳۴۱۷	۰/۱۹۸۸
برداشت بی‌رویه نمک از دریاچه	-۲/۳۸۸	۶۹	/۰۲۰	-۰/۳۲۸۵۷	-۰/۶۰۳۱	-۰/۰۵۴۱
نبود برنامه آمایشی منسجم برای کل حوضه آبریز دریاچه	۷/۵۸۳	۶۹	/۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰	۰/۷۳۶۹	۱/۲۳۳۱
حفر چاه‌های کشاورزی در اطراف دریاچه	۷/۷۱۱	۶۹	/۰۰۰	۱/۰۲۸۵۷	۰/۷۶۲۵	۱/۲۹۴۷

پارامترها	t	df	سطح معناداری	اختلاف میانگین	در سطح ۹۵٪ اطمینان	
					پایینی	بالایی
انتخاب سیاست‌های اشتباه	۹/۹۷۲	۶۹	/۰۰۰	۱/۲۸۵۷۱	۱/۰۲۸۵	۱/۵۴۲۹
عدم مشارکت مردم منطقه در مسائل زیست‌محیطی	۵/۴۱۵	۶۹	/۰۰۰	۰/۷۰۰۰۰	۰/۴۴۲۱	۰/۹۵۷۹
عدم تخصیص بودجه کافی برای مسائل زیست‌محیطی منطقه	۷/۲۰۰	۶۹	/۰۰۰	۰/۸۸۵۷۱	۰/۶۴۰۳	۱/۱۳۱۱
عدم نظارت مسئولین	۸/۸۱۳	۶۹	/۰۰۰	۱/۱۵۷۱۴	۰/۸۹۵۲	۱/۴۱۹۱
آسیب‌پذیری معیشتی و فقر مردم منطقه	۲/۲۴۴	۶۹	/۰۲۸	۰/۲۸۵۷۱	۰/۰۳۱۷	۰/۵۳۹۷
نبود اشتغال برای جوانان	-۱/۶۰۲	۶۹	/۱۱۴	-۰/۲۲۸۵۷	-۰/۵۱۳۲	۰/۰۵۶۱
الگوی زیست نامتناسب با محیط مردم منطقه	۱/۳۱۳	۶۹	/۱۹۳	۰/۱۸۵۷۱	-۰/۰۹۶۴	۰/۴۶۷۸

بررسی نتایج حاصل از آزمون T-test در جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۳۰ پارامتر انسانی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه ۲۷ پارامتر دارای انحراف معیار کمتر از ۰/۰۵ هستند که مورد تأیید از سوی صاحب‌نظران و متخصصان قرار گرفته‌اند. به بیان دیگر این پارامترها از نظر این صاحب‌نظران در خشک شدن دریاچه ارومیه نقش مؤثر و فعالی داشته‌اند. سه پارامتر که شامل فعالیت‌های بندرهای موجود در اطراف دریاچه، نبود اشتغال برای جوانان و الگوی زیست نامتناسب با محیط مردم منطقه می‌شود، با کسب انحراف معیار بالاتر از ۰/۰۵ رد شده و از نظر صاحب‌نظران و متخصصان مورد تأیید قرار نگرفته است.

جدول ۳- نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای در خصوص پارامترهای طبیعی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

پارامترها	t	df	سطح معناداری	اختلاف میانگین	در سطح ۹۵٪ اطمینان	
					پایینی	بالایی
کاهش آب رودهای منتهی به دریاچه	۴/۷۲۷	۶۹	/۰۰۰	۰/۶۷۱۴۳	۰/۳۸۸۱	۰/۹۵۴۸
افزایش رسوبات ورودی به دریاچه	۲/۳۶۸	۶۹	/۰۲۱	۰/۳۸۵۷۱	۰/۰۴۵۱	۰/۵۲۶۴
کم‌آبی و خشکسالی‌های پی در پی	۶/۵۷۹	۶۹	/۰۰۰	۰/۸۴۲۸۶	۰/۵۸۷۳	۱/۰۹۸۴
تغییرات اقلیمی	۴/۵۸۳	۶۹	/۰۰۰	۰/۶۰۰۰۰	۰/۳۳۸۸	۰/۸۶۱۲
تغییر بارش و کم شدن بارش	۸/۴۱۱	۶۹	/۰۰۰	۰/۸۷۱۴۳	۰/۶۶۴۷	۱/۰۸۷۱
کم عمقی دریاچه ارومیه	-۰/۱۰۷۵۱	۶۹	/۰۸۴	-۰/۲۴۲۷۶	-۰/۵۱۹۵	۰/۰۳۳۸
شکل و ساختار زمین در منطقه	-۳/۵۰۴	۶۹	/۰۰۱	-۰/۴۷۱۴۳	-۰/۷۳۹۹	-۰/۲۰۳۰
موقعیت عمومی جغرافیایی منطقه و واقع شدن در کمربند خشک کره زمین	-۵/۳۵۰	۶۹	...	-۰/۷۰۰۰۰	-۰/۹۶۱۰	-۰/۴۳۹۰
عرض جغرافیایی منطقه و همسایگی با پرفشار حاره‌ای	-۵/۳۳۷	۶۹	/۰۰۰	-۰/۶۴۲۸۶	-۰/۸۸۳۱	-۰/۴۰۲۶
تبخیر آب دریاچه	-۲/۵۱۵	۶۹	/۰۱۴	-۰/۳۴۲۸۶	-۰/۶۱۴۸	-۰/۰۷۰۹
ارتفاع دریاچه از سطح دریا	۰/۰۲۴	۶۹	/۹۸۱	۰/۰۱۴۲۹	-۱/۱۷۵۸	۱/۲۰۴۴

پارامترها	t	df	سطح معناداری	اختلاف میانگین	در سطح ۹۵٪ اطمینان	
					پایینی	بالایی
شیب منطقه	-۵/۵۰۰	۶۹	/۰۰۰	-۰/۶۸۵۷۱	-۰/۹۳۴۴	-۰/۴۳۷۰
نوع خاک منطقه	-۷/۳۱۷	۶۹	/۰۰۰	-۱/۸۲۸۵۷	-۱/۰۵۴۵	-۰/۶۰۲۷

بررسی نتایج حاصل از آزمون T-test در جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۱۳ پارامتر طبیعی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه ۱۱ پارامتر دارای انحراف معیار کمتر از ۰/۰۵ هستند که مورد تأیید از سوی صاحب نظران و متخصصان قرار گرفته اند. به بیان دیگر این پارامترها از نظر این صاحب نظران در خشک شدن دریاچه ارومیه نقش مؤثر و فعالی داشته اند. دو پارامتر دیگر که شامل ارتفاع دریاچه از سطح دریا و کم عمقی دریاچه ارومیه با کسب انحراف معیار بالاتر از ۰/۰۵ رد شده و از نظر صاحب نظران و متخصصان مورد تأیید قرار نگرفته است.

جدول ۴- نتایج آزمون تی تک نمونه ای در خصوص پارامترهای ترکیبی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

پارامترها	t	df	سطح معناداری	اختلاف میانگین	در سطح ۹۵٪ اطمینان	
					پایینی	بالایی
پدیدار شدن گونه های غیربومی (پرورش آبزیان در حوضه آبریز)	-۲/۸۵۵	۶۹	/۰۰۶	-۰/۴۰۰۰۰	-۰/۶۷۹۵	-۰/۱۲۰۵
از بین بردن جریان های چرخش دریاچه	۱/۹۶۸	۶۹	/۰۵۳	۰/۲۷۱۴۳	-۰/۰۰۳۷	۰/۵۴۶۵
تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پرآب	۸۷۴۴	۶۹	/۰۰۰	۱/۰۱۴۲۹	۰/۷۸۲۹	۱/۲۴۵۷
استفاده از تالاب ها بدون توجه به توان تالاب ها در رفع آثار نامطلوب ناشی از فعالیت های بشری	۶۳۹۲	۶۹	/۰۰۰	۰/۷۷۱۴۳	۰/۵۳۰۷	۱/۰۱۲۲
تغییر کاربری زیستگاه ها و تخریب چراگاه های طبیعی و ساختن ساختمان ها	۵/۰۱۱	۶۹	/۰۰۰	۰/۶۱۴۲۹	۰/۳۶۹۷	۰/۸۵۸۸
گرمایش زمین	۲/۲۵۷	۶۹	/۰۲۷	۰/۲۷۱۴۳	۰/۰۳۱۵	۰/۵۱۱۳
افزایش باغات در اطراف دریاچه	۰/۳۱۹	۶۹	/۰۰۱	۰/۴۷۱۴۳	۰/۱۸۸۱	۰/۷۵۴۸

بررسی نتایج حاصل از آزمون T-test در جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۷ پارامتر ترکیبی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه ۶ پارامتر دارای انحراف معیار کمتر از ۰/۰۵ هستند که مورد تأیید از سوی صاحب نظران و متخصصان قرار گرفته اند. به بیان دیگر این پارامترها از نظر این صاحب نظران در خشک شدن دریاچه ارومیه نقش مؤثر و فعالی داشته اند. یک پارامتر که شامل از بین بردن جریان های چرخش دریاچه می شود، با کسب انحراف معیار بالاتر از ۰/۰۵ رد شده و از نظر صاحب نظران و متخصصان مورد تأیید قرار نگرفته است.

۳-۵- وزن پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

قاعدتاً در هر کنش و بازیگری، فضا سازی و غیره پارامترهای مؤثر بر ساماندهی یا نا بسامانی فضای جغرافیایی دارای وزن های متفاوتی می باشند. در این میان، پارامترهای مؤثر بر نا بسامانی زیست محیطی فضای جغرافیایی شمال غرب کشور نیز از این قاعده مستثنی نیستند. اگر چه شاهد آن هستیم که افراد و گروه های ذینفع و سایر بازیگران مبتنی بر اهداف و منافع خود تلاش دارند برخی از این پارامترهای را کمرنگ یا پرنگ جلوه دهند و روی آن تمرکز داشته باشند اما واقعیت از نظر صاحب نظران و متخصصان این حوزه به شکل دیگری می باشد. بر پایه نگاه و نظر این صاحب نظران و متخصصان وزن هر یک از پارامترها، حاصل از نتایج آزمون T-test در نرم افزار SPSS، در قالب جدول ذیل آورده شده است:

جدول ۵- پارامترهای انسانی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

ردیف	پارامتر	اختلاف میانگین
۱	برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه	۴/۵۰۰۰
۲	کم توجهی به مدیریت منابع آبی	۴/۴۱۴۳
۳	احداث سد ها و آب بندها	۴/۳۸۵۷
۴	افزایش طرح های توسعه و بهره برداری از آب	۴/۳۷۱۴
۵	اتخاذ سیاست های اشتباه	۴/۲۸۵۷
۶	عدم نظارت مسئولین	۴/۱۵۷۱
۷	استفاده بی رویه از آب های زیرزمینی	۴/۱۴۲۹
۷	رقابت برای استفاده و تخصیص منابع آبی به علت توسعه کشاورزی، صنعت و شهرنشینی	۴/۱۴۲۹
۸	توسعه بی رویه کشاورزی در اطراف دریاچه	۴/۱۰۰۰
۹	حفر چاه های کشاورزی در اطراف دریاچه	۴/۰۸۶
۱۰	نبود برنامه آمایشی منسجم برای کل حوضه آبریز دریاچه	۴/۰۰۰۰
۱۱	عدم استفاده از روش ها و الگوهای کشت مدرن	۳/۹۷۱۴
۱۲	احداث پل شهید کلانتری در میان دریاچه	۳/۹۴۲۹
۱۲	برداشت از آب های سطحی و رودخانه ها برای جبران اثرات خشکسالی	۳/۹۴۲۹
۱۲	بهره برداری بی رویه از منابع تالاب ها	۳/۹۴۲۹
۱۲	اجرای طرح های متعدد توسعه آبی	۳/۹۴۲۹
۱۳	عدم تخصیص بودجه کافی برای مسائل محیط زیستی منطقه	۳/۸۸۵۷
۱۴	عدم حفاظت مؤثر از منابع زیست محیطی و اکولوژیکی منطقه	۳/۸۷۱۴
۱۵	الگوی مصرف نادرست آب توسط ساکنین منطقه	۳/۸۷۵۷
۱۶	عدم مشارکت مردم منطقه در مسائل زیست محیطی	۳/۷۰۰۰
۱۷	آلودگی منابع آبی بر اثر تخلیه آلاینده های شیمیایی کشاورزی	۳/۵۷۱۴

ردیف	پارامتر	اختلاف میانگین
۱۸	پروژه‌های عمرانی	۳/۵۴۲۹
۱۹	کاهش کیفیت آب بر اثر تخلیه پساب‌های روستایی تصفیه نشده	۳/۵۱۴۳
۲۰	آلودگی منابع آبی بر اثر افزایش فاضلاب شهری	۳/۴۸۵۷
۲۱	عدم لایروبی رودخانه‌ها	۳/۴۱۴۳
۲۲	آسیب پذیری معیشتی و فقر مردم منطقه	۳/۲۸۵۷
۲۳	برداشت بی رویه نمک از دریاچه	۲/۶۷۱۴

نگاهی به جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۲۷ پارامتر انسانی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه پارامترهای برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه و کم توجهی به مدیریت منابع آبی بالاترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و پارامترهای آسیب پذیری معیشتی و فقر مردم منطقه و برداشت بی‌رویه نمک از دریاچه کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۶- پارامترهای طبیعی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

ردیف	پارامتر	میانگین
۱	تغییر بارش و کم شدن بارش	۳/۸۷۱۴
۲	کم آبی و خشکسالی های پی در پی	۳/۸۴۲۹
۳	کاهش آب رودهای منتهی به دریاچه	۳/۶۷۱۴
۴	تغییرات اقلیمی	۳/۶۰۰۰
۵	افزایش رسوبات ورودی به دریاچه	۳/۲۸۵۷
۶	تخیر آب دریاچه	۲/۶۵۷۱
۷	شکل و ساختار زمین در منطقه	۲/۵۲۸۶
۸	عرض جغرافیایی منطقه و همسایگی با پرفشار جنب حاره‌ای	۲/۳۵۷۱
۹	شیب منطقه	۲/۳۱۴۳
۱۰	موقعیت عمومی جغرافیایی منطقه و واقع بودن در کمربند خشک کره زمین	۲/۳۰۰۰
۱۱	نوع خاک منطقه	۲/۱۷۱۴

نگاهی به جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۱۱ پارامتر طبیعی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه پارامترهای تغییر بارش و کم شدن بارش و کم آبی و خشکسالی های پی در پی بالاترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و پارامترهای موقعیت عمومی جغرافیایی منطقه و واقع بودن در کمربند خشک کره زمین و نوع خاک منطقه کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۷- پارامترهای ترکیبی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه

ردیف	پارامتر	میانگین
۱	تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پر آب	۴/۰۱۴۳
۲	استفاده از تالابها بدون توجه به توان تالابها در رفع آثار نامطلوب ناشی از فعالیت‌های بشری	۳/۷۷۱۴
۳	تغییر کاربری زیستگاه‌ها و تخریب چراگاه‌های طبیعی و ساختن ساختمان‌ها	۳/۶۱۴۳
۴	افزایش باغات در حاشیه دریاچه	۳/۴۷۱۴
۵	گرمایش کره زمین	۳/۲۷۱۴
۶	پدیدار شدن گونه‌های غیر بومی (پرورش آبزیان در حوضه آبریز)	۲/۶۰۰۰

نگاهی به جدول بالا نشان دهنده آن است که از میان ۶ پارامتر ترکیبی مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه پارامترهای تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پر آب و استفاده از تالابها بدون توجه به توان تالابها در رفع آثار نامطلوب ناشی از فعالیت‌های بشری بالاترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و پارامترهای گرمایش کره زمین و پدیدار شدن گونه‌های غیر بومی (پرورش آبزیان در حوضه آبریز) کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت بالایی در شکل دهی به اکوسیستم شمال غرب کشور برخوردار است و به عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های طبیعی در سطح منطقه مطرح بوده، در سطح ملی یک پارک ملی محسوب شده و در سطح بین‌الملل در فهرست یونسکو به ثبت رسیده است. این دریاچه در طول سال‌های گذشته خشکی شدیدی را تجربه کرده است طوری که بیش از ۷۰ درصد دریاچه خشک شده است. شرایط کنونی دریاچه ارومیه پیامد نابسامانی فضای حوضه آبریز و برداشت بی‌رویه از منابع آب تجدیدپذیر حوضه بویژه در دو دهه اخیر می‌باشد. وضعیت زیست‌محیطی دریاچه ارومیه در طول سال‌های گذشته دچار تغییر شده و روند نزولی طی کرده است. در نتیجه ادامه پذیرش اثرات منفی در هر اکوسیستم طبیعی، در انتها به تخریب آن اکوسیستم منجر می‌شود که این امر تبعاتی چون ایجاد اکوسیستم‌های با پتانسیل بالای ایجاد تخریب بر محیط‌زیست پیرامونی را به همراه خواهد داشت. وضعیت دریاچه ارومیه نیز همین روند را طی کرده و در حال حاضر بسیاری از کارکردهای اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی دریاچه ارومیه و تالاب‌های اطراف آن مختل گردیده و خسارت این اختلال نه تنها طبیعت منطقه، بلکه معیشت جوامع انسانی محلی را نیز تحت تأثیر قرار داده است. گستره این مسائل زیست‌محیطی دریاچه ارومیه با این روند تغییرات اکوسیستم توانایی بالقوه‌ای در از بین بردن کل اکوسیستم شمال غرب کشور را دارد. بر این اساس، می‌توان خشک شدن دریاچه ارومیه را به عنوان یکی از مسائل زیست‌محیطی با اهمیت بالا در نابسامانی کشور در طی دهه‌های آینده در نظر گرفت. برای اینکه بتوان مسائل

زیست‌محیطی این دریاچه را تا حدی در شمال غرب کشور کاهش داد، بهترین و مهم‌ترین راه جلوگیری از خشک شدن بیشتر دریاچه و افزایش سطح آبگیری کنونی است. برجسته‌ترین راهکار جهت دستیابی به این مهم شناخت پارامترهای مؤثر بر خشک شدن این دریاچه است. در پژوهش حاضر هدف، این شناخت و سطح بندی این پارامترها بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، خشک شدن دریاچه ارومیه تحت تأثیر ۴۵ پارامتر می‌باشد که در قالب سه بعد انسانی، طبیعی و ترکیبی آورده شده‌اند. مهم‌ترین این پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه عبارتند از: برهم زدن شرایط اکولوژیکی منطقه، کم توجهی به مدیریت منابع آبی، احداث سدها و آب بندها، مهم‌ترین دلایل طبیعی آن عبارت‌اند از تغییر بارش و کم شدن بارش، کم آبی و خشکسالی های پی درپی، کاهش آب رودهای منتهی به دریاچه و مهم‌ترین دلایل ترکیبی خشک شدن دریاچه ارومیه نیز عبارت‌اند از تغییر الگوی کشت و تولید محصولات پر آب، استفاده از تالاب‌ها بدون توجه به توان تالاب‌ها در رفع آثار نامطلوب ناشی از فعالیت‌های بشری، تغییر کاربری زیستگاه‌ها و تخریب چراگاه‌های طبیعی و ساختن ساختمان‌ها.

در پایان باید گفت، پژوهش حاضر با بررسی‌های علمی و بی طرفانه مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه را استخراج کرده و طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه متفاوت از پارامترهایی است که افراد و گروه‌های ذینفع و سایر بازیگران مبتنی بر اهداف و منافع خود تلاش دارند آن‌ها را کم‌رنگ یا پررنگ جلوه دهند. لذا با توجه به نتایج حاصل شده از این پژوهش و تلاش در جهت بسامان کردن فضای حوضه آبریز و حل مشکلات موجود در منطقه به صورت خاص و شمال غرب کشور به صورت عام، بهترین راه کمک به احیای دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر خشک شدن دریاچه است.

کتابنامه

- احمدی، آیدا؛ عباس پور، مجید؛ ارجمندی، رضا؛ عابدی، زهرا؛ ۱۳۹۳. بررسی راه‌کارهای مدیریت دریاچه ارومیه با الهام از تجارب به دست آمده از تالاب‌ها و دریاچه‌های منطقه. فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره شانزدهم. صص ۲۹-۲۳.
- احمدی، سیروس؛ اکبرزاده، محمد؛ ۱۳۹۷. پیامدهای سیاسی-امنیتی خشک شدن دریاچه ارومیه. فصل‌نامه ژئوپلیتیک. سال چهاردهم. شماره سوم. صص ۹۵-۱۲۷.
- اسماعیلی فرد، مریم؛ لیاقتی، هومان؛ ساعی، احمد؛ ملک محمدی، حمیدرضا؛ ۱۳۹۶. چالش‌های دستور کارگذاری محیط‌زیست در ایران. فصل‌نامه علوم محیطی. دوره پانزدهم. شماره ۳. صص ۱۸-۱.
- امینی، عبدالحسین؛ شاه حسینی، مجید؛ محمدی، علی؛ شهرابی، مصطفی؛ ۱۳۸۸. ویژگی‌های رسوب‌شناسی و منشأ نهشته‌های دریاچه ارومیه در حاشیه بزرگراه شهید کلانتری. نشریه علوم زمین. سال نوزدهم. شماره ۷۴. صص ۶۸-۵۷.

- امینی، ملیحه؛ ۱۳۹۵. بررسی عمده‌ترین چالش‌های محیط‌زیست ایران. دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط‌زیست؛ صص ۵-۱.
- برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه؛ ۱۳۹۰. تهیه شده با همکاری سازمان‌های دولتی. شکل‌های زیست‌محیطی و جوامع محلی. ۱۳۹۰/۳/۲۰؛
- پروین، نادر؛ ۱۳۹۰. الگوی سینوپتیکی شدیدترین خشک‌سالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. سال بیست و پنجم. شماره ۱۰۰. صص ۱۰۸-۹۰.
- جلالی، محمود؛ ۱۳۸۸. تأسیس دادگاه بین‌المللی محیط‌زیست و مشکلات آن. فصل‌نامه حقوق. مجله دانشکده حقوق و علوم سیاسی. دوره ۳۹. شماره ۱. صص ۸۵-۶۳.
- جمالی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۹. محیط‌زیست بین‌المللی و میراث مشترک بشریت. فصل‌نامه تحقیقات سیاسی و بین‌المللی. دوره دوم. شماره ۴. صص ۱۴۹-۱۱۹.
- حبیبی، محمدحسن؛ ۱۳۷۹. حقوق محیط‌زیست. تهران: نشر موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- خالدی، شهریار؛ ۱۳۸۳. نگرشی بر محیط‌زیست حوضه رودخانه شور. فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۷. صص ۱-۱۴.
- خوش‌اخلاق، رحمان؛ حسن شاهی، مرتضی؛ ۱۳۸۱. تخمین خسارات وارد شده به ساکنان شیراز به دلیل آلودگی هوا. مجله تحقیقات اقتصادی. دوره ۳۷. شماره ۲. صص ۵۳-۷۵.
- داوودیان، الهه؛ اسکندری ثانی، محمد؛ ۱۳۹۶. آمایش سرزمین، ضرورت بنیادین توسعه پایدار محیط‌زیست. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت. صص ۱-۱۴.
- سلطانی، نادر؛ موسوی، میرنجف؛ احمدآقبال، گلاویژ؛ ۱۳۹۵. ارزیابی پیامدهای احتمالی انتقال آب حوضه زاب به دریاچه ارومیه. نشریه جغرافیا و پایداری محیط. دوره ششم. شماره ۱۹. صص ۵۱-۳۵.
- سلیمی ترکمانی، حجت؛ ۱۳۹۰. بررسی مشکل زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از منظر حقوق بین‌الملل محیط‌زیست. فصل‌نامه راهبرد. سال بیستم. شماره ۵۸. صص ۲۰۲-۱۷۸.
- عبدالهی، محسن؛ فریادی، مسعود؛ ۱۳۸۹. چالش‌های حقوقی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران. فصل‌نامه علوم محیطی. سال هفتم. شماره ۴. صص ۱۸۰-۱۴۳.
- فراهانی فرد، سعید؛ صادقی، حسین؛ ۱۳۸۲. محیط‌زیست از منظر دین و اقتصاد. فصل‌نامه علمی پژوهشی اقتصاد اسلامی. دوره سوم. شماره ده. صص ۵۱-۲۴.
- فرجی، امین؛ علیان، مهدی؛ فتحی، امیر؛ ۱۳۹۷. آینده‌نگری اثرات منطقه‌ای خشک شدن دریاچه ارومیه با رویکرد سیاسی. فصل‌نامه جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای. سال هشتم. شماره ۲۷. صص ۵۴-۳۷.
- فرشچی، علیرضا؛ رهنما، حمیدرضا؛ ۱۳۸۳. ژئوپلیتیک فراگیر. تهران: انتشارات دوره عالی جنگ قاسمی، نادر؛ ۱۳۸۴. حقوق کیفری محیط‌زیست. انتشارات جمال الحق. چاپ دوم

- کاویانی راد، مراد؛ ۱۳۸۹. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی و بحران‌های بوم‌شناسی در ایران. *فصلنامه مطالعات راهبردی*. سال سیزدهم. شماره دوم. صص ۵۷-۳۳.
- کاویانی راد، مراد؛ ۱۳۹۰. نسبت ژئوپلیتیکی امنیت زیست‌محیطی و توسعه پایدار (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه). *فصلنامه مطالعات راهبردی*. سال چهاردهم. شماره ۱. صص ۱۴۷-۱۱۶.
- کاویانی راد، مراد؛ ۱۳۹۷. *امنیت زیست‌محیطی ایران*. تهران: نشر پژوهشکده مطالعات راهبردی.
- محرمی، میثم؛ رسولی، علی‌اکبر؛ رستم‌زاده، هاشم؛ ۱۳۹۵. مدل‌سازی تأثیرات پست‌رویی دریاچه ارومیه بر روستاهای ساحل شرقی دریاچه ارومیه با پردازش شیئی گرای تصاویر ماهواره‌ای. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. سال سوم. شماره ۳. صص ۹۸-۸۱.
- مخدوم، مجید؛ ۱۳۸۵. محیط‌زیست، توسعه پایدار، آینده ایران. *ماهنامه گزارش*. شماره ۱۷۶: ۶۵-۶۰.
- مهرار، اسداله؛ مدانلو جویباری، سپیده؛ زارع زیدی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. بررسی نقش حفاظت از محیط‌زیست در توسعه پایدار. *دوماه نامه مطالعات کاربردی در علوم مدیریت و توسعه*. سال سوم. شماره دو. صص ۱۱۶-۱۰۵.
- موسوی، یگانه؛ پورمهدی، سعید؛ راد، گلی؛ ۱۳۸۲. گیاهان و آلاینده‌ها. *نشریه رشد و آموزش زیست‌شناسی*.
- میرزازاده، نادر؛ سپهری فر، سیما؛ ۱۳۹۲. تعامل حق بر محیط‌زیست سالم و حق بر بهداشت. *فصلنامه مطالعات حقوق بشر/سلامی*. سال دوم. شماره چهارم. صص ۶۹-۳۷.
- میرعظیم، قوام؛ ۱۳۷۵. *حمایت کیفی از محیط‌زیست*. تهران: انتشارات سازمان حفاظت محیط‌زیست.
- نادر صفت، محمدحسین؛ ۱۳۹۰. ویژگی‌های ژئومورفولوژی دریاچه ارومیه و تأثیران در اکوسیستم این منطقه. *مجله دانشنامه (جغرافیا)*. پیاپی ۸۲. صص ۲۳-۳۲.
- ناظری تهرودی، محمد؛ احمدی، فرشاد؛ خلیلی، کیوان؛ ۱۳۹۶. بررسی روند و زمان تغییر بارش حوضه دریاچه ارومیه. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. جلد سی و یکم. شماره ۲. صص ۶۵۹-۶۴۴.

Nick Hanley, Jason F. Shgren, Ben Whith., 1997. Environmental Economics In Theory And Practice. pp 1 – 13.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۱۵۹-۱۸۱

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i3.8785>

مقاله پژوهشی

سنجش میزان آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود (مورد مطالعه: مناطق روستایی بخش گرکن جنوبی شهرستان مبارکه)

جمشید عینالی^۱ - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
محمدرضا شفیعی - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۶

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی میزان آسیب‌پذیری کشاورزان در سکونتگاه‌های روستایی بخش گرکن جنوبی از توابع شهرستان مبارکه در مواجهه با شرایط خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود است و سعی دارد به دو سؤال ۱- کشاورزان در سکونتگاه‌های روستایی مورد مطالعه در ابعاد اقتصادی، اجتماعی-روانی و زیست‌محیطی از پدیده خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده‌رود به چه میزان آسیب‌پذیر شده‌اند؟ ۲- کشاورزان در منطقه مورد مطالعه به چه میزان از راهکارهای مواجهه با شرایط خشکسالی اطلاع و آگاهی دارند؟ پاسخ دهد. داده‌های مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه گردآوری شده است. جامعه آماری تحقیق، کشاورزان روستاهای بخش گرکن جنوبی هستند که بر اساس داده‌های سرشماری نفوس و مسکن (۱۳۹۵) بالغ بر ۲۰۲۷ نفر هستند که با استفاده از فرمول کوکران ۱۷۸ نفر به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند. روایی ابزار تحقیق توسط کارشناسان مرتبط تأیید شده و پایایی گویه‌ها با استفاده از آلفای کرونباخ معادل ۰/۸۵ به دست آمده است. برای تحلیل داده‌های پرسشنامه‌ای از آزمون‌های آماری (همبستگی اسپیرمن، کای اسکوتر، t تک نمونه‌ای و فریدمن) و تکنیک تحلیل سلسله مراتبی بهره گرفته شده است. بررسی‌های به عمل آمده در خصوص آسیب‌پذیری کشاورزان نشان داد که افزایش هزینه‌های تولید به عنوان مهم‌ترین آسیب اقتصادی، افزایش فشارهای روحی و روانی به عنوان مهم‌ترین آسیب اجتماعی-روانی و پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین آسیب زیست‌محیطی ناشی از بحران آب زاینده‌رود در منطقه

بوده است. نتایج آزمون‌های t تک نمونه‌ای و فریدمن نشان داد که آسیب‌های اجتماعی - روانی بیش‌ترین میزان خسارت را در منطقه به کشاورزان وارد کرده است. بررسی میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی نشان داد که میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان منطقه در زمینه "شیوه‌های کاهش هدر رفت آب" از همه شاخص‌ها پررنگ‌تر بوده است. نتایج تحلیل سلسله مراتبی از دیدگاه کارشناسان نشان داد که مؤثرترین راهکار مقابله با خشکسالی در منطقه مذکور، "راهکارهای فنی آبیاری" است.

کلیدواژه‌ها: سوانح طبیعی، بحران آب، آسیب‌پذیری کشاورزان، استان اصفهان.

۱-مقدمه

هرساله مخاطره‌های طبیعی با شدت زیادی رخ می‌دهند و گاه تمام هست و نیست مردم را از بین می‌برند (داکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۰۱). یکی از این مخاطره‌ها خشکسالی است. خشکسالی از نظر هواشناسی اساساً به حالتی از خشکی ناشی از کمبود بارندگی اطلاق می‌شود. در تعریفی دیگر خشکسالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست، میزان این کاهش آن‌قدر است که روند عادی رشد گیاهان را در منطقه مختل می‌کند؛ بنابراین خشکسالی ویژگی دائمی یک منطقه نیست (کاویانی و علیجانی، ۲۰۰۳). خشکسالی مخاطره‌ای طبیعی و سانحه‌ای بزرگ است که می‌تواند در هر کشور فراز و نشیب‌هایی را پدید آورد. این پدیده از سایر سوانح طبیعی پیچیده‌تر و بخش‌های بیشتری از جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تلاش برای تشخیص نقاط حادثه‌خیز و خطرآفرین این پدیده به منظور پیشگیری از بروز حوادث از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (حسنی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۶۷). از شدیدترین خشکسالی‌های قرن بیستم می‌توان به خشکسالی چین در سال ۱۹۰۷، خشکسالی اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۲۲، خشکسالی هند در سال ۱۹۶۷ و خشکسالی آفریقا در سال ۱۹۷۵ اشاره کرد. این خشکسالی‌ها موجب مرگ و میر میلیون‌ها نفر شدند و بسیاری از مردم در اثر این سوانح در آستانه گرسنگی قرار گرفتند. بر این اساس می‌توان استنباط کرد که خشکسالی تهدیدی بزرگ برای خانوارها و جوامعی است که برای امرار معاش به بخش کشاورزی وابسته‌اند (کمپیل^۲ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۴۶). در این میان معیشت در جوامع وابسته به بخش کشاورزی بیش از آن به تغییرات آب و هوایی وابسته است (پیتمن و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۶). به دلیل ارتباط تنگاتنگ روستا و کشاورزی پیامدهای منفی خشکسالی طی چند سال بر اقتصاد روستایی و کشاورزی نمایان می‌شود و تداوم آن موجب تغییر کارکرد و مهاجرت‌های روستایی می‌گردد (محمدی یگانه و حکیم دوست، ۲۰۱۰).

1 Dyke et al

2 Campbell et al

3 Pittman et al

خشکسالی در طول نیم قرن اخیر نمود زیادی یافته است و موجب از دست رفتن محصولات کشاورزی و ظهور سوانح مختلفی نظیر قحطی های گسترده شده است. خشکسالی به وجود آورنده شبکه اثراتی است که بسیاری از بخش های اقتصادی را دربر گرفته و تأثیری بسیار فراتر از خشکسالی فیزیکی تجربه شده ایجاد نموده است. به طور کلی اثرات خشکسالی را می توان به دو نوع مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود. کاهش سطح زیرکشت، کاهش منابع آب زیرزمینی، آتش سوزی، کاهش حجم محصولات تولیدی، افزایش تلفات دام و کاهش تنوع زیست محیطی از اثرات مستقیم خشکسالی بشمار می رود. از جمله اثرات غیرمستقیم خشکسالی می توان به کاهش درآمد کشاورزان، افزایش قیمت محصولات، رشد بیکاری و مهاجرت و افزایش جرائم اجتماعی اشاره کرد (صادقو و سجاسی قیداری، ۱۳۹۳: ۱۳۴).

خشکسالی اثرات بالفعل اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، روانی و فنی زیادی بر بخش کشاورزی داشته و بر روی کاهش میزان عملکرد محصولات تأثیر بسزایی دارد و تعداد زیادی از مردم را تحت تأثیر خود قرار داده است (منوچهری، ۲۰۰۱: ۱۶) و به عنوان پدیده ای خزنده، آغاز آن کاملاً مشخص نیست (خوش اخلاق و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۰). بر اساس گزارش سازمان ملل در آینده ای نزدیک ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد و از ایران نیز به عنوان یکی از بحرانی ترین کشورهای درگیر کمبود آب در آینده نام برده شده است (پورطاهری و همکاران، ۲۰۱۳: ۷). کم توجهی به پدیده خشکسالی در ایران به عنوان کشور مستعد خشکسالی باعث شده است که هر ساله آسیب های اقتصادی و اجتماعی بسیار زیادی بر پیکره اقتصادی کشور وارد آید، به طوری که خسارت متوسط سالیانه بیش از ۱۰۰۰ میلیارد ریال بر آورد شده است که ۷۰ درصد آن مربوط به سیل و خشکسالی می باشد (کابلی و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۴). شعاع تأثیر این سانحه خزنده در مناطق روستایی بیش از سایر نقاط بوده و در این بین جامعه کشاورزی بیشترین گروه آسیب پذیر بشمار می روند (شریفی و زرافشانی، ۲۰۱۰: ۴۳). تأثیرات خشکسالی ابعاد گوناگونی دارد که معمولاً به تدریج و با گذشت زمان نسبتاً طولانی پس از وقوع قابل مشاهده اند. در این خصوص تقسیم بندی های متفاوتی صورت گرفته است، برخی تأثیرات خشکسالی را به مستقیم و غیرمستقیم و یا تأثیرات اولیه و ثانویه طبقه بندی می کنند (کردوانی، ۲۰۰۱: ۶۹)، تأثیرات مستقیم خشکسالی اغلب مربوط به مشخصه های اقلیمی و اکولوژیکی اند، در حالی که تأثیرات غیرمستقیم خشکسالی که وسیع و نامحسوس هستند، مربوط به آسیب های اقتصادی و اجتماعی آن می شوند که به علت ماهیت و ویژگی های آن به سختی می توان کمیت آن ها را تشخیص داد (والکر و چرس^۱، ۱۹۹۶). برخی مهم ترین اثرات خشکسالی را زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی و روان شناختی دانسته اند (کشاورز و کریمی، ۲۰۰۳: ۲۶۹). در خشکسالی ها، آسیب پذیری تابعی از ماهیت، اندازه، میزان و شدت خشکسالی است (پورطاهری و دیگران، ۲۰۱۳: ۷). آسیب پذیری ناشی از خشکسالی می تواند به عوامل اجتماعی چون

جمعیت، خصوصیات جامعه‌شناختی، الگوی اسکان و مهاجرت، فناوری، سیاست‌ها و رفتارهای اجتماعی، ماهیت متغیر خشکسالی، توسعه اقتصادی، سلامت، توانایی مقابله با اثرات خشکسالی و آمادگی مرتبط باشد یا متأثر از عواملی چون خصوصیات قومی، نژادی، مذهبی، اقلیمی، تنوع در آمد، امکانات زیرساختی، طبقات اجتماعی، جنسیت، سن، میزان برخورداری از سرمایه، منابع و قدرت، اتفاقات جهانی و ناحیه‌ای چون جنگ و شیوع بیماری‌های واگیر و ساختارهای سیاسی، اقتصادی و اجتماعی کلان باشد. این عوامل به‌طور مرتب در حال تغییر هستند و میزان آسیب‌پذیری با این تغییرات کم یا زیاد می‌گردد (حسینی و دیگران، ۲۰۱۱: ۱۸۷).

فرایند توسعه کشاورزی، نیازمند اولویت‌بندی نقاط روستایی از نظر میزان تأثیرپذیری از پدیده خشکسالی در ابعاد مختلف اجتماعی-روانی، اقتصادی و زیست‌محیطی است که عدم توجه به آن تلاش‌های توسعه را ناکام خواهد گذاشت و به ناپایداری و تشدید بحران دامن خواهد زد. علاوه بر این سنجش آسیب‌پذیری، نقطه آغاز و پیشنیاز مدیریت خشکسالی است و برنامه‌های کاهش اثرات خشکسالی به منظور کاهش آسیب‌پذیری جوامع روستایی ضروری است (شریفی و زرافشانی، ۲۰۰۱: ۴۵). همچنین، افزایش آگاهی از هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی خشکسالی، زمینه‌ساز رشد دیدگاه‌های فعال در زمینه مدیریت خطر خشکسالی و تخصیص بهینه منابع مالی با توجه به میزان آسیب‌پذیری بخش کشاورزی است. وجود آمادگی در جامعه و محیط، تضمین‌کننده موفقیت هرگونه برنامه‌ای است که هدف آن پیشگیری و کاهش خطر خشکسالی است، ازاین‌رو رویکرد مدیریت خطر خشکسالی در وهله نخست بر نکات مرتبط با پیش‌بینی مخاطرات، آسیب‌پذیری و اقدامات پیش از مخاطره تمرکز دارد و مبتنی بر آمادگی در مقابل خشکسالی است (پورطاهری و دیگران، ۲۰۱۳: ۱۷).

نگاهی به پیشینه تحقیق نشان می‌دهد خشکسالی از جنبه‌های مختلف بر زندگی جوامع تأثیرگذار است. ازجمله این که تحقیق پورطاهری و دیگران (۲۰۰۳) نشان داد آسیب‌پذیری اجتماعی ناشی از خشکسالی بیش از آسیب‌پذیری اقتصادی و آسیب‌پذیری اقتصادی بیش از آسیب‌پذیری طبیعی بوده است. مطالعه والی و سهرابی (۲۰۰۹) نشان داد که وقوع خشکسالی در سیستان و بلوچستان دارای بیش‌ترین پیامدهای اقتصادی و کم‌ترین پیامدهای اجتماعی-روان‌شناختی بوده است. مطالعه زرافشانی (۲۰۱۱)، زرافشانی و شریفی (۲۰۱۰) و فاطمی و کریمی (۲۰۱۰) نشان داد اثرات خشکسالی بر کشاورزان شامل اثرات اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، زراعی و یا زیست‌محیطی، روان‌شناختی، فنی، زیرساختی و آینده‌هراسی است. نساجی زواره (۲۰۰۱) در تحقیق خود نشان دادند که مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی شامل کاهش درآمد کشاورزان و شاغلان بخش کشاورزی، افزایش قیمت نهاده‌ها، افزایش نرخ بیکاری و مهاجرت، کاهش قیمت زمین‌های کشاورزی، افزایش قیمت غذا، کاهش تنوع و ضعیف شدن پوشش گیاهی، کاهش کیفیت خاک، خسارت به ذخایر ژنتیکی گیاهی و کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه است. مطالعه زمانی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد کشاورزان بر اساس خشکسالی دچار فقر و پریشانی می‌شوند

و به مناطق اطراف مهاجرت می کنند. سالمی (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر خشکسالی بر فرآیند زندگی عشایری شهرستان طبس به این نتیجه رسید که وقوع خشکسالی باعث کاهش میانگین تعداد هر دام خانوار، کاهش شدید تعداد دام های سنگین، تغییر شدید نسبت دام های سبک، کاهش شدید میانگین وزن دام ها، کاهش تولیدات صنایع دستی و کاهش تولید و میانگین درآمد هر خانوار نسبت به دوره پیش از خشکسالی شده است. مطالعه محمدی یگانه و حکیم دوست (۲۰۰۹) نشان داد خشکسالی موجب تغییر کاربری اراضی روستایی و کاهش میزان در آمد و فرصت های شغلی روستاییان شده است. خبرزاد و بهنیا فر (۲۰۰۹) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند خشکسالی های پیاپی خسارت های اقتصادی جبران ناپذیری از قبیل تأثیر روی میزان عملکرد، سطح زیرکشت محصولات باغی و زراعی و کاهش آب های زیرزمینی داشته و کشاورزان بیش ترین اثر اقتصادی خشکسالی را کاهش مصرف نهاده های تولیدی و کاهش در آمد تولیدات زراعی و باغی می دانند. علیپور و دیگران (۲۰۱۳) در بررسی اثرات خشکسالی بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی کشاورزان نشان دادند که بین میزان تحصیلات، درآمد و میزان مشارکت در دوره آموزشی رابطه منفی و معنی دار وجود دارد. کیم^۱ و دیگران (۲۰۰۸) تأثیرات اجتماعی خشکسالی را تنش جسمی و روانی، اضطراب و افسردگی، درگیری های خانوادگی، کاهش کیفیت زندگی افراد، افزایش مهاجرت و افزایش فقر عمومی دانسته است. تحقیق حبیبی^۲ و دیگران (۲۰۱۲) در شمال غرب بنگلادش نشان داد وقوع خشکسالی، کشاورزی، زندگی اجتماعی و سلامتی کشاورزان را مورد تهدید قرار داده است. یودمل^۳ و دیگران (۲۰۱۴) اثرات خشکسالی را کاهش عملکرد غلات و محصولات باغی، از دست دادن شغل، کاهش در آمد، مهاجرت، افزایش دمای هوا، تخریب منابع طبیعی و کاهش سطح آب های زیرزمینی دانسته است. پندی و هانداری^۴ (۲۰۰۹) مهم ترین پیامدهای خشکسالی را ناامنی غذایی و فقر ذکر کرده اند.

به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، در بسیاری از نقاط ایران خشکسالی یک تهدید حتمی و اجتناب ناپذیر می باشد (چاکسی^۵، ۲۰۰۹: ۲۷). با توجه به موقعیت جغرافیایی و نظام های سینوپتیکی که این منطقه را تحت تأثیر قرار می دهند، آشکار است که خشکی از جمله ویژگی های این منطقه به حساب آید (خزانه داری و دیگران، ۲۰۰۹: ۸۳). قرار گرفتن ایران در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، باعث شده است که کشور ایران از مناطق آب و هوایی کم باران جهان به شمار رود، به طوری که میزان بارندگی در این کشور حدود یک سوم متوسط جهانی است و با بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی متر، دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک است (محمدی یگانه و دیگران، ۲۰۱۲: ۵۸). به همین خاطر ایران به شدت در معرض خسارات و آسیب های وارده از

1 Kim et al

2 Habiba et al

3 Udamle

4 Pandey & Handari

5 Chakoshi

مخاطره طبیعی خزنده خشکسالی قرار دارد، به طوری که عمده تأثیرگذاری متحمل بخش کشاورزی است. به همین جهت بعد از وقوع بحران خشکسالی، واکنش‌های مختلفی از سوی کشاورزان مشاهده می‌شود. میزان آسیب‌های وارده به لحاظ اقتصادی، محیطی و اجتماعی و میزان مقاومت کشاورزان در برابر این حادثه به طرق گوناگون نمایان می‌شود (صادقلو و سجاسی قیداری، ۱۳۹۳: ۱۲۰). از میان دامنه گسترده‌ای از مخاطرات که جوامع انسانی در معرض آن قرار دارد، خشکسالی از مهم‌ترین سوانح است که زیان‌های بسیاری را بر بخش کشاورزی و منابع آبی وارد می‌سازد (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۵). به همین دلیل خشکسالی به لحاظ اینکه محدوده وسیع‌تر جغرافیایی را در بر می‌گیرد، پیچیده‌تر از دیگر سوانح طبیعی است و لذا جمعیت بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (وایلهایت^۱، ۲۰۰۷: ۷۶۵). به عبارتی خشکسالی پرهزینه‌ترین سانحه طبیعی به لحاظ کاهش تولیدات کشاورزی و شدت رنج و عذاب برای کشاورزان به شمار می‌رود (دونینگ و بیکر^۲، ۱۹۹۸: ۳). آسیب‌های وارده بر کشاورزان و پیامدهای وقوع خشکسالی‌های دوره‌ای خود بیانگر عدم آمادگی کشاورزان در برابر این مخاطره و پیامدهای آن و همچنین نا کارآمدی سیستم‌های مدیریت بحران در این موارد است و در این راستا یافتن رویکردی که بتواند آسیب‌های ناشی از ناامنی اجتماعی (مهاجرت، فقر، انزوا و ...)، ناامنی محیطی (کمبود منابع آب، فرسایش و ...)، ناامنی اقتصادی (بیکاری و کمبود سرمایه) را برطرف سازد و به بهبود توانایی مقابله با پدیده‌ای نامطلوب خشکسالی بینجامد، اهمیت فراوان دارد. به بیان دیگر نخستین گام ضروری برای مقابله با خشکسالی و تعدیل تبعات آن، شناخت و درک دقیق از ابعاد آسیب‌پذیری و مقاومت افراد برای ارتقاء آستانه تحمل و انعطاف‌پذیری آنان است که در اغلب کشورهای در حال توسعه از جمله ایران مورد غفلت قرار گرفته است (شرفی و زرافشانی، ۱۳۸۹)؛ زیرا قرارگیری کشور ایران بر روی کمربند خشک و تداوم خشکسالی‌های دهه اخیر به واسطه تغییرات اقلیمی منجر به شکل‌گیری بحران‌هایی با منشأ خشکسالی در بخش کشاورزی که وابستگی عمیقی به آب برای تولید دارند، شده است (صادقلو و سجاسی قیداری، ۱۳۹۳: ۱۳۱).

منطقه زرخیز گرکن جنوبی شهرستان مبارکه با آب و هوای نیمه بیابانی و با متوسط بارندگی سالیانه ۱۵۰ میلی‌متر نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در سال‌های اخیر (به ویژه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) با بحران آب رودخانه زاینده‌رود این پدیده تشدید شده و منجر به تأثیرات منفی فراتر از حالت عادی مخاطره خشکسالی در بین کشاورزان روستایی شده است. عمده منبع تأمین‌کننده آب کشاورزی این منطقه، رودخانه زاینده‌رود است که از شمال این منطقه عبور می‌کند و در سال‌های اخیر بر اثر یکسری از عوامل آب این رودخانه دچار بحران شده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱- تغییر در نحوه مدیریت و تصمیم‌گیری آب رودخانه زاینده‌رود از حالت بین استانی (چهارمحال و بختیاری و اصفهان) به حالت استانی ۲- مدیریت‌ها و تصمیم‌گیری‌های نادرست و غیرمعقول در زمینه

1 Wilhite

2 Downing & Bakker

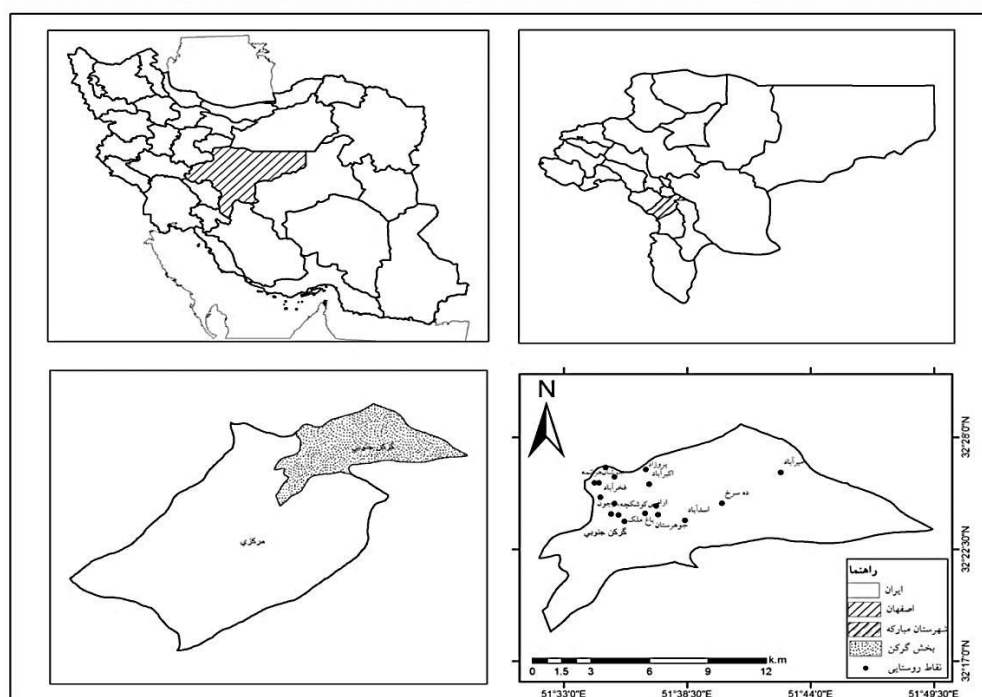
استفاده از آب رودخانه زاینده‌رود و برهم زدن معادله طومار آب شیخ بهائی و بازتاب آن در کاهش سهم آب شهرستان مبارکه از ۳۳ سهم مندرج در طومار شیخ بهائی به ۱۵ سهم در سال‌های اخیر ۳- برداشت‌های نابجا و غیر اصولی از آب رودخانه زاینده‌رود با بارگذاری‌های جدید در استان چهارمحال و بختیاری (توسعه باغات در شهرستان سامان و توسعه صنایع در برخی مناطق) ۴- برداشت‌های غیرمجاز از آب رودخانه زاینده‌رود با انتقال آب به استان یزد جهت بارگذاری‌های صنعت و کشاورزی در این استان ۵- شرایط جوی و ناپایداری‌های اقلیمی در سال‌های اخیر. وجود خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود طی سال‌های اخیر صدمات جبران‌ناپذیری را به بخش زراعی و باغی این بخش وارد نموده، به‌طوری که سطح زیرکشت محصولات کشاورزی (به ویژه برنج) و باغی (گیلاس و هلو) به میزان ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده و سبب کاهش ذخایر مخازن آبی و افت شدید آب‌های زیرزمینی و کاهش آبدمی چاه‌ها (کاهش سطح ایستابی حدود ۲۰۰ حلقه چاه از ۱۲ متر به ۶۰ متر و خشک شدن آب ۵۰۰ حلقه چاه در منطقه مذکور) شده است. در سال‌های اخیر، با توجه به تغییرات آب و هوایی و بحران آب رودخانه زاینده‌رود در منطقه انتظار می‌رود که تعداد و شدت خشکسالی‌ها افزایش یابد که این امر لزوم مدیریت کار آمد خشکسالی را دوچندان می‌کند. از این رو با هدف مدیریت خطر خشکسالی و افزایش اثربخشی برنامه‌های مقابله با این پدیده لازم است میزان آسیب‌پذیری و آمادگی کشاورزان در مواجهه با شرایط مذکور مورد بررسی قرار گیرد. بدیهی است بررسی ابعاد آسیب‌پذیری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به عنوان سطوح بررسی مدیریت خطر خشکسالی که همسو با شاخص‌های توسعه پایدار به عنوان رویکرد غالب در توسعه در دهه‌های اخیر هستند همراه با سنجش آمادگی کشاورزان منطقه، زمین‌های را برای شناسایی درجه آسیب‌پذیری مناطق کشاورزی و برنامه‌ریزی مناسب و واقع بینانه را فراهم خواهد ساخت (محبوبی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۷۶).

تحقیق حاضر با هدف کلی بررسی میزان آسیب‌پذیری کشاورزان سکونتگاه‌های روستایی بخش گرکن جنوبی شهرستان مبارکه در مواجهه با شرایط خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود دنبال می‌شود و در این راستا تحقیق به دنبال پاسخگویی به دو سؤال می‌باشد: ۱- کشاورزان سکونتگاه‌های روستایی بخش گرکن جنوبی شهرستان مبارکه از پدیده خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده‌رود در ابعاد اقتصادی، اجتماعی-روانی و زیست‌محیطی به چه میزان آسیب‌پذیر شده‌اند؟ و ۲- کشاورزان سکونتگاه‌های روستایی بخش مذکور در برابر راهکارهای مواجهه با شرایط خشکسالی از چه میزان اطلاع و آگاهی برخوردار هستند.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در این پژوهش، سکونتگاه‌های روستایی بخش گرکن جنوبی شهرستان مبارکه است. بخش گرکن جنوبی در شمال شرقی شهرستان مبارکه و در حاشیه رودخانه زاینده‌رود واقع شده است. از نظر تقسیمات اقلیمی این منطقه دارای آب و هوای نیمه بیابانی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۶۵ متر و از متوسط بارش ۱۵۰

میلی‌متر در سال برخوردار است. محدوده مورد مطالعه دارای دو دهستان (نورآباد و گرکن) و یک نقطه شهری (زیباشهر) و ۱۶ روستا بوده و در سال ۱۳۹۵ دارای ۱۸۴۳۶ نفر جمعیت و ۵۹۲۷ خانوار بوده است (شکل شماره ۱). این منطقه یکی از مناطق مستعد کشاورزی در شهرستان مبارکه بوده و در مجموع ۲۷۰۳ هکتار از اراضی کشاورزی این شهرستان را در سال زراعی ۹۸-۹۷ به خود اختصاص داده است. تعداد بهره‌برداران کشاورز در این منطقه حدود ۲۰۱۵ نفر می‌باشند. از کل اراضی کشاورزی این منطقه، ۸۴ درصد به اراضی زراعی سالانه و حدود ۹ درصد به باغات و مابقی (۷ درصد) به کشت گلخانه‌ای اختصاص دارد. از محصولات زراعی این منطقه می‌توان به برنج، گندم، جو، حبوبات، محصولات جالیزی، سبزیجات و علوفه و به سردرختی‌های گیلاس، هلو، زردآلو و به اشاره کرد.



شکل ۱- موقعیت شهرستان مبارکه در استان اصفهان و بخش گرکن جنوبی در شهرستان مبارکه

۳- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و روش انجام آن توصیفی تحلیلی است. برای جمع‌آوری اطلاعات از دو روش کتابخانه‌ای (بررسی اسناد و جمع‌آوری آمار و اطلاعات از دهیاری‌ها و بخشدار) و میدانی (تکمیل پرسشنامه) استفاده شده است. در این پژوهش از دو نمونه پرسشنامه متفاوت استفاده شده که یک نمونه آن بین ۲۰ نفر از کارشناسان جهاد کشاورزی و اداره آب منطقه‌ای شهرستان توزیع شد و یک نمونه دیگر، نسبت به تعداد سرپرست خانوار کشاورز روستاها در بین کشاورزان توزیع شد. جامعه آماری تحقیق، کشاورزان روستاهای بخش گرکن

جنوبی بودند که در مجموع ۲۰۲۷ بهره‌بردار کشاورز را شامل می‌شد. حجم نمونه آماری با توجه به تعداد کشاورز آسیب‌دیده ناشی از خشکسالی براساس فرمول کوکران ۱۷۸ نفر به دست آمد و پرسشنامه تدوین شده از طریق نمونه‌گیری تصادفی ساده توزیع شده است. روایی ابزار تحقیق توسط تعدادی از اعضای هیئت علمی دانشگاه اصفهان و کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان مبارکه بررسی شده است. پایایی گویه‌ها برای بخش‌های مختلف پرسشنامه با استفاده از آلفای کرونباخ شامل آسیب‌پذیری، با ضریب ۰/۸۵ و روش‌ها و راهکارها با ضریب ۰/۸۴ مورد تأیید قرار گرفت. به منظور اولویت‌بندی راهکارهای مقابله با خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده‌رود در منطقه مورد مطالعه، در پرسشنامه شماره ۱ دیدگاه کارشناسان در چهار راهکار (زراعی، فنی، قانونی و نهادی) مورد بررسی قرار گرفت و در این خصوص ۲۲ معیار استفاده شد. پرسشنامه شماره ۲ از دو قسمت تشکیل شده است که قسمت اول مربوط به سنجش میزان آسیب‌پذیری کشاورزان که شامل ۲۶ معیار در قالب ۳ بعد (اقتصادی، اجتماعی- روانی و زیست‌محیطی) و قسمت دوم مربوط به میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌ها و راهکارهای مقابله با خشکسالی که شامل ۱۵ معیار است. در پرسشنامه شماره ۱ هر یک از معیارها در قالب عنصر در مقام مقایسه زوجی دو به دو براساس طیف ۹ قسمتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پرسشنامه شماره ۲ نگرش پاسخ‌دهندگان براساس طیف لیکرت پنج سطحی با توجه به گویه‌های خیلی کم با امتیاز (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) رتبه‌بندی شد. داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و اکسپرت چویس^۱ پردازش و تحلیل شد و برای تجزیه و تحلیل آن‌ها از آمار توصیفی و استنباطی (میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، همبستگی اسپیرمن، کای اسکوئر، آزمون t تک نمونه‌ای و آزمون فریدمن) و همچنین تکنیک تحلیل سلسله مراتبی^۲ بهره گرفته شده است.

۴- بحث و نتایج

۴- الف- ویژگی‌های فردی پاسخگویان

جهت اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها (ویژگی‌های پاسخگویان) از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق جدول مذکور چون سطح معناداری برای متغیرهای ذکر شده در این آزمون کمتر از ۰/۰۱ و یا ۰/۰۵ می‌باشد، توزیع داده‌ها نرمال نبوده است.

1 xpert choice

2 Analytical Hierarchy Process (AHP)

جدول ۱- نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف

متغیر	مقدار آزمون	سطح معناداری
سابقه کار کشاورزی	۰/۲۶۰	۰/۰۰
سن کشاورزان	۰/۲۰۸	۰/۰۰
تعداد اعضای خانواده کشاورز	۰/۳۴۷	۰/۰۰
میزان درآمد کشاورزان	۰/۲۷۱	۰/۰۰
میزان زمین کشاورزی	۰/۲۳۸	۰/۰۰
میزان تحصیلات	۰/۳۴۴	۰/۰۰

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

میزان فراوانی و میانگین ویژگی‌های فردی پاسخگویان (کشاورزان) در جدول ۲ آمده است. براساس جدول مذکور میانگین سن پاسخگویان حدود ۵۶ سال و اکثر پاسخگویان بین ۶۰-۵۰ سال (حدود ۶۲ درصد) سن داشته‌اند. میانگین سابقه کار کشاورزی حدود ۳۸ سال و بیش‌ترین فراوانی سابقه کار کشاورزی به مقطع ۴۹-۳۰ سال (حدود ۴۶ درصد) اختصاص داشته است. میانگین تعداد اعضای خانوار کشاورز ۴ نفر و اکثر پاسخگویان از بعد خانوار ۳ نفر و بالاتر برخوردار بوده‌اند. متوسط درآمد فعالیت‌های کشاورزی پاسخگویان در طول سال معادل ۲۵ میلیون تومان بوده و بیش‌ترین میزان درآمد حاصل از فعالیت‌های کشاورزی به گروه درآمدی ۲۰ میلیون و بالاتر (حدود ۴۷ درصد) اختصاص داشته است. از نظر سطح تحصیلات، اکثر پاسخگویان از سواد ابتدایی (حدود ۵۸ درصد) برخوردار هستند. میانگین میزان زمین کشاورزی در اختیار کشاورزان حدود ۱۷ جریب (۱۷۰۰۰ مترمربع) بوده که اکثر پاسخگویان بین ۱۹-۱ جریب (حدود ۵۵ درصد) زمین کشاورزی دارند. منبع اصلی تأمین آب کشاورزی اکثر کشاورزان، رودخانه و چاه (حدود ۸۳ درصد) و بر اساس تحقیقات به عمل آمده تمامی کشاورزان پاسخگو دارای ملک شخصی بوده‌اند.

جدول ۲- توصیف ویژگی‌های فردی پاسخگویان (کشاورزان)

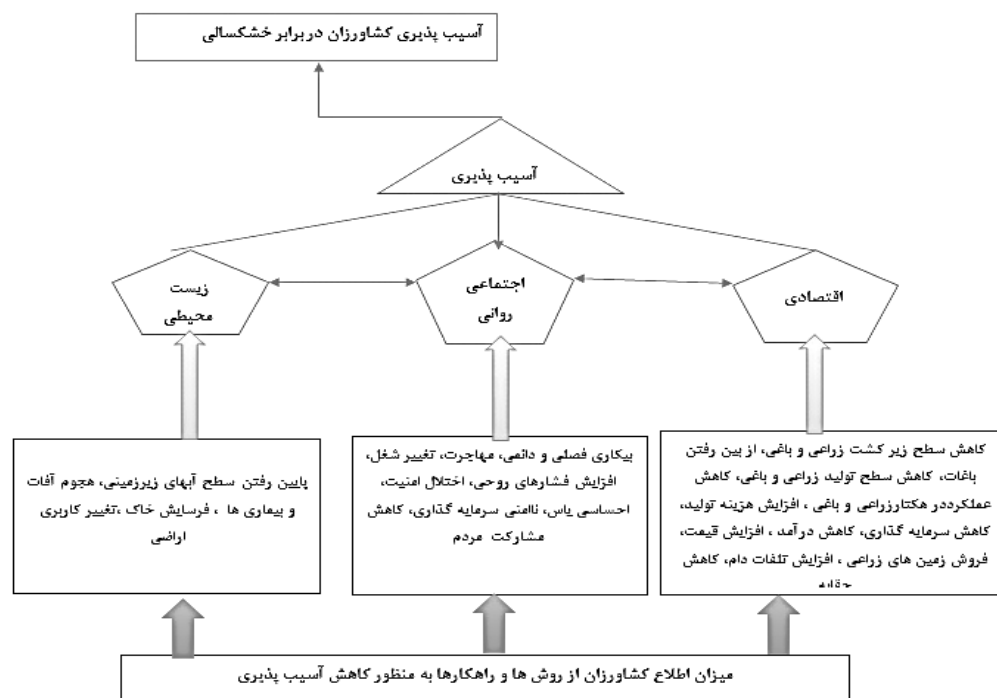
متغیر	تعریف متغیر	فراوانی	درصد	میانگین
سابقه کار کشاورزی (سال)	۲۰-۱۰	۳۶	۲۰/۲۰	۳۸/۴
	۴۹-۳۰	۷۹	۴۶/۴۰	
	۵۰ و بالاتر	۶۳	۳۵/۴۰	
سن کشاورز (سال)	۴۹-۳۰	۳۰	۲۱/۹۰	۵۶/۴۰
	۶۰-۵۰	۱۱۱	۶۲/۴	
	۷۰ و بالاتر	۲۸	۱۵/۷۰	
تعداد اعضای خانوار	۱	۱۹	۱۰/۷۰	۴/۲
	۲	۶۰	۳۳/۷۰	

متغیر	تعریف متغیر	فراوانی	درصد	میانگین
	۳ و بالاتر	۹۹	۵۵/۶۰	
میزان در آمد فعالیت های کشاورزی (میلیون در سال)	۹-۱	۵۷	۳۲/۱۰	۲۵
	۱۹-۱۰	۳۸	۲۱/۳۰	
	۲۰ و بالاتر	۸۳	۴۶/۶	
میزان تحصیلات کشاورز	ابتدایی	۱۰۳	۵۷/۹	-
	راهنمایی	۳۳	۱۸/۵۰	
	متوسطه	۳۴	۱۹/۱	
	فوق دیپلم	۵	۲/۸	
	لیسانس و بالاتر	۳	۱/۷۰	
میزان زمین کشاورزی (جریب)	۱۹-۱	۹۷	۵۴/۵	۱۷
	۲۹-۲۰	۳۵	۱۹/۷۰	
	۴۰ و بالاتر	۴۶	۲۵/۸۰	

یافته های تحقیق، ۱۳۹۸

۴-ب- بررسی ابعاد مختلف آسیب پذیری کشاورزان از خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده رود

اولویت بندی میزان آسیب های ناشی از خشکسالی در سکونتگاه های روستایی بخش گرکن جنوبی، در قالب سه بعد اقتصادی، اجتماعی-روانی و زیست محیطی با ۲۶ گویه به تفکیک در جدول ۳ و شکل ۲ ارائه شده است. مطابق جدول مذکور مهم ترین آسیب های اقتصادی وارده به کشاورزان از خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده رود به ترتیب شامل (۱) افزایش هزینه های تولید محصول (۲) کاهش حبابه کشاورزان (۳) کاهش سطح تولید محصولات زراعی بوده است. مهم ترین آسیب های اجتماعی-روانی وارده به کشاورزان به ترتیب شامل (۱) افزایش فشارهای روحی-روانی (۲) بیکاری فصلی و دائمی کشاورزان (۳) احساس یاس و ناامیدی از فعالیت های کشاورزی گزارش شده است. از مهم ترین آسیب های زیست محیطی وارد شده به کشاورزان می توان به (۱) پایین رفتن سطح آب های زیرزمینی (۲) هجوم آفات و بیماری ها به محصولات زراعی و باغی اشاره کرد.



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق

جدول ۳- اولویت بندی میزان آسیب های ناشی از خشکسالی در سکونتگاه های روستایی بخش گرکن جنوبی

رتبه	ضریب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	میانگین	شاخص	ابعاد آسیب ها
۱	۱۲	۰/۵۲	۴/۲۹	افزایش هزینه های تولید محصول	اقتصادی
۲	۲۳	۰/۸۷	۳/۸۴	کاهش حقایق کشاورزان	
۳	۳۵	۱/۲۰	۲/۸۷	کاهش سطح تولید محصولات زراعی	
۴	۳۸	۱/۲۰	۳/۱۳	کاهش درآمد در بخش کشاورزی و باغداری	
۵	۴۳	۰/۹۴	۲/۲۰	افزایش قیمت محصولات زراعی و باغی	
۶	۴۵	۱/۱۲	۲/۵۱	کاهش عملکرد در هکتار محصولات زراعی	
۷	۴۸	۱/۱۶	۲/۴۲	کاهش عملکرد در هکتار محصولات باغی	
۸	۴۶	۱/۳۶	۲/۹۶	کاهش سطح زیرکشت زمین های زراعی	
۹	۴۹	۱/۲۸	۲/۶۰	کاهش سطح تولیدات باغی	
۱۰	۵۷	۱/۲۵	۲/۱۹	از بین رفتن باغات (خشک شدن آنها)	
۱۱	۵۸	۱/۲۶	۲/۱۷	کاهش سطح باغات	
۱۲	۶۰	۱/۳۱	۲/۱۸	کاهش میزان سرمایه گذاری در تولید محصول	
۱۳	۶۲	۱/۳۰	۲/۰۸	فروش زمین های کشاورزی و باغات	
۱۴	۶۸	۱/۰۴	۱/۵۳	افزایش تلفات دام	

ابعاد آسیب‌ها	شاخص	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	رتبه
اجتماعی روانی	افزایش فشارهای روحی و روانی	۴/۰۳	۰/۳۵	۹	۱
	بیکاری فصلی و دائمی در بین کشاورزان	۳/۷۸	۰/۶۰	۱۶	۲
	احساس یأس و ناامیدی از فعالیت‌های کشاورزی	۳/۹۰	۰/۷۹	۲۰	۳
	کاهش در آمددریختش کشاورزی و باغداری	۳/۱۳	۱/۲۰	۳۸	۴
	اختلال در امنیت اجتماعی	۲/۹۵	۰/۹۶	۳۲	۵
	ناامنی در سرمایه گذاری	۳/۲۷	۱/۲۰	۳۷	۶
	تغییر شغل از کشاورزی به سایر مشاغل	۲/۷۹	۱/۳۱	۴۷	۷
	مهاجرت خانوارهای کشاورز به سایر مناطق	۲/۷۰	۱/۳۴	۵۰	۸
زیست محیطی	پایین رفتن سطح آب‌های زیر زمینی (چاه‌ها)	۴/۳۴	۰/۴۷	۱۱	۱
	هجوم آفات و بیماری‌ها به محصولات باغی و زراعی	۳/۸۳	۰/۸۲	۲۱	۲
	تغییر کاربری اراضی کشاورزی به سایر کاربری‌ها	۱/۶۶	۰/۸۵	۵۱	۳
	فرسایش و تخریب خاک (شوری و.....)	۲/۰۱	۱/۰۶	۵۳	۴

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

در جدول ۴ آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی-روانی و زیست محیطی در برابر خشکسالی براساس نتایج آزمون t تک نمونه‌ای ارائه شده است. مطابق جدول مذکور سطح معنی داری در هر یک از ابعاد، پایین تر از ۰/۵ بوده و نشانگر این موضوع است که آسیب‌پذیری جامعه نمونه در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده‌رود معنادار و مورد تأیید می‌باشد. میانگین محاسبه شده آسیب‌های اجتماعی-روانی در مقایسه با آسیب‌های دیگر از حد مطلوب بالاتر بوده و بیانگر این مطلب است که آسیب‌های اجتماعی روانی در بین دیگر آسیب‌ها از درجه اهمیت بالاتری برخوردار بوده و کشاورزان منطقه در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود بیشتر متحمل آسیب‌های اجتماعی-روانی شده‌اند و آسیب‌های دیگر از درجه اهمیت کمتری برخوردار بوده‌اند.

جدول ۴- نتایج آزمون t تک نمونه‌ای

مطلوب عددی مورد آزمون: ۳							
متغیر	آماره آزمون t	میانگین	درجه آزادی	سطح معناداری	تفاوت از حد مطلوب	فاصله اطمینان ۰/۹۵	
						پایین تر	بالاتر
آسیب‌های زیست محیطی	-۱/۴۸۱	۲/۹۶۰۷	۱۷۷	۰/۱۴۰	-۰/۰۳۹۳۳	-۰/۰۹۱۷	۰/۰۱۳۱
آسیب‌های اقتصادی	-۶/۸۵۶	۲/۶۴۳۹	۱۷۷	۰/۰۰۰	-۰/۳۵۷۱۴	-۰/۴۵۹۹	-۰/۲۵۴۳
آسیب‌های اجتماعی روانی	۵/۸۶۳	۳/۲۱۸۳	۱۷۷	۰/۰۰۰	۰/۲۱۸۳	۰/۱۴۴۸	۰/۲۹۱۸

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

نتایج آزمون فریدمن در جدول ۵ نشان می‌دهد که بین میانگین متغیرهای آسیب‌پذیری زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی-روانی کشاورزان روستایی در سطح آلفای ۰/۰۰۰ تفاوت معناداری وجود دارد و سطوح آسیب‌پذیری متفاوت بوده است. در این بین بیش‌ترین میانگین به متغیر آسیب‌های اجتماعی-روانی و کمترین آن به متغیر آسیب‌پذیری اقتصادی اختصاص یافته است. نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع است که آسیب‌های اجتماعی-روانی با میانگین ۳/۲۱ بیش‌ترین صدمات و خسارتها را در منطقه به مزارع و باغات کشاورزان وارد کرده و پس از آن آسیب‌های زیست‌محیطی و اقتصادی قرار دارند.

جدول ۵- نتایج آزمون فریدمن

متغیر	تعداد	میانگین عددی	میانگین رتبه‌ای	کای اسکوئر	سطح معنی‌داری
زیست‌محیطی	۱۷۸	۲/۹۶	۱/۹۵	۹۲/۳۴	۰/۰۰۰
اقتصادی	۱۷۸	۲/۶۴	۱/۵۲		
اجتماعی-روانی	۱۷۸	۳/۲۱	۲/۵۳		

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

جهت ارزیابی بین مشخصه‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان با آسیب‌های ناشی از خشکسالی از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن در جدول ۶ نشان داده است که بین سابقه کار کشاورزی، سن کشاورز، تعداد خانوار، میزان درآمد، سطح سواد، میزان زمین کشاورزی با ارزیابی آنان از آسیب‌های ناشی از خشکسالی رابطه معنی‌داری وجود دارد. مطابق جدول مذکور این رابطه بین سابقه کار کشاورزی و میزان درآمد کشاورز، سطح سواد و میزان زمین کشاورزی با ارزیابی آنان از آسیب‌های زیست‌محیطی مثبت بوده و همبستگی اکثر این متغیرها با ارزیابی کشاورزان از آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی-روانی منفی بوده است.

جدول ۶- همبستگی بین مشخصه‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان با آسیب‌های ناشی از خشکسالی

متغیرهای مستقل	آسیب‌پذیری اقتصادی	آسیب‌پذیری اجتماعی-روانی	آسیب‌پذیری زیست‌محیطی
	مقدار آزمون (سطح معناداری)	مقدار آزمون (سطح معناداری)	مقدار آزمون (سطح معناداری)
سابقه کار کشاورزی	-۰/۲۹۶*** (۰/۰۰۰)	-۰/۱۷۰* (۰/۲۳۰)	۰/۰۲۹ (۰/۷۰۳)
سن کشاورز	-۱/۱۹ (۰/۱۳۳)	-۰/۰۰۴ (۰/۹۶۱)	-۰/۴۵ (۰/۵۵۲)
تعداد اعضای خانوار کشاورز	-۰/۳۸۱*** (۰/۰۰۰)	-۳/۱۹*** (۰/۰۰۰)	-۰/۲۰۶*** (۰/۶۰۰)

مغیرهای مستقل	آسیب پذیری اقتصادی	آسیب پذیری اجتماعی-روانی	آسیب پذیری زیست محیطی
مقدار آزمون (سطح معناداری)	مقدار آزمون (سطح معناداری)	مقدار آزمون (سطح معناداری)	مقدار آزمون (سطح معناداری)
میزان در آمد کشاورز	۰/۳۰۷*** (۰/۰۰۰)	۰/۲۶۰*** (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۱ (۰/۹۸۸)
سطح سواد کشاورز	۰/۱۰۶ (۰/۱۵۷)	۰/۰۷۱ (۰/۳۴۹)	۰/۰۴۹ (۰/۵۱۸)
میزان زمین کشاورزی	۰/۰۲۳ (۰/۸۶۳)	۰/۲۴۶*** (۰/۰۰۱)	۰/۰۵۳ (۰/۴۸۴)

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸ ***معنی داری در سطح ۱ درصد **معنی داری در سطح ۵ درصد

۴-ج- بررسی میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود:

جدول شماره ۷ میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان جامعه نمونه را از روش‌ها و راهکارهای مواجهه با خشکسالی اولویت‌بندی نموده است. براساس جدول مذکور، میزان اطلاع و آگاهی پاسخگویان در زمینه شیوه‌های کاهش هدر رفتن آب، شیوه‌های سازماندهی مصرف آب و روش ذخیره کردن آب و نحوه تأمین آن برای مواقع اضطراری رتبه‌های ۱ تا ۳ را به خود اختصاص داده‌اند و آگاهی کشاورزان در زمینه کشت‌های گلخانه‌ای، روش‌های غیرزراعی کسب درآمد (صنایع دستی) و روشهای بازسازی بخش دامداری به ترتیب پایین ترین رتبه‌ها را در بین روشها به خود اختصاص داده‌اند که از عوامل تأثیرگذار در این خصوص می‌توان به پایین بودن سطح کشت‌های گلخانه‌ای و عدم علاقه به صنایع دستی و عدم توجه به شغل دامداری در منطقه اشاره کرد. کمبود آب و وابستگی کشاورزان منطقه به آب رودخانه زاینده‌رود و پایین بودن سطح بارش در منطقه و بالابودن سطح سابقه و تجربه کشاورزان در خصوص کشت و زرع باعث شده است تا کشاورزان منطقه در خصوص شیوه‌های کاهش، سازماندهی و ذخیره کردن آب از بالاترین سطح آگاهی برخوردار باشند.

جدول ۷- اولویت‌بندی میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌های مواجهه با خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده‌رود

روش‌ها	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
تغییر الگوی کشت به محصولات سازگار با خشکی و کم آبی	۳/۵۰	۰/۸۹۷	۲۵/۶	۵
رواج کشت‌های گلخانه‌ای	۲/۲۷	۱/۳۲	۵۸/۱	۱۵
کشت همزمان و چند کشتی	۲/۹۱	۰/۹۷۹	۳۳/۶	۱۱
نحوه مدیریت آب	۳/۴۹	۰/۹۸۷	۲۸/۳۰	۶

رتبه	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	روش‌ها
۳	۲۲/۵۰	۰/۸۴۲	۳/۷۴	روش ذخیره کردن آب و نحوه تأمین آن برای مواقع اضطراری
۸	۳۰/۹	۱/۰۷	۳/۴۶	پس انداز مالی برای زمان تشدید خشکسالی
۹	۳۲/۵	۱/۰۷	۳/۲۹	راه‌های تأمین مواد غذایی و... در شرایط تشدید خشکسالی
۴	۲۴/۳۰	۰/۹۰۸	۳/۷۴	مشاغل و فرصت‌های جایگزین (باغداری)
۱۲	۳۷/۰۸	۱/۲۲	۳/۲۹	مشاغل و فرصت‌های جایگزین (دامداری)
۱۴	۵۵/۲	۱/۳۸	۲/۵	روش‌های غیر زراعی کسب در آمد (صنایع دستی)
۱۳	۴۴	۱/۳۲	۳	روش‌های بازسازی بخش دامداری
۷	۲۹/۸	۱	۳/۳۶	آگاهی از روش‌های باز سازی بخش کشاورزی
۱۰	۳۳/۸	۱/۰۸	۳/۱۹	روش‌های باز سازی منابع آب زیر زمینی
۲	۱۷/۶	۰/۶۵۷	۳/۸۳	شیوه‌ی سازماندهی مصرف آب
۱	۱۶/۲۰	۰/۶۲۶	۳/۸۶	شیوه‌های کاهش هدر رفت آب

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

جدول شماره ۸ نتایج رابطه ۳ متغیر سابقه کار، سن و سطح سواد کشاورزان را با میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن نشان می‌دهد. مطابق این جدول بین متغیرهای مذکور با میزان اطلاع کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی رابطه معنی دار و مثبت وجود دارد که از عوامل تأثیرگذار در این خصوص می‌توان به بالابودن سن کشاورزان و داشتن تجربه و سوابق کاری در زمینه کشت و زرع در بین کشاورزان اشاره کرد.

جدول ۸: همبستگی بین مشخصه‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان با میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از

روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی

متغیرهای مستقل	میزان اطلاع کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی
	مقدار آزمون (سطح معناداری)
سابقه کار کشاورزی	۰/۱۹۷ (۰/۰۰۹)
سن کشاورز	۰/۱۲۶ (۰/۰۹۴)
سطح سواد کشاورز	۰/۲۴۲ (۰/۰۰۱)

یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸ **معنی‌داری در سطح ۱ درصد

۴-د- ارزیابی راهکارهای مقابله با خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده رود

در این بخش با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و نظرات کارشناسان، اولویت‌های راهکارهای مقابله با خشکسالی ارائه شده است. راهکارهای ارائه شده در قالب ۴ معیار (فنی آبیاری، زراعی، نهادی و قانونی) و ۲۱ شاخص در جدول ۹ آمده است. در هنگام تکمیل پرسشنامه‌ها، از کارشناسان خواسته شد که ابتدا در هر یک از شاخص‌ها، مؤثرترین راهکار را با انجام مقایسه زوجی انتخاب نموده و سپس، برای انتخاب مهم‌ترین معیار، به مقایسه زوجی چهار معیار مذکور بپردازند. هر کدام از عناصر ماتریس‌های زوجی براساس میانگین هندسی پاسخ کارشناسان حاصل شده است. در اینجا تنها به وزن و اهمیت راهکارها و نیز نرخ ناسازگاری تصمیمات کارشناسان اشاره می‌شود. همچنین، در صورت وجود نرخ ناسازگاری بیش از ۰/۱ در تصمیم کارشناسان با کمک نرم افزار اکسپرت چویس مقایسه‌های ناسازگار تشخیص داده شد و رفع گردید. در شکل ۳ و جدول شماره ۹، وزن و رتبه راهکارها از دیدگاه کارشناسان نشان داده شده است. براساس جدول مذکور، کارشناسان مؤثرترین راهکار مقابله با خشکسالی را در منطقه مذکور، "راهکارهای فنی آبیاری" معرفی می‌کنند و سایر راهکارها در اولویت‌های بعدی اهمیت قرار گرفته‌اند که در جدول مذکور نشان داده شده است. در بین راهکارهای فنی آبیاری "اصلاح شیوه‌های آبیاری با وزن ۰/۲۵۷ رتبه اول و برنامه‌ریزی آبیاری محصولات برحسب نیاز با وزن ۰/۲۴۱ رتبه دوم درجه اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. مطابق جدول مذکور، "راهکار آموزش مدیریت مزرعه" با وزن ۰/۳۰۶ و "راهکار ارقام مقاوم با خشکی" با وزن ۰/۲۵۴ به ترتیب مؤثرترین راهکارهای زراعی را به خود اختصاص داده‌اند. در بین راهکارهای نهادی "آموزش کشاورزان در خصوص مقابله با خشکسالی" با وزن ۰/۳۷۴ رتبه اول و "استقرار نظام پایش و پیش آگاهی خشکسالی" با وزن ۰/۲۵۴ رتبه دوم درجه اهمیت را به خود اختصاص داده است. در بین راهکارهای نهادی "آموزش کشاورزان در خصوص مقابله با خشکسالی" با وزن ۰/۴۲۶ و "راهکار کنترل میزان برداشت آب‌های زیرزمینی" با وزن ۰/۲۱۲ به ترتیب مؤثرترین راهکارها را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۹- اولویت‌بندی راهکارهای مقابله با خشکسالی در سکونتگاه‌های روستایی بخش گرکن جنوبی

رتبه	وزن	راهکار
۱	۰/۲۵۷	راهکارهای فنی آبیاری :
۲	۰/۲۴۱	اصلاح شیوه‌های آبیاری
۳	۰/۱۵۲	برنامه‌ریزی آبیاری محصولات بر حسب نیاز
۴	۰/۱۳۱	تغذیه منابع زیرزمینی و احداث سدهای زیر زمینی
۵	۰/۱۰۴	سیستم آبیاری تحت فشار
۶	۰/۰۶۱	ایجاداستخرهای ذخیره آب
۷	۰/۰۵۴	آبیاری زیر سطحی
-	۰/۷۳	استفاده گروهی از منابع آب
		نرخ ناسازگاری
۱	۰/۳۰۶	راهکارهای زراعی :
۲	۰/۲۷۳	آموزش مدیریت مزرعه
۳	۰/۱۷۷	ارقام مقاوم با خشکسالی
۴	۰/۱۲۷	ترویج عملیات زراعی
۵	۰/۱۱۷	تسطیح و یکپارچه کردن اراضی زراعی
-	۰/۱۵	مواد اصلاحی و نگهدارنده رطوبت خاک
		نرخ ناسازگاری
۱	۰/۳۷۴	راهکارهای نهادی :
۲	۰/۲۵۴	آموزش کشاورزان در خصوص مقابله با خشکسالی
۳	۰/۲۲۴	استقرار نظام پایش و پیش آگاهی خشکسالی
۴	۰/۱۴۸	ایجاد نظام بیمه فراگیر محصولات کشاورزی
-	۰/۱۰۱	اتحادیه مردم نهاد برای مشارکت کشاورزان
		نرخ ناسازگاری
۱	۰/۴۲۶	راهکارهای قانونی :
۲	۰/۲۱۲	تعیین قیمت مناسب و تضمین خرید محصولات کم آب
۳	۰/۱۵۸	کنترل میزان برداشت آب‌های زیر زمینی
۴	۰/۱۲۷	ارائه تسهیلات بانکی با بهره مناسب
۵	۰/۰۷۷	محدودیت منطقی و عملی آب سطحی به بهره برداران
-	۰/۰۹۱	بیمه خشکسالی
		نرخ ناسازگاری
۱	۰/۷۳	راهکارهای اصلی :
۲	۰/۱۵	راهکارهای فنی آبیاری
۳	۰/۱۰۱	راهکارهای زراعی
۴	۰/۰۹۱	راهکارهای نهادی
		راهکارهای قانونی



شکل ۳- وزن هر یک از راهکارهای مقابله با خشکسالی

۵- نتیجه گیری

سنجش آسیب پذیری، اولین مرحله و نقطه آغاز و پیش نیاز مدیریت ریسک خشکسالی است و برنامه ریزی کاهش اثرات خشکسالی به منظور کاهش آسیب پذیری جوامع روستایی ضروری است (محبوبی و همکاران، ۱۸۵: ۱۳۹۷). پژوهش حاضر با هدف کلی بررسی میزان آسیب پذیری کشاورزان سکونتگاه های روستایی بخش گرکن جنوبی شهرستان مبارکه در مواجهه با شرایط خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده رود انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی مذکور نشان داد مهم ترین آسیب های اقتصادی وارده به کشاورزان از خشکسالی ناشی از بحران آب زاینده رود به ترتیب شامل: افزایش هزینه های تولید محصول، کاهش حبابه کشاورزان و کاهش سطح تولید محصولات زراعی بود که با یافته های نساجی زواره (۲۰۰۱)، محمدی یگانه و دیگران (۲۰۱۲)، شریفی، حسینی و رضائی (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در راستای کاهش آسیب های اقتصادی در منطقه می توان به اعطای اعتبارات مالی با بهره پایین با هدف حمایت، تقویت و پایداری بخش کشاورزی و همچنین تقسیم عادلانه حبابه رودخانه زاینده رود با توجه به نیاز فصلی و میزان سطح زیرکشت سکونتگاه های روستایی منطقه اشاره کرد. مهم ترین آسیب های اجتماعی-روانی وارده به کشاورزان به ترتیب افزایش فشارهای روحی روانی، بیکاری فصلی و دائمی کشاورزان و احساس یاس و ناامیدی از فعالیت های کشاورزی بود که با یافته های نساجی زواره (۲۰۰۱)، زمانی و دیگران (۲۰۰۹)، محمدی یگانه و حکیم دوست (۲۰۰۹) و یودمل و دیگران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در این مورد توجه به اجرای آموزش های مهارتی و حرفه ای کشاورزان و اعضای خانواده آن ها به خصوص در زمینه مشاغل کوچک و خانگی با

هدف ایجاد تنوع درآمد، توسعه واحدهای کوچک صنعتی جوار روستایی و اجرای برنامه‌های توانمندسازی جوامع روستایی و همچنین بیمه محصولات کشاورزی و توجه به برنامه‌های حمایتی دولت قابل توصیه است. مهم‌ترین آسیب‌های زیست‌محیطی وارد شده به کشاورزان، پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها) و هجوم آفات و بیماری‌ها به محصولات زراعی و باغی بود که با یافته‌های خزانه داری و بهنیاfer (۲۰۰۹)، محمدی یگانه (۲۰۱۲) و حسینی و دیگران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. در این راستا جلوگیری از حفرچاه‌های غیرمجاز و طرح رهاسازی چاه‌های کم آب و خشک شده موجود و تجمع چاه‌های نزدیک به هم و استفاده مشترک از آن‌ها توسط روستاهای مجاور و همچنین ترویج کشت محصولات کم آب و توسعه و ترویج فناوری‌های کاهش دهنده مصرف آب در سطح مزرعه نظیر آبیاری تحت فشار و آموزش اصول مدیریت ذخیره و مصرف بهینه آب به کشاورزان قابل توصیه است. با توجه به نتایج آزمون‌های t تک نمونه‌ای و فریدمن مشخص شد که بین میانگین متغیرهای آسیب‌پذیری زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی-روانی سکونتگاه‌های روستایی در سطح آلفای ۰/۰۰۰ تفاوت معناداری وجود دارد و میانگین محاسبه شده آسیب‌های اجتماعی-روانی در مقایسه با آسیب‌های دیگر از حد مطلوب بالاتر بوده و نشانگر این است کشاورزان منطقه در برابر خشکسالی ناشی از بحران آب رودخانه زاینده‌رود بیشتر متحمل آسیب‌های اجتماعی-روانی شده‌اند، به بیانی دیگر آسیب‌های اجتماعی-روانی بیش‌ترین صدمات و خسارت‌ها را در منطقه به مزارع و باغات کشاورزان وارد کرده و پس از آن آسیب‌های زیست‌محیطی و اقتصادی قرار دارند. با بررسی میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان از روش‌های مواجهه با شرایط خشکسالی مشخص شد که میزان اطلاع و آگاهی کشاورزان منطقه در زمینه شیوه‌های کاهش هدر رفت آب، شیوه‌های سازماندهی مصرف آب و روش ذخیره کردن آب و نحوه تأمین آن برای مواقع اضطراری از همه شاخص‌ها بیشتر بوده است. وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین سابقه کار کشاورزی، سن و سطح سواد پاسخگویان با میزان اطلاع و آگاهی آنان از راهکارهای مواجهه با خشکسالی به این معنی است که در واقع سن بیشتر و برخورداری از تجارب و تعداد سال‌های بیشتر کار در کشاورزی، زمینه را برای تعامل بیشتر فرد با طبیعت و محیط فراهم آورده و باعث بالارفتن سطح آگاهی و درک کشاورزان نسبت به راهکارهای مواجهه با خشکسالی می‌شود. از این‌رو در برنامه‌های کاهش آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی-روانی و زیست‌محیطی خشکسالی در منطقه، تمرکز بیشتر بر کشاورزان مسن‌تر و دارای تجربه بیشتر در کار کشاورزی پیشنهاد می‌شود. با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، راهکارهای مقابله با خشکسالی توسط کارشناسان اولویت‌بندی گردید و کارشناسان مؤثرترین راهکار مقابله با خشکسالی را در منطقه مذکور، "راهکارهای فنی آبیاری" معرفی کردند و سایر راهکارها در اولویت‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. در بین راهکارهای فنی آبیاری "اصلاح شیوه‌های آبیاری"، در بین راهکارهای زراعی "راهکار آموزش مدیریت مزرعه"، در بین راهکارهای نهادی "آموزش کشاورزان در خصوص

مقابله با خشکسالی" و در بین راهکارهای نهادی "آموزش کشاورزان در خصوص مقابله با خشکسالی" به عنوان مؤثرترین راهکارها معرفی شدند.

کتابنامه

- پیرمردیان، نادر؛ شمس نیا، سیدامیر؛ بوستانی، فردین؛ ۱۳۸۷. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس. *مجله دانش نوین کشاورزی*. ۴(۱۳): ۲۱-۷.
- حسنی نژاد، آسیه؛ تقدیسی، احمد؛ نوری، هدایت اله؛ اکبریان رونیزی، سعیدرضا؛ ۱۳۹۷. نقش مدیریت ریسک خشکسالی در کاهش آسیب پذیری کشاورزان (مورد مطالعه: شهرستان زرین دشت). *فصلنامه پژوهش های روستایی*. ۹ (۲): ۲۶۷-۲۶۴.
- شرفی، لیدا؛ زرافشانی، کیومرث؛ ۱۳۸۹. سنجش آسیب پذیری اقتصادی و اجتماعی کشاورزان در برابر خشکسالی، مطالعه موردی: گندمکاران شهرستان های کرمانشاه، صحنه و روانسر. *پژوهش های روستایی*. ۱(۴): ۱۵۴-۱۲۹.
- صادقلو، طاهره؛ سجاسی قیداری، حمدالله؛ ۱۳۹۳. اولویت بندی عوامل مؤثر برافزایش تاب آوری کشاورزان در برابر مخاطرات طبیعی (با تاکید بر خشکسالی) منطقه مورد مطالعه: کشاورزان روستاهای ایجرود. *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۳(۱۰): ۱۵۴-۱۲۹.
- محبوبی، محمدرضا؛ شامکوئیان، شهره؛ عبدالله زاده، غلامحسین؛ ۱۳۹۷. سنجش آسیب پذیری و آمادگی کشاورزان برای مواجهه با شرایط خشکسالی، مورد مطالعه: شهرستان کاشمر. *فصلنامه فضای جغرافیایی*. ۱۸(۶۲): ۱۹۰-۱۷۱.

- Alipour, H., Chaharsoughi Amin, H., Gharib, A., 2013. Investigating effects of drought on farmers' socioeconomic status, Case study: Wheat farmer in Nehbandan County, Watershed Researches, 26(99): 113-125. [In Persian].
- Askarizade, M., Behniafar, A., Zabolabbasi, F., Malboosi, SH., 2010. Drought severity zoning using percentages of normal (PN) and deciles (DC) in Khorasan Razavi province, *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 3(7): 27-44. [In Persian].
- Campbell, D., Barker, D. and McGregor, D., 2011. Dealing with drought: Small farmers and environmental hazards in southern St. Elizabeth, Jamaica. *Applied Geography*, 31(1), pp.146-158.
- Chakoshi, B., 2009, Investigating the environmental aspects of drought and flood phenomena, National Conference on Measures to Address Water Crisis, Jahad-e- Daneshgahi, Kerman, 9-10 March 2009. [In Persian].
- Downing, T.E. and Bakker, K., 1998. Drought discourse and Vulnerability. Environmental change unit, University of Oxford.
- Dyke, G., Gill, S., Davies, R., Betorz, F., Andalsvik, Y., Cackler, J., Dos Santos, W., Dunlop, K., Ferreira, I., Kebe, F. and Lamboglia, E., 2011. Dream project: Applications of earth observations to disaster risk management. *Acta Astronautica*, 68(1-2), pp.301-315.
- Fatemi, M., Alizade, A., 2010. A case study of the causes and drought effects. *Iranian Agricultural Extension and Education Sciences*, 6 (1): 77-96. [In Persian].

- Ghanbarzade, H., Behniafar, A., 2009. Economic consequences of drought in the periods of 2006-2007 on rural areas of Shandiz District, Mashhad County. *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 4(9): 139-163. [In Persian].
- Ghayour, H.A., Masoudian, A., 1997. The magnitude, extent and frequency of drought in Iran", *Quarterly Journal of Geographic Research*, 46: 25-39. [In Persian].
- Gupta, K.S. and Gupta, M., 2003. The Woes of Women in Drought Social Environmental and Economic Impacts. *WOMEN AND ENVIRONMENTS INTERNATIONAL*, pp.12-13.
- Habiba, U., Shaw, R. and Takeuchi, Y., 2012. Farmer's perception and adaptation practices to cope with drought: Perspectives from Northwestern Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1, pp.72-84.
- Hoseini, M., Sharifzade, A., Gholamrezaie, S., Akbari, M., 2011. Explaining the components of drought management in rural and nomadic areas of the South East of Iran. *Iranian Journal of Economic and Agricultural Development Research*, 2(42): 185-197. [In Persian].
- Kaboli, N., Pezeshkiran, Q. R., Shabanalfami, H., 2012. Factor analysis of experts' attitudes toward confronting agricultural drought solutions in Alborz Province, *Agricultural Extension and Education Researches*, 5(2): 33-44. [In Persian].
- Kardavani, P., 2001, *Coping with drought in Iran*. Tehran University publication, Tehran. [In Persian].
- Kaviani, MR., Alijani, B., 2003. *Meteorological principles*. Smat Publication, Tehran. [In Persian].
- Keshavarz, M., karami, A., 2003. Structures influencing drought management and impacts: A structural equation modeling approach, *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12: 267-283. [In Persian].
- Khazanedari, L., Zabolabbasi, F., Ghandehari, Sh., Koohi, M., Malboosi, SH., 2009. A Perspective on the drought status of iran over the next thirty years", *Geography Regional Development*, 12: 83-98. [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Ranjbar, F., Toolabi, S., Moghbel, M., Masumpour Samakoosh, J., 2010. Drought in the water Year of 2007-8 and its impacts on water and agriculture resources, Case study: Marvdasht County, *Geography Quarterly (Iranian Geographical Association)*, 12(2): 120-136. [In Persian].
- Kim, D.H., Yoo, C. and Kim, T.W., 2011. Application of spatial EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea. *advances in water resources*, 34(3), pp.340-350.
- Management of Agricultural Jihad of Kashmar County., 2015. " Drought damage to the agricultural sector" , [on line]:koaj . ir/ kashmar/modules/ showframework.aspx.[In Persian].
- Manouchehri, A., 2001. Drought and shallow water crisis, challenges, policies and plans to encounter, *Water and Environment*, 45: 15-21. [In Persian].
- Mohammadi Yeganeh, B, Hakimdost, Y. 2010. The economic effects of drought and its impact on rural sustainability, Conference on the water crisis and drought, Islamic Azad University of Rasht, 20-21 May 2009. [In Persian].
- Mohammadi Yeganeh, B., Rezaie, H., Cheraghi, M., 2012. Analysis of drought effects on the economics of rural areas in Abarkouh County during the period of 1997-2007, *Journal of Regional planning*, 2(6): 27-38. [In Persian].
- Musavi Bayegi, M., Ashraf, B., 2011. Study of synoptic patterns Leading to autumn and winter droughts in Khorasan Razavi Province, *Water and Soil Conservation Studies*, 18(4): 167-184. [In Persian].

- Nassaji Zavare, M., 2001. Study of the economic, environmental and social impacts of drought, The First National Conference of Water Crisis, University of Zabol, Zabol, 22 -25 January 2001. [In Persian].
- Nouri, J., Mansouri, N., Abaspour, M., Karbassi, A., & Omidvari, M., 2011. Designing a Developed Model for Assessing the Disaster induced Vulnerability Value in Educational Centers, *Safety Science*, 19(49): 679-685
- Pandey, S. and Bhandari, H., 2009. Drought, coping mechanisms and poverty: Insights from rainfed rice farming. *Occasional Paper, International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome, Italy*.
- Pittman, J., Wittrock, V., Kulshreshtha, S. and Wheaton, E., 2011. Vulnerability to climate change in rural Saskatchewan: Case study of the Rural Municipality of Rudy No. 284. *Journal of Rural Studies*, 27(1), pp.83-94.
- Pourtaheri, M., Rokonoddin Eftekhari, A.R., Kazemi, N., 2013. The role of drought risk management approach in reducing socio-economic vulnerability of rural farmers from the point of view of officials and experts, Case study: Sulduz rural district, Western Azarbayegan, *Journal of Rural Research*, 4(1): 1-22. [In Persian].
- Rezaie, R., Hoseini, M., Sharifi, A., 2010. Analysis and explanation of the effect of drought on the rural regions of Zanjan county, Case study: Hajarash Village, *Journal of Rural Research*, 1(3): 103-109. [In Persian].
- Salemi, J., 2008. The effect of drought on the tribal life of the Taheri in the province of Tabas"Village and Development, 11: 89-124. [In Persian].
- Sharafi, L. W., Zarafshani, K., 2011. Vulnerability assessment, the point of starting of risk management in drought, *Journal of Regional Planning*, 1:43-56. [In Persian].
- Tatli, H. and Türkeş, M., 2011. Empirical orthogonal function analysis of the Palmer drought indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), pp.981-991.
- Udmale, P., Ichikawa, Y., Manandhar, S., Ishidaira, H. and Kiem, A.S., 2014. Farmers' perception of drought impacts, local adaptation and administrative mitigation measures in Maharashtra State, India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, pp.250-269.
- Valiei, M., Sohrabi, A. H. 2009. Environmental, Economical-social and political effects of drought, The Regional Conference on Water and Drought, Islamic Azad University, Rasht Branch, 20-21th May 2009. [In Persian].
- Walker, M., Thers, A., 1996. Drought as a natural hazard, *Drought: a Global Assessment*, 1:3-18.
- Wilhelmi, O.V. and Wilhite, D.A., 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards*, 25(1), pp.37-58.
- Wilhite, D.A., Svoboda, M.D. and Hayes, M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water resources management*, 21(5), pp.763-774.
- Zamani, GH., Zarafshan, K., Moradi, Kh., 2009. An investigating on psychological coping strategies of farmers in Fars Province during drought, *Rescue and Relief*, 1:14-23. [In Persian].



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۰۴-۱۸۳

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoe.h.2020.67236.0>

مقاله پژوهشی

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز)

محمد عیبات - کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط‌زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، اهواز، ایران.

سینا عطار روشن^۱ - استادیار گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

محمود عیبات - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۳۰

چکیده

پایش تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نقش مهمی در مدیریت شهری دارد. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی است. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روش شیء‌گرا، طبقه‌بندی شده و نقشه‌های کاربری اراضی تهیه گردید. برای افزایش دقت نقشه‌ها، از سه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، تعدیل‌کننده اثر خاک و پوشش گیاهی نسبی به‌طور جداگانه در طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص تعدیل‌کننده اثر خاک، قابلیت بالاتری داشته و نقشه‌های آن با بالاترین ضرایب کاپا و صحت کلی، جهت آشکارسازی تغییرات وارد مدل‌ساز تغییر سرزمین شدند. پیش‌بینی تغییرات در ۱۰ سال آینده نیز با مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف انجام شد. نتایج بررسی تغییرات نشان داد، پوشش گیاهی روند کاهشی داشته، به‌طوری‌که ۱۳۳۹/۶۵ هکتار در بازه ۱۹۸۹-۲۰۰۲ و ۱۸۶۰/۵۰ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲، از پوشش گیاهی کاسته شده است. بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده با ۶۸۶/۴۴ هکتار در بازه ۱۹۸۹-۲۰۰۲ و ۱۰۳۲/۵۱ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌های آب با ۷/۱۸ هکتار در بازه ۱۹۸۹-۲۰۰۲ و ۹/۳۳ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نیز مؤید کاهش پوشش گیاهی بوده و طی ۱۰ سال ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده و مساحت آن به ۲۹۲۳/۲۴ هکتار خواهد رسید.

کلیدواژه‌ها: پوشش گیاهی، شیء‌گرا، مدل‌ساز تغییر سرزمین، زنجیره مارکوف، اهواز.

۱- مقدمه

پوشش گیاهی، به علل مختلف در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی به مرور زمان دچار تغییر شده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ پتورلی^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). پوشش گیاهی در مناطق شهری از این جهت حائز اهمیت است که می‌تواند شرایط محیطی و تبادلات انرژی را به وسیله انعکاس انتخابی و جذب تشعشعات خورشیدی کنترل نماید و به عنوان عاملی مؤثر در کنترل آلودگی هوا و تأثیرگذار بر سلامت انسان‌ها معرفی شود (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه رشد روزافزون شهرها متأثر از ازدیاد جمعیت و مهاجرت‌های بی‌رویه، منجر به ساخت‌وسازهای بدون ضابطه و تحولات عمده در ساختار فضایی و گسترش شهرها شده است، که این امر سبب تغییر پوشش سطح زمین و تبدیل عوارض طبیعی مانند خاک و پوشش گیاهی به بافت‌های شهری می‌شود (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۸).

ارزیابی داده‌های سری زمانی پوشش گیاهی به طور قابل توجهی درک ما را از تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی بهبود می‌بخشد (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به گستردگی تغییرات، روش‌های سنتی برای محققین زمان‌بر و پرهزینه است، ولی تکنیک‌های سنجش‌ازدور با استفاده از تصاویر چند زمانه، حجم عظیمی از اطلاعات را در اختیار محقق قرار می‌دهد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴). انتخاب روش و الگوریتم کار جهت بازیابی و کشف این تغییرات اقدامی مهم و اساسی است (کاظمی‌نیا، ۱۳۹۶). روش‌های طبقه‌بندی، به عنوان روش‌هایی با ضریب اطمینان بالا نسبت به روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شوند (ولی و همکاران، ۱۳۹۸). طبقه‌بندی شیء گرا، فرآیندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی، شاخص‌های پوشش گیاهی به عنوان معیارهایی برای آنالیز تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکوهی‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵؛ موراویتس^۲ و همکاران، ۲۰۰۶؛ کوه^۳ و همکاران، ۲۰۰۶).

در ارتباط با موضوع تحقیق، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور به انجام رسیده است. چانگ^۴ و چانگ (۲۰۰۶) برای بررسی پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییرات منطقه جیوجیو از زنجیره CA مارکوف و داده‌های ماهواره اسپات در دوره‌های زمانی ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ استفاده کردند. نتایج آنان گویای قابلیت بالای مدل مذکور در پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی است. واکلاویک و روگان^۵ (۲۰۰۹) با روش LCM اقدام به آشکارسازی تغییرات در جمهوری چک کردند و به این نتیجه رسیدند که ۶ درصد از جنگل‌های مخلوط به جنگل پهن‌برگ

1 Pettorelli

2 Morawitz

3 Koh

4 Chang

5 Vaclavik & Rogan

تبدیل شده و ۳/۵ درصد افزایش در مناطق مسکونی رخ داده است. برینک و اوا^۱ (۲۰۰۹) به ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ۲۵ سال گذشته در ساحاران آفریقا با تصاویر لندست پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق کشاورزی افزایش، مناطق جنگلی و پوشش گیاهی غیرجنگلی کاهش و مناطق بایر گسترش پیدا کرده است که علت آن افزایش جمعیت انسانی بوده است. راوات^۲ و همکاران (۲۰۱۳) با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و شاخص‌های NDBI، NDVI و NDWI، به بررسی تغییرات پوشش اراضی در شهر رم‌نگر استان اوتاراکنند هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که در دو دهه گذشته، منطقه مسکونی و نوار شن و ماسه به ترتیب ۸/۸۸ درصد و ۳/۹۸ درصد افزایش یافته است. در حالی که سایر کاربری‌های پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و آب به ترتیب ۹/۴۱ درصد، ۰/۶۹ درصد و ۲/۷۶ درصد کاهش یافته است. فاتحه^۳ و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای در الاغواط الجزایر جهت انتخاب شاخص مناسب برای مطالعه پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک با پوشش کم، سه شاخص NDVI، SAVI و TSAVI را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که شاخص SAVI شاخص مناسبی برای مطالعه پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک است.

در ایران، محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای در شهرستان بهبهان با داده‌های سنجنده ETM+ و OLI در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از NDVI را محاسبه کرد. نتایج نشان داد که طی ۱۴ سال طبقه با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف افزایش مساحت پیدا کرده و اراضی با پوشش خوب، کاهش یافته است. همچنین استفاده از تصاویر سنجنده OLI نتایج دقیق‌تری ارائه خواهد داد. ناطقی و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی پوشش گیاهی جزیره قشم در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ از داده‌های ETM+ و OLI ماهواره لندست و چهار شاخص NDVI، SAVI، RVI و WAVI استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص SAVI با بیش‌ترین ضریب کاپا ۰/۹۳ در سال ۱۳۹۳ و ۰/۸۳ در سال ۱۳۸۰ بهترین عملکرد و شاخص WAVI با کمترین ضریب کاپا ۰/۸۱ در سال ۱۳۸۰ و ۰/۴۳ در سال ۱۳۹۳ ضعیف‌ترین نتایج را از بین شاخص‌ها داشت. حلییان و سلطانیان (۱۳۹۵) برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از جمله پوشش گیاهی در شرق و جنوب اصفهان از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف استفاده کردند. در این پژوهش، جهت طبقه‌بندی تصاویر از روش Fuzzy ARTMAP و برای شناسایی پوشش گیاهی از NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات را پوشش گیاهی داشته است. این تغییر طی دوره ۱۹۸۶-۱۹۹۴ بوده است که ۱۰۶۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می‌دهد. بیش‌ترین تغییرات طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۲۴ در پوشش گیاهی رخ خواهد داد که حدود ۶۰ درصد از پوشش گیاهی منطقه از بین خواهد رفت.

1 Brink & Eva

2 Rawat

3 Fatiha

مکرم و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات تاج پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با شاخص‌های گیاهی (NDVI، VIN، SS و RVI) و اطلاعات اقلیمی در مکان‌های مختلف مرتعی در شمال شهرستان داراب واقع در استان فارس پرداختند. برای این منظور، از تصاویر ماهواره لندست ETM+ (۲۰۱۵) و ASTER (۲۰۰۵) استفاده شد. نتایج نشان داد میزان شاخص‌های گیاهی در فصل رشد زیادتر بوده که با افزایش دما میزان این شاخص در ماه‌های بعد کمتر می‌شود. از بین شاخص‌ها، NDVI دارای دقت جهت پیش‌بینی پوشش گیاهی است.

شکوری و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بالأخص کاربری پوشش گیاهی در منطقه اوغان شهرستان مینودشت استان گلستان در بازه ۳۰ ساله با استفاده از تصاویر سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۳، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ سنجده ETM+ ماهواره لندست و شاخص NDVI پرداختند. در این تحقیق، از مدل CA جهت پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که در دو سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ وسعت پوشش گیاهی افزایش یافته و منطقه سبزتر شده است.

سارلی و همکاران (۱۳۹۸) جهت سنجش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه مازندران طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۵ از زنجیره مارکوف و GIS استفاده کرده و مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر را مشخص نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که داده‌های ارزیابی شده با میانگین دقت کل ۹۱، ضریب کاپای ۰/۸۸ را در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی به خود اختصاص داده‌اند.

ساختار و تراکم پوشش گیاهی در سطح کلان‌شهر اهواز، تحت تأثیر عوامل طبیعی مانند تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی مانند تغییرات کاربری اراضی قرار گرفته است. به علت افزایش جمعیت و توسعه شهری، بخش‌های وسیعی از پوشش گیاهی کلان‌شهر اهواز دستخوش تغییر شده و به نفع کاربری‌های دیگر از جمله اراضی مسکونی در حال کاهش است. با توجه به اینکه پوشش گیاهی شهری، نقش مهمی در محیط‌زیست شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان دارد. لذا هدف این مطالعه، برآورد سطح پوشش گیاهی در کلان‌شهر اهواز و بررسی تغییرات آن در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. آشکارسازی و پیش‌بینی این تغییرات، راهکاری برای حفظ و احیای پوشش گیاهی در مناطق مختلف شهر می‌باشد.

۱-۱- فرضیات تحقیق

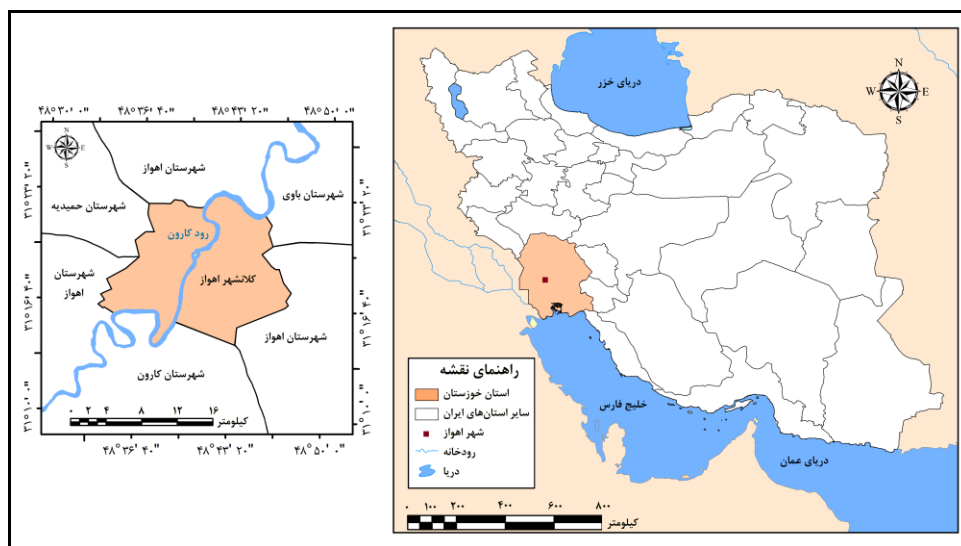
به نظر می‌رسد پوشش گیاهی شهر اهواز در دوره مورد بررسی (۲۰۱۹-۱۹۸۹)، تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی قرار گرفته و روندی رو به کاهش داشته است.

شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در تحقیق (NDVI، SAVI و RVI)، کارایی یکسانی در دقت طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای دارند.

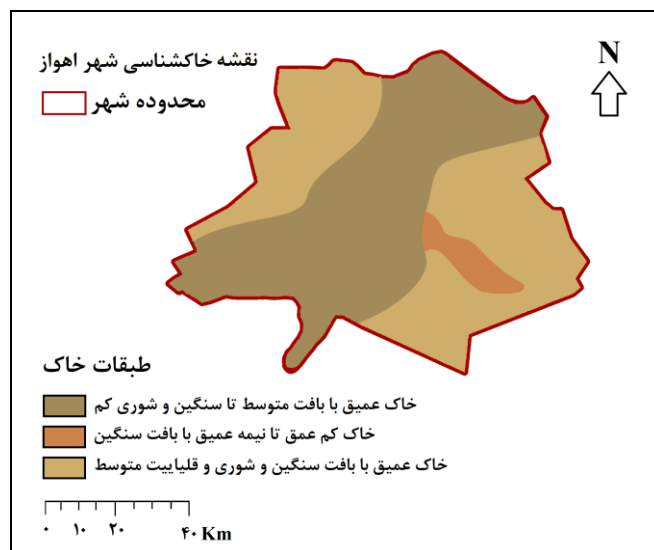
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز با مساحت $21901/03$ هکتار و ارتفاع حدود ۱۲ متر از سطح دریا، در مختصات جغرافیایی 31° درجه و $20'$ دقیقه عرض شمالی و 48° درجه و $40'$ دقیقه طول شرقی و بخش جلگه‌ای استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). پهنه شهر اهواز با عبور رودخانه کارون در جهت شمالی-جنوبی به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۴). براساس طبقه‌بندی اقلیمی دوماتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهر اهواز در گروه اقلیمی خشک قرار دارد. خاک اهواز از نوع خاک‌های رسوبی و در بعضی از مناطق خاک‌های شور قلیایی و قهوه‌ای لیتوسل است (انوری پور، ۱۳۹۲). به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی و شوری آب، زمین در بعضی بخش‌ها به صورت پف کرده می‌باشد. خاک‌های رسوبی با بافت ریزدانه در سطح شهر وسعت زیادی داشته و شیب آن‌ها بسیار کم، عمق خاک زیاد و زهکش طبیعی آن‌ها متوسط تا خوب می‌باشد (شکل ۲). شهر اهواز در مقایسه با وسعتی که دارد، از نظر پوشش گیاهی فقیر است که این امر متأثر از شرایط نامطلوب محیطی اعم از اقلیم و آب و خاک می‌باشد. اما به دلیل حجم آب جاری و خاک جلگه‌ای، مستعد برای پوشش گیاهی دست‌کشت و مصنوع است. تنوع درختان شمر و غیرشمر و نیز درختچه‌ها نسبت به مناطق دیگر بسیار کم و غلبه درختانی مانند کنار، کهور و اکالیپتوس در سطح شهر و حومه آن کاملاً مشهود است.



شکل ۱- موقعیت کلان‌شهر اهواز در ایران و استان خوزستان



شکل ۲- نقشه خاکشناسی شهر اهواز

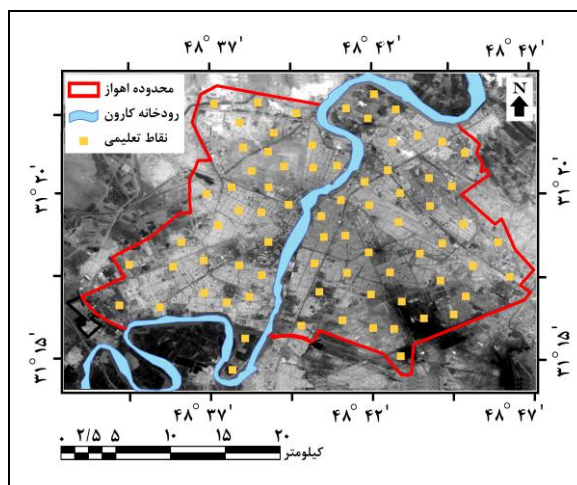
۲-۲- روش بررسی

۲-۲-۱- داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

تصاویر لندست، طولانی‌ترین آرشیو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، کالیبراسیون بالا، داده‌های چند طیفی از منابع منحصربه‌فرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری اراضی و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات و نظارت بر پویایی اکوسیستم را شامل می‌شوند (طاهرپرور و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در این پژوهش، از تصاویر TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) لندست استفاده شد (جدول ۱). تهیه تصاویر، از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) صورت گرفت. تهیه نمونه‌های تعلیمی نیز از بازدید میدانی و ترکیب‌های رنگی کاذب انجام شد. ضمن مشاهده و برداشت نمونه (شکل ۳)، داده‌ها با استفاده از GPS کنترل شد که این اطلاعات، مناطق تعلیمی برای طبقه‌بندی بوده است. جهت پردازش تصاویر، از نرم‌افزارهای ENVI، eCognition، Terrset و ArcGIS استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای	ردیف و گذر	ابعاد پوشش (کیلومتر)	تاریخ تصویر	فرمت
Landsat-5 TM	۱۶۵-۳۸	۱۸۵×۱۸۵	۲۴ می ۱۹۸۹	TIFF
Landsat-7 ETM+	۱۶۵-۳۸	۱۸۵×۱۸۵	۲۸ می ۲۰۰۲	TIFF
Landsat-8 OLI	۱۶۵-۳۸	۱۸۵×۱۸۵	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	TIFF



شکل ۳- موقعیت نقاط تعلیمی برداشت شده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

۲-۲-۲- پیش‌پردازش تصاویر

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی زمین مرجع بودن و خطاهای ناشی از اعوجاج تصویر پرداخته شد که تصاویر ماهواره لندست خود در این زمینه جزء تصاویر مرجع برای ژئورفرنس‌دار کردن تصاویر و نقشه‌های فاقد زمین مرجع است، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نداشت (میرعلیزاده فرد و منصوری، ۱۳۹۸). برای تصحیح اتمسفریک، از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک استفاده شد. با این فرضیه که پیکسل تاریک با حداکثر احتمال، کمترین میزان انعکاس طیفی را دارد و متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر می‌باشد. زیرا در صورت وجود ذرات پراکنده در جو، پراکنش جوی باعث می‌شود که عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد (سفیانیان و خداکرمی، ۱۳۹۰). در این مطالعه، از نقاطی در رودخانه کارون که دارای آب عمیق هستند، برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای و رفع خطاهای اتمسفری روی آن‌ها، استفاده شد. مراحل تصحیح رادیومتریک تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد.

۲-۲-۳- طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام است که شامل سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی)، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). سگمنت‌سازی، مرحله مهمی در تحلیلی شیء‌گرای تصاویر است. اشیاء به وسیله گروهی از پیکسل‌ها مطابق با معیارهای همگنی و ناهمگنی شکل می‌گیرند که مهم‌ترین فرآیند در پردازش شیء‌گرای تصاویر هستند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). برای سیگمنت‌سازی، از الگوریتم چند

تفکیکه استفاده شد. این الگوریتم فرایندی پایین-بالاست که با شیءهای یک پیکسل آغاز می‌شود (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶) و از عمومی‌ترین الگوریتم‌ها برای این منظور به حساب می‌آید (دراگوت^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

نرم‌افزار eCognition برای سگمنت‌سازی چندتفکیکه از شاخصه‌های مقیاس، رنگ، شکل، نرمی، فشردگی و وزن‌های متناسب برای هریک از باندهای تصویری استفاده می‌نماید (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). تعیین مقادیر بهینه برای مقادیر فوق در کیفیت سیگمنت‌سازی اهمیت زیادی دارد (بلاشکه^۲، ۲۰۱۰). مقیاس سگمنت‌سازی درجه کلی‌گرایی یا جزئی‌گرایی است، هرچه عددی بزرگ‌تر برای مقیاس تعریف شود، شیءهای تصویری بزرگ‌تری ایجاد می‌شود و برعکس با انتخاب عددی کوچک‌تر برای پارامتر مقیاس، شیءهای تصویری کوچک‌تری ایجاد خواهد شد (خضری احمدآباد و سلیمانی، ۱۳۹۶). از دیگر پارامترهای مؤثر در اندازه شیءها، رنگ و شکل است که جمع وزن هر دو عدد یک است (تریمل^۳، ۲۰۱۲). مطالعات قبلی نشان می‌دهد که عدد ۰/۹ برای پارامتر رنگ، بهترین سیگمنت‌ها را نتیجه می‌دهد (پو^۴ و همکاران، ۲۰۱۱؛ متیو^۵ و همکاران، ۲۰۰۷) و درنهایت، پارامتر فشردگی یا نرمی است که متناسب با بافت و ویژگی‌های هندسی پدیده‌های زمینی تعیین می‌شود (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش، بر اساس سعی و خطا (Trial and Error) و بررسی بصری نتیجه سگمنت‌سازی، مقادیر پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی تعیین شد (جدول ۲). ترکیب نواری مناسب برای طبقه‌بندی نیز یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در کیفیت سیگمنت‌سازی است. در تحلیل شیء‌گرایی تصاویر، علاوه بر امکان استفاده از بهترین ترکیب نواری برای سیگمنت‌سازی، امکان اعمال وزن برای هرکدام از نوارها نیز وجود دارد (سرافراز اسبق و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهش حاضر، با تفسیر منحنی‌های انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها، بهترین ترکیب نواری با کمترین ضریب همبستگی و بیشترین واریانس در بین ترکیبات باندهای مختلف، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شد (جدول ۲). با توجه به اینکه استخراج سطح پوشش گیاهی، از مهم‌ترین اهداف تحقیق می‌باشد، در فرایند سیگمنت‌سازی اقدام به اعمال وزن برای ترکیب نواری منتخب گردید و به نوار شاخص پوشش گیاهی، وزن بیشتری از سایر نوارها داده شد. با در نظر گرفتن این موضوع که در اعمال وزن برای نوارهای تصویر، مجموع وزن‌های انتخاب شده بایستی ۱۰۰ باشد، لذا از سه نوار منتخب برای طبقه‌بندی، به نوار شاخص پوشش گیاهی اهمیت بیشتری داده شد و برای این نوار ۴۰ از ۱۰۰ در نظر گرفته شد که در مرحله ارزیابی کیفیت سیگمنت‌ها، با مقایسه نقاط برداشت شده به وسیله GPS به عنوان نمونه‌های تعلیمی، و انطباق سیگمنت‌های

1 Dragut

2 Blaschke

3 Trimble

4 Pu

5 Mathieu

ایجادشده با وضعیت موجود طبقات اراضی در سطح منطقه مشخص شد که وزن‌های اعمال‌شده نتیجه مطلوبی را در سیگمنت‌سازی ایجاد نموده است.

جدول ۲- وزن پارامترهای مؤثر در فرآیند سیگمنت‌سازی

تصویر ماهواره‌ای	مقیاس	شکل	فشرده‌گی	ترکیب نواری مناسب	وزن ترکیب نواری
TM (۱۹۸۹)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵, G: شاخص گیاهی, B: ۳	R: ۳۰, G: ۴۰, B: ۳۰
ETM+ (۲۰۰۲)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵, G: شاخص گیاهی, B: ۳	
OLI (۲۰۱۹)	۱۳۰	۰/۱	۰/۴	R: ۷, G: شاخص گیاهی, B: ۴	

وجود شاخص پوشش گیاهی در ترکیب نواری، موجب افزایش دقت طبقه‌بندی در پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. بر این اساس، هریک از شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI به‌طور جداگانه به‌عنوان یک باند در کنار دیگر باندها برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. محاسبه سه شاخص مذکور، بر اساس نسبت بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک صورت می‌گیرد (جدول ۳). پس از اعتبارسنجی، بهترین شاخص در منطقه مشخص شده و بر اساس آن، روند تغییرات پوشش گیاهی ارزیابی می‌شود. NDVI بیش‌ترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته (کاظمی‌نیا، ۱۳۹۶) و یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). شاخص SAVI، واریانس بازتاب طیفی ناشی از تغییرات خاک زمینه را به حداقل کاهش می‌دهد (پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵) و شاخص RVI کاربرد ویژه‌ای در ازبین‌بردن اثرات متفاوت روشنایی و توپوگرافی دارد (نیوکامر^۱ و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۳- روابط و دامنه تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی

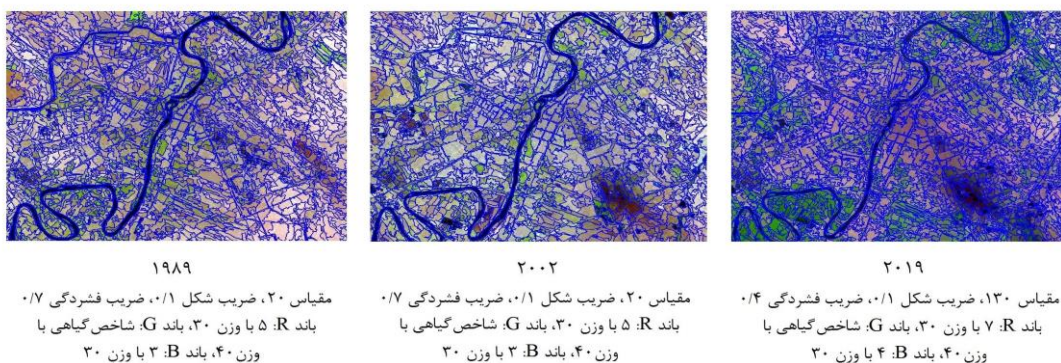
شاخص	رابطه	دامنه تغییرات	مأخذ
NDVI	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	۱- تا +۱	توکر ^۲ و همکاران، ۱۹۷۹
SAVI	$SAVI = NIR - R / (NIR + R + L)(1 + L)$	۱- تا +۱	پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵
RVI	$RVI = NIR / R$	۰ تا بی‌نهایت	نیوکامر و همکاران، ۲۰۱۱

L: فاکتور تصحیح برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی (مقدار L برای مناطق با پوشش گیاهی کم، ۱ است).

شکل ۴، تصاویر سیگمنت‌سازی شده براساس مقادیر بهینه شاخص‌های مقیاس، شکل، فشرده‌گی، ترکیب باندی مناسب و شاخص پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

1 Newcomer

2 Toker



شکل ۴- سیگمنت‌سازی بر اساس مقادیر بهینه معیارها، ترکیب باندها و شاخص پوشش گیاهی

در مرحله پردازش شیء‌گرا، سگمنت‌های تصویری موجود بر اساس درجه عضویت آن‌ها به طبقات مختلف نسبت داده شد و هریک از شیء‌های تصویری در این روش بر اساس بیشترین درجه عضویت یک کلاس خاص و بر اساس منطق فازی، طبقه‌بندی شد (اندریانی و همکاران، ۱۳۹۶). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پردازش شیء‌گرا تاکنون با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). صحت طبقه‌بندی و الگوریتم بکار رفته در طبقه‌بندی، نقش مهمی را در کاربرد و ارزش نقشه‌های ایجادشده ایفا می‌کند (برینک^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در این رابطه، الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) از طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده است که در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط پژوهشگر روسی ولادیمیر نامویچ و پینک ارائه گردید. این الگوریتم به‌خوبی می‌تواند پردازش‌های مربوط به طبقه‌بندی شیء‌گرا را انجام دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷) و در بسیاری از تحقیقات، به‌عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (حاجی بیگلو و همکاران، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ جانسون^۲، ۲۰۱۵؛ بریان^۳ و همکاران، ۲۰۱۱) و می‌تواند مشکلات موجود در اختلاف غیرمتعادل میان نمونه‌های تعلیمی را حل کند (جنسن^۴، ۲۰۰۵). بنابراین در این پژوهش، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار eCognition با استفاده از نمونه‌های تعلیمی صورت گرفت و در آن شیء‌های تصویری بر اساس الگوریتم تعیین‌شده (چندتفکیکه) به کلاس‌های طبقه‌بندی اختصاص یافت. ارزیابی صحت، آخرین مرحله طبقه‌بندی تصویر در هر روشی می‌باشد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۸). پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، دقت طبقه‌بندی انجام‌شده با استفاده از ماتریس خطا، صحت کلی و آماره کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مرحله، با مقایسه صحت نقشه‌های کاربری

1 Brink

2 Jonsson

3 Brian

4 Jensen

اراضی تهیه شده از سه شاخص پوشش گیاهی NDVI، SAVI و RVI، میزان برتری هر شاخص در تشخیص و تفکیک پوشش گیاهی منطقه، مشخص شده تا در مرحله بعد از نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص منتخب، جهت تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی در بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده شود.

۲-۲-۴- تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های محیط‌زیست، برنامه‌ریزی و مدیریت است (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۸). بر این اساس روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که نسبت تبدیل کاربری اراضی مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها را در آینده فراهم می‌آورند (میرعلیزاده فرد و علی‌بخشی، ۱۳۹۵). در این پژوهش، جهت شناسایی تغییرات کاربری پوشش گیاهی منطقه نسبت به کاربری‌های دیگر بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی، از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) در محیط نرم‌افزار Teraset استفاده شد. این مدل ابزاری را در اختیار قرار می‌دهد که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی پرداخت (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۸). در مرحله بعد، پوشش گیاهی سال ۲۰۲۹ با استفاده از زنجیره CA مارکوف و بر مبنای تغییرات مشاهده شده بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی شبیه‌سازی شد. مدل CA مارکوف تلفیقی از سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود (محمدیان بهبهانی و حیدری زادی، ۱۳۹۷). برای تعیین اعتبار پیش‌بینی از شاخص انطباق کاپا استفاده گردید که هرچه به عدد یک یا برحسب درصد به عدد صد نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل در پیش‌بینی موردنظر است (حلییان و سلطانیان، ۱۳۹۵).

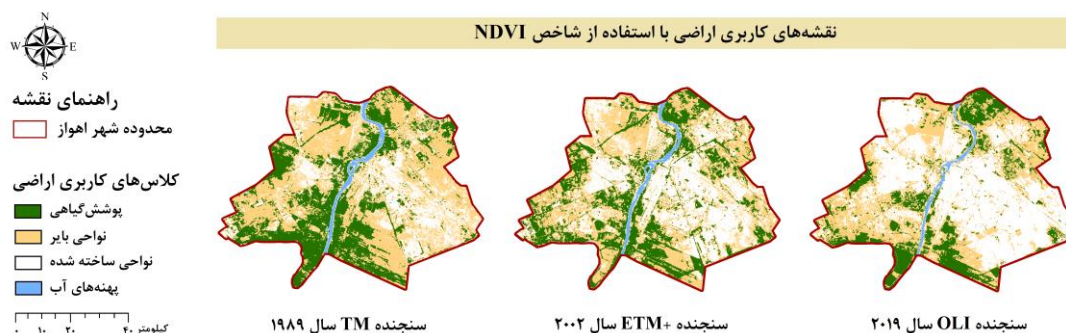
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

پس از طبقه‌بندی تصاویر، نقشه‌های کاربری اراضی به چهار کلاس شامل پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته شده و پهنه‌های آب تفکیک شده (جدول ۴ و شکل‌های ۵ تا ۷) و مساحت هریک از کاربری‌ها برای هر سال مشخص گردید (جدول ۵ تا ۷). در این پژوهش، هریک از شاخص‌های NDVI، SAVI و RVI به‌طور جداگانه در فرآیند طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت تا با مقایسه مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای هریک از نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده، میزان برتری آن شاخص در افزایش دقت طبقه‌بندی و تفکیک پوشش گیاهی از سایر طبقات کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۴- کاربری‌های طبقه‌بندی‌شده در تصاویر ماهواره‌ای

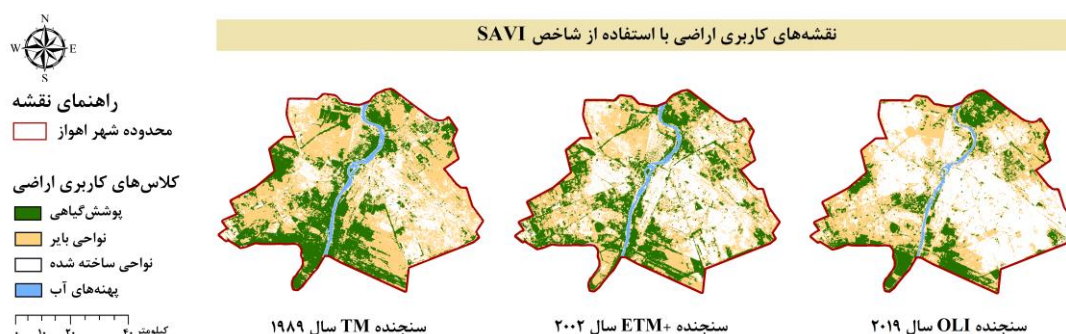
کاربری	کلاس
پارک‌ها، مجتمع‌های درختی، چمن، باغات و فضای سبز	پوشش گیاهی
فضاهای باز و نواحی بدون پوشش گیاهی اطراف شهر	نواحی بایر
مناطق مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی	نواحی ساخته‌شده
رودخانه کارون	پهنه‌های آب



شکل ۵- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص NDVI

جدول ۵- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص NDVI

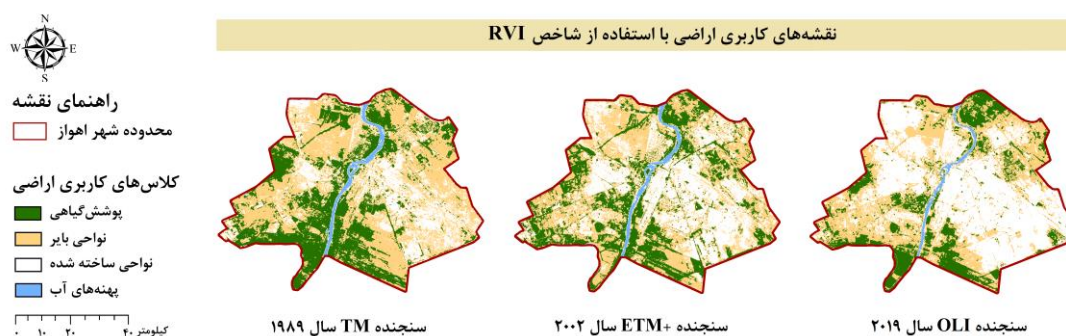
شاخص	طبقات کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		
		۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹
NDVI	پوشش گیاهی	۳۶۹۶/۸۹	۵۵۵۷/۳۹	۶۱۹۷/۰۴
	نواحی بایر	۷۷۱۰/۹۰	۸۹۸۵/۵۴	۱۰۲۳۲/۵۶
	نواحی ساخته شده	۱۰۱۱۸/۹۳	۶۹۴۴/۱۶	۴۳۳۹/۲۴
	پهنه‌های آب	۳۷۴/۳۱	۴۱۳/۹۴	۴۳۲/۲۰



شکل ۶- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص SAVI

جدول ۶- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص SAVI

شاخص	طبقات کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		
		۱۹۸۹	۲۰۰۲	۲۰۱۹
SAVI	پوشش گیاهی	۶۹۰۹/۱۶	۵۵۶۹/۵۱	۳۷۰۹/۰۱
	نواحی بایر	۱۰۲۲۰/۴۴	۸۹۷۳/۴۲	۷۶۹۸/۷۸
	نواحی ساخته شده	۴۳۲۷/۱۲	۶۹۳۲/۰۴	۱۰۱۰۶/۸۱
	پهنه‌های آب	۴۴۴/۳۲	۴۲۶/۰۶	۳۸۶/۴۳



شکل ۷- نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص RVI

جدول ۷- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص RVI

شاخص	طبقات کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		
		۱۹۸۹	۲۰۰۲	۲۰۱۹
RVI	پوشش گیاهی	۶۹۲۳/۳۰	۵۵۸۳/۶۵	۳۷۲۳/۱۵
	نواحی بایر	۱۰۲۰۶/۳۰	۸۹۵۹/۲۸	۷۶۸۴/۶۴
	نواحی ساخته شده	۴۳۱۲/۹۸	۶۹۱۷/۹۰	۱۰۰۹۲/۶۷
	پهنه‌های آب	۴۵۸/۴۶	۴۴۰/۲۰	۴۰۰/۵۷

بر اساس نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی سه شاخص، در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲، نواحی بایر و در سال ۲۰۱۹، نواحی ساخته شده، بیش‌ترین مساحت را داشته‌اند. کلاس پهنه‌های آب نیز، در هر سه سال کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در نقشه‌های کاربری اراضی شاخص NDVI، مساحت پوشش گیاهی از ۶۸۹۷/۰۴ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۵۵۷/۳۹ هکتار در سال ۲۰۰۲ و ۳۶۹۶/۸۹ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. بررسی نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI نشان داد که مساحت پوشش گیاهی در سال ۱۹۸۹ حدود ۶۹۰۹/۱۶ هکتار بوده ولی در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۵۵۶۹/۵۱ و ۳۷۰۹/۰۱ هکتار شده است. همچنین، در نقشه‌های

کاربری اراضی مربوط به شاخص RVI، پوشش گیاهی از ۶۹۲۳/۳۰ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۵۸۳/۶۵ هکتار در سال ۲۰۰۲ و ۳۷۲۳/۱۵ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است.

۳-۲- بررسی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ با استفاده از ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال‌ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۸).

جدول ۸- ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی بر اساس سه شاخص گیاهی

شاخص	نقشه کاربری اراضی TM		نقشه کاربری اراضی ETM+		نقشه کاربری اراضی OLI	
	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی
NDVI	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۳
SAVI	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۶
RVI	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۹۲

نتایج نشان داد نقشه‌های کاربری اراضی هر سه سنجنده، از ضرایب کاپا و صحت کلی بالای ۷۰ درصد برخوردار بودند. بالاترین ضرایب کاپا و صحت کلی در تصاویر سنجنده OLI و پایین‌ترین مقادیر آن‌ها در تصاویر سنجنده TM بوده است. ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI در تصاویر هر سه سنجنده، نسبت به شاخص‌های NDVI و RVI بیشتر می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج اعتبارسنجی نقشه‌ها، شاخص SAVI به‌عنوان شاخص برتر در شناسایی پوشش گیاهی منطقه معرفی گردیده و در ادامه جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی، از نقشه‌های کاربری اراضی شاخص SAVI استفاده می‌شود.

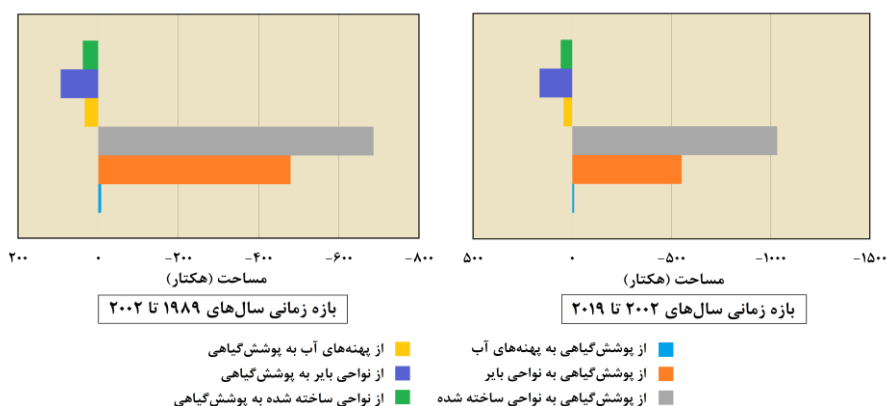
۳-۳- نتایج آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از مدل LCM

جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ مربوط به شاخص SAVI به‌عنوان ورودی مدل LCM، استفاده شده و با بررسی تبدیل کاربری اراضی و کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری، میزان تغییرات پوشش گیاهی مشخص شد. جدول ۹، میزان تغییرات پوشش گیاهی نسبت به کاربری‌های دیگر را طی دو بازه ۱۹۸۹-۲۰۰۲ و ۲۰۱۹-۲۰۰۲ نشان می‌دهد.

جدول ۹- مساحت تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با سایر کاربری‌ها

تغییرات		مساحت تغییرات (هکتار)
سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۲	سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۹	
از پوشش گیاهی به پهنه‌های آب	۷/۱۸	۹/۳۳
از پوشش گیاهی به نواحی بایر	۴۷۹/۷۸	۵۵۱/۶۸
از پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده	۶۸۶/۴۴	۱۰۳۲/۵۱
از پهنه‌های آب به پوشش گیاهی	۳۳/۸۸	۴۴/۴۱
از نواحی بایر به پوشش گیاهی	۹۳/۸۰	۱۶۴/۶۳
از نواحی ساخته‌شده به پوشش گیاهی	۳۸/۵۷	۵۷/۹۴

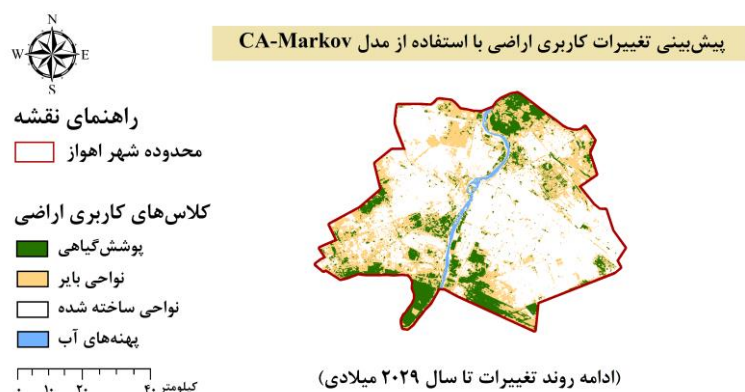
شکل ۸، روند تغییرات پوشش گیاهی را طی دو بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲، تغییرات پوشش گیاهی روندی رو به کاهش داشته، به‌طوری‌که به میزان ۱۳۳۹/۶۵ هکتار، مساحت پوشش گیاهی کاهش یافته است. در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نیز پوشش گیاهی کاهش داشته اما میزان این کاهش نسبت به دوره قبل بیشتر بوده است، به‌طوری‌که به میزان ۱۸۶۰/۵۰ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده است. در هر دو بازه زمانی تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده و نواحی بایر چشمگیر بوده است. بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده با ۶۸۶/۴۴ هکتار در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۱۰۳۲/۵۱ هکتار در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. روند رو به افزایش تغییرات نواحی ساخته‌شده علاوه بر پوشش گیاهی، سبب کاهش دو کلاس نواحی بایر و پهنه‌های آب نیز شده است. با توجه به شکل ۷؛ کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌های آب با ۷/۱۸ هکتار در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۹/۳۳ هکتار در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد.



شکل ۸- تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های مختلف

۳-۴- نتایج پیش‌بینی روند تغییرات با استفاده از مدل CA مارکوف

پس از بررسی نتایج حاصل از صحت مکانی مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹، از زنجیره CA مارکوف برای پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار Terrset استفاده شد. با توجه به تطابق نتایج تحلیل کاربری‌ها با واقعیت، ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا بین نقشه به‌دست‌آمده از مدل‌سازی و نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹، مقدار ۰/۸۲ را نشان داد. در ادامه، اقدام به ساخت سناریوی آینده در دوره ۱۰ سال بعدی (۲۰۲۹-۲۰۱۹) شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره (۲۰۱۹-۲۰۰۲) اجرا گردید. شکل ۹ و جدول ۱۰، به ترتیب نشان‌دهنده مساحت طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۹ است.



شکل ۹- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۹ با استفاده از مدل CA مارکوف

جدول ۱۰- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال ۲۰۲۹

مساحت (هکتار)	طبقات کاربری اراضی
۲۹۳۳/۲۴	پوشش گیاهی
۶۲۵۸/۱۳	نواحی بایر
۱۲۳۴۵/۶۳	نواحی ساخته شده
۳۷۴/۰۳	پهنه‌های آب

از جدول پیش‌بینی مساحت‌ها می‌توان دریافت که تنها نواحی ساخته‌شده روند افزایشی داشته‌اند و بقیه کاربری‌ها با روندی کاهشی روبه‌رو خواهند شد. کاربری نواحی ساخته‌شده به میزان ۲۲۳۸/۸۲ هکتار، بیش‌ترین رشد را داشته که این طبقه مربوط به مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی است. همچنین نواحی بایر با کاهش حدود ۱۴۴۰/۶۵ هکتار، روند رو به کاهش خود را در این بازه زمانی نیز حفظ کرده و به میزان ۶۲۵۸/۱۳

هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده‌اند. کمترین تغییرات مربوط به مساحت رودخانه کارون به‌عنوان پهنه آبی منطقه مورد مطالعه بوده که به میزان ۱۲/۴ هکتار کاهش یافته و به ۳۷۴/۰۳ هکتار در سال ۲۰۲۹ رسیده است. نتایج پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۲۹ به‌گونه‌ای است که در صورت ادامه روند موجود، به میزان ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی منطقه، کاسته شده و به کاربری‌های دیگر تبدیل می‌شود. البته این میزان کاهش در پوشش گیاهی در مقایسه با دوره قبل (۲۰۱۹-۲۰۰۲)، کمتر بوده و مساحت کمتری از کاربری پوشش گیاهی تا سال ۲۰۲۹ به سایر کاربری‌ها تبدیل شده است.

۴- جمع‌بندی

در این پژوهش، از تصاویر سه سنجنده TM، ETM+ و OLI لندست جهت پایش تغییرات رخ داده در کاربری پوشش گیاهی شهر اهواز استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که استفاده از تصاویر سنجنده OLI، نتایج دقیق‌تری ارائه خواهد داد که با نتایج تحقیق محمدیاری و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. در مرحله سیگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، وزن‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای مقیاس، شکل، فشردگی و باندهای تصویری، به شکل کاملاً محسوسی در وضوح و کیفیت تصویر تأثیر گذاشته و از این یافته می‌توان به توجیه افزایش کیفیت سیگمنت‌سازی به‌خوبی استفاده کرد. همچنین استفاده از شاخص پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از پارامترهای طبقه‌بندی، موجب افزایش صحت طبقه‌بندی و تشخیص و جداسازی پوشش گیاهی از طبقات دیگر کاربری اراضی شد. در این پژوهش، توانایی سه شاخص NDVI، SAVI و RVI در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی مورد مقایسه قرار گرفت و از هر شاخص به‌طور جداگانه در مرحله سیگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. در این پژوهش، با توجه به اقلیم خشک و پوشش گیاهی کم منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص SAVI دارای بالاترین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بوده‌اند. چون در این شاخص، شیب خط خاک به کار گرفته شده است و اثر منفی خاک زمینه‌ای به‌خوبی حذف شده و تفکیک پوشش گیاهی با دقت بالاتری انجام شده است. همچنین ضرایب کاپای نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به SAVI، ۰/۸۰ در سال ۱۹۸۹، ۰/۸۱ در سال ۲۰۰۲ و ۰/۹۱ در سال ۲۰۱۹ بوده که نشان‌دهنده قدرت تفکیک پوشش گیاهی از سایر عوارض زمینی و عملکرد بهتر این شاخص در آشکارسازی تغییرات بوده است که با نتایج تحقیقات ناطقی و همکاران (۱۳۹۵) و فاتحه و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی داشته است. این موضوع با فرضیات تحقیق، که یکسان بودن کارایی سه شاخص NDVI، SAVI و RVI در دقت طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای را بیان نموده است، همخوانی ندارد. با بررسی نتایج مدل LCM و مقایسه مساحت کاربری پوشش گیاهی در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، می‌توان نتیجه گرفت که طی ۳۰ سال تغییرات پوشش گیاهی روندی رو به کاهش داشته است؛ به‌طوری‌که در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ به میزان ۱۳۳۹/۶۵ هکتار و در بازه زمانی

۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان ۱۸۶۰/۵۰ هکتار از مساحت پوشش گیاهی کلان شهر اهواز کاسته شده است. این بدین معنی است که در ۱۷ سال منتهی به سال ۲۰۱۹ نسبت به دوره قبل، مساحت بیشتری از پوشش گیاهی به کاربری های دیگر تبدیل شده است. این موضوع با فرضیات تحقیق، که کاهش پوشش گیاهی شهر اهواز ناشی از تغییرات کاربری اراضی را در دوره مورد بررسی (۲۰۱۹-۱۹۸۹) بیان نموده است، همخوانی دارد. نتایج پیش بینی تغییرات با استفاده از زنجیره CA مارکوف تا سال ۲۰۲۹ نیز نشان دهنده ادامه روند کاهشی مساحت کلاس پوشش گیاهی بوده به طوری که طی ۱۰ سال به میزان ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده و مساحت آن به ۲۹۲۳/۲۴ هکتار در سال ۲۰۲۹ خواهد رسید. همچنین با ملاحظه به نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، می توان دریافت که پوشش گیاهی کلان شهر اهواز از توزیع یکنواخت در تمام سطح شهر اهواز خارج شده و به تدریج با شدت گرفتن روند تغییرات کاربری اراضی به خصوص تبدیل اراضی دارای پوشش گیاهی به مناطق مسکونی و صنعتی، خیابان ها و راه های ارتباطی، تراکم آن در مناطق مرکزی شهر کاهش یافته و در مناطق حاشیه ای، تمرکز بیشتری پیدا کرده است. این روند در نیمه شرقی شهر اهواز چشمگیرتر بوده و می تواند مشکلاتی مانند کاهش کیفیت هوا، افزایش آلودگی صوتی، افزایش اثرات ریزگردها و افزایش دمای هوا را در این بخش ها ایجاد کند. در این زمینه، با بررسی وضعیت پوشش گیاهی موجود، شناسایی مکان های مناسب جهت احداث پارک های محله ای، کاشت گونه های جدید درختی و درختچه ای گل دار و پهن برگ و گونه های گرمسیری، استفاده از مشارکت مردمی و در نهایت تهیه طرح جامع فضای سبز شهری اهواز، می توان در جهت بهبود وضعیت پوشش گیاهی در این مناطق اقدام نمود.

نتایج این پژوهش نشان داد که ساختار و تراکم پوشش گیاهی کلان شهر اهواز تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی، تغییر پیدا کرده است. بنابراین آگاهی از خصوصیات کمی و کیفی این تغییرات در برنامه ریزی محیطی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت می باشد. همچنین با توجه به اینکه پوشش گیاهی در مناطق شهری، بازتابی از وضعیت اقلیمی، نوع خاک، وضعیت اقتصادی و اجتماعی، اثر عوامل مدیریتی و به طور کلی نشان دهنده رابطه انسان، محیط و گیاهان است، پیشنهاد می شود تا مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد و مسئولان نسبت به حفاظت از پوشش گیاهی، برنامه های عملیاتی ارائه نمایند.

کتابنامه

- اکبری، الهه، زنگنه اسدی، محمدعلی، تقوی مقدم، ابراهیم؛ ۱۳۹۴. پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش های مختلف تئوری آموزش آماری منطقه نیشابور. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۶(۲۰): ۳۵-۴۹.
- انتظاری، علیرضا، زندی، رحمان، خسرویان، مریم؛ ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی: استان فارس ۲۰۱۷-۱۹۸۶. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۱(۴): ۹۲۹-۹۴۰.

- اندریانی، صغری، نیکجو، محمد رضا، رضایی مقدم، محمد حسن، مختاری، داوود؛ ۱۳۹۶. تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا و زنجیره مارکوف در حوضه آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی. *جغرافیا و توسعه*. ۱۶(۵۳): ۳۷-۵۰.
- انوری پور، رضا؛ ۱۳۹۲. مدیریت و ارزیابی رواناب شهری با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: کلان شهر اهواز. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS*، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- پوراحمد، احمد، حبیبیان، بهار، احمدنیا، محمد رضا؛ ۱۳۹۴. تحلیلی بر فضای کالبدی شهر اهواز. *باغ نظر*. ۱۳(۳۹): ۳۸-۲۵.
- حاجی بیگلر، محبوبه، بردی شیخ، واحد، معاریان، هادی، بایرام کمکی، چوقی؛ ۱۳۹۸. ارزیابی طبقه‌بندی نظارت شده شیء‌گرا و پیکسل‌پایه در استخراج کاربری اراضی بر مبنای دو شاخص اختلاف کمی و مکانی در حوزه آبخیز گرگان رود. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۱۰(۴): ۱-۲۰.
- حلبیان، امیرحسین، سلطانیان، محمود؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان زایی در شرق و جنوب اصفهان با مدل CA-Markov. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۳(۴): ۷۱-۸۸.
- خضری احمدآباد، محمد، سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۶. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قزل اوزن با استفاده از تکنیک فیوژن و پردازش شیء‌گرا. *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*. ۸(۳): ۱۳-۲۱.
- روستایی، شهرام، مختاری، داوود، ولزاده کامران، خلیل، خدائی قشلاق، لایلا؛ ۱۳۹۷. مقایسه روش پیکسل‌پایه (بیش‌ترین شباهت) و شیء‌گرا (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه‌بندی کاربری اراضی (منطقه اهر- ورزقان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۸(۱): ۱۱۸-۱۲۹.
- سارلی، رضا، روشن، غلامرضا، گرب، استفان؛ ۱۳۹۸. سنجش و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی حوزه استان مازندران طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۵ با استفاده از زنجیره مارکوف و GIS. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. ۲۸(۱۱۱): ۱۴۹-۱۶۲.
- سرافراز اسبق، سونیا، میانجی، مهسا، فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییرات فضای سبز شهری با استفاده از روش فازی در طبقه‌بندی شیء‌گرا (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز). *بیست و دومین همایش ملی ژئوماتیک*، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
- سفیانیان، علیرضا، خداکرمی، لقمان؛ ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیرحوضه آبخیز کبودر آهنگ، رزن-قهاوند و خونجین-تلخاب در استان همدان). *آمایش سرزمین*. ۳(۴): ۹۵-۱۱۴.

- سلمانی، سعید، ابراهیمی، حمید، محمد زاده، کیوان، ولیزاده کامران، خلیل؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی شیء‌گرا در استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره آیکونوس. *اطلاعات جغرافیایی*. ۲۸(۱۱۱): ۲۰۵-۲۱۵.
- شکوری، صادق، موسوی حسنی، سید مسعود، پورعطاکش، مهسا، قربانی، آناهیتا، ارنک، سمیرا؛ ۱۳۹۷. شناسایی و بررسی روند تغییرات کاربری پوشش گیاهی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی زمان‌مند و CA با بهره‌گیری از تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: شهرستان مینودشت استان گلستان). *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*. ۹(۲): ۵۰-۷۱.
- شکوهی زادگان، سحرناز، خسروی، حسن، آذرنیوند، حسین، زهتابیان، غلامرضا، رایگانی، بهزاد؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پایش پوشش گیاهی مبتنی بر منطق فازی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ مطالعه موردی: پارک ملی بمو- شیراز. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. ۲۵(۱۰۰): ۱۵۷-۱۶۶.
- صابرفر، رحیمه، فلاحتکار، سامره، کیا، سید حسین؛ ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست (مطالعه موردی: ارس‌زارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت‌شده قرخود). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*. ۹(۱): ۷۱-۹۱.
- طاهرپور، مریم، پیرمادیان، نادر، وظیفه دوست، مجید؛ ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های پرکردن پیکسل‌های فاقد داده در تصاویر ماهواره لندست ETM+ ۷ در برآورد نقشه ضریب گیاهی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۷(۴): ۶۶۵-۶۷۶.
- عبداللهی، علی اصغر، خبازی، مصطفی، درانی، زهرا؛ ۱۳۹۸. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر لاهیجان با رویکرد توسعه پایدار. *شهر پایدار*. ۲(۴): ۱۷-۳۰.
- کاظمی‌نیا، عبدالرضا؛ ۱۳۹۶. کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی. *مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*. ۹(۱): ۷۵-۸۵.
- کرمانی، فرزانه، رایگانی، بهزاد، نظامی، باقر، گشتاسب، حمید، خسروی، حسن؛ ۱۳۹۶. ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده توران). *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۱۶(۱): ۱-۱۴.
- محمدیاری، فاطمه، پورخباز، حمید رضا، توکلی، مرتضی، اقدر، حسین؛ ۱۳۹۳. تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان). *اطلاعات جغرافیایی*. ۲۳(۹۲): ۲۳-۳۴.
- محمدیان بهبهانی، علی، حیدری زادی، زاهده؛ ۱۳۹۷. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات پهنه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل زنجیره مارکف CA (مطالعه موردی: دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام). *علوم محیطی*. ۱۶(۴): ۱۵۳-۱۶۶.

- مکرم، مرضیه، مزین، ملیحه، فرجی، محمد، موسوی، کتایون؛ ۱۳۹۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف رویش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با تغییرات دما (منطقه مورد مطالعه: شمال شهرستان داراب). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*. ۸(۳): ۱-۲۰.
- میرعلیزاده فرد، سید رضا، علی‌بخشی، سیده مریم؛ ۱۳۹۵. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت برتش دهلران ایلام). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۷(۲): ۳۳-۴۵.
- میرعلیزاده فرد، سید رضا، منصوری، شهرز؛ ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های سنجش از دور در مطالعات کمی و کیفی آب‌های سطحی با تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ (مطالعه موردی: جنوب استان خوزستان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۱۰(۲): ۶۳-۸۴.
- ناطق، سعیده، نوحه‌گر، احمد، احسانی، امیرهوشنگ، بذرافشان، ام‌البنین؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات پوشش گیاهی براساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۲۴(۴): ۷۷۸-۷۹۰.
- ولی، عباسعلی، موسوی، سید حجت، عباسی، هاجر؛ ۱۳۹۸. تحلیل و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی مبارکه در راستای تحقق توسعه پایدار. *جغرافیای اجتماعی شهری*. ۶(۲): ۷۳-۸۶.
- یاراحمدی، جمشید، رستمی‌زاد، قباد، ساعی، حسین؛ ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی به روش شیء‌گرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز ایلگنه‌چای جنگل‌های ارسباران. *حفاظت و بهره‌برداری جنگل‌های میرکانی*. ۱(۲): ۵۹-۷۰.
- یوسفی، صالح، تازه، مهدی، میرزایی، سمیه، مرادی، حمید رضا، توانگر، شهلا؛ ۱۳۹۳. مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۵(۳): ۶۷-۷۶.

- Beek, E. and Meijer, K., 2006. Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta. Water Research Institute: Iran.
- Blaschke, T. Feizizadeh, B. and Holbling, D., 2014. Object-Based Image Analysis and Digital Terrain Analysis for locating Landslides in the Urmia Lake Basin, Iran. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal* 7(12): 4806-4817.
- Brian, W.S. Chen, Q. and Borger, M., 2011. A Comparison of Classification Techniques to Support Land Cover and Land Use Analysis in Tropical Eoastal Zones. *Applied Geography* 31(2): 525-532.
- Brink, A. and Eva, H., 2009. Monitoring 25 Years of Land Cover Changes Dynamics in Africa: A Sample Based Remote Sensing Approach. *Applied Geography* 29(4): 501-512.
- Brink, A.B. Bodart, C. Brodsky, L. Defourney, P. Ernst, C. Donney, F. Lupi, A. and Tuckova, K., 2013. Anthropogenic Pressure in East Africa—Monitoring 20 Years of Land Cover Changes by Means of Medium Resolution Satellite Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 28(1): 60-69.
- Chang, C.L. and Chang, J., 2006. Markov Model and Cellular Automata for Vegetation. *Journal of Geographical Research* 1(1): 45-57.

- Darwish, T. and Faour, G., 2008. Rangeland Degradation in Two Watersheds of Lebanon. *Lebanese Science Journal* 9(1): 71-80.
- Dragut, L. Csillik, O. Eisank, C. and Tiede, D., 2014. Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 88(100): 119–127.
- Fatiha, B. Abdelkader, A. Latifa, H. Mohamed, E. and Spatio, A., 2014. Temporal Analysis of Vegetation by Vegetation Indices from Multi-dates Satellite Images: Application to a Semi-Arid Area in ALGERIA. *International Conference-Advancements in Renewable Energy and Clean Environment* 36(Part 1, 2): 667-675.
- Jensen, J., 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3rd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall 526.
- Jonsson, L., 2015. Evaluation of Pixel Based and Object Based Classification Methods for Land Cover Mapping with High Spatial Resolution Satellite Imagery, in the Amazonas: Brazil.
- Koh, C.N. Lee, P.F. and Lin, R.S., 2006. Bird Species Richness Patterns of Northern Taiwan: Primary Productivity, Human Population Density, and Habitat Heterogeneity. *Diversity and Distributions* 12(5): 546–554.
- Mathieu, R. Aryal, J. and Chong, A.K., 2007. Object-Based Classification of Ikonos Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas. *Sensors* 7(11): 2860-2880.
- MingLee, T. and ChungYeh, H., 2009. Applying Remote Sensing Techniques to Monitor Shifting Wetland Vegetation: A Case Study of Danshui River Estuary Mangrove Communities, Taiwan. *Ecological Engineering* 35(4): 487-496.
- Morawitz, D. Blewett, T. Cohen, A. and Alberti, M., 2006. Using NDVI to Assess Vegetative Land Cover Change in Central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment* 114(1): 85–106.
- Newcomer, M. ChenHsu, W. Justice, E. Guild, L. Rogoff, D. and Skiles, J., 2011. Prototype Application of NASA Missions to Identify Patterns of Wetland Vegetation Development within the South San Francisco Bay Salt Ponds. *ASPRS 2011 Annual Conference*, Milwaukee, Wisconsin, May 1-5th, 1-10.
- Pettorelli, N. Vik, O. Mysterud, A. Gaillard, J.M. Tucker, C.J. and Stenseth, N.C., 2005. Using the Satellite-Derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change. *Journal Trends in Ecology and Evolution* 9(20): 200-216.
- Pu, R.L. Landry, S. and Yu, Q., 2011. Objectbased Urban Detailed Land Cover Classification with High Spatial Resolution IKONOS Imagery. *Remote Sensing* 32(12): 3285–3308.
- Rawat, J.S. Biswas, V. and Kumar, M., 2013. Changes in Land Use/ Cover Using Geospatial Techniques: A Case Study of Ramnagar Town Area, District Nainital, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 16(1): 111-117.
- Trimble., 2012. *Ecognition Developed Reference Book*. Trappentreustr. 1D-80339 München, Germany: München, Germany GmbH 270.
- Vaclavik, T. and Rogan, J., 2009. Identifying Trends in Landuse/ Landcover Changes in the Context of Post-Socialist Transformation in Central Europe: A Case Study of the Greater Olomouc Region, Czech Republic, *GIScience & Remote Sensing* 46(1): 24-12.
- Wiley, J., 1996. Paul Wright. *Highway Engineering*, 6th ed. 55- 56, 58.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۰۵-۲۲۵

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2020.67016.0>

مقاله پژوهشی

بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا)

کامران گنجی - کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران
سعید قره‌چلو^۱ - استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
احمد احمدی - دانشیار گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۱

چکیده

عبور رودخانه گرگانرود از شهرستان آق‌قلا همواره موجب سیلاب‌های مخربی شده است. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلاست؛ بدین منظور از تصاویر سری زمانی ماهواره‌های Sentinel-2 و Landsat-8 به منظور پایش کامل سیلاب استفاده شد. همچنین شاخص‌های NDWI و MNDWI برای آشکارسازی پهنه‌های سیلاب بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید. پارامتر ضریب سینوزیته و تعداد و میانگین شعاع پیچان‌رودها در چهار بازه در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی با استفاده از نرم‌افزار Google Earth و AutoCAD محاسبه گردید. مساحت پهنه‌های به دست آمده با استفاده از شاخص MNDWI تقریباً ۸۸ درصد از مساحت پهنه‌های بدست آمده از شاخص NDWI بیشتر بود. شاخص سینوزیته رودخانه در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای محمد آلق برابر ۳/۸۸ (پیچان‌رودی شدید) است. با توجه به تخریب دیواره بیرونی پیچان‌رودهایی که شعاع انحنای کمی دارند مقدار زیادی گل‌ولای همراه با سیلاب به سمت مناطق شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی جریان پیدا کرده بود. در تاریخ چهارم فروردین ۱۳۹۸، در حدفاصل روستای آق‌تکه‌خان تا روستای دوگونچی میانگین عرض کم بستر رودخانه و شیب بستر بسیار کم (دو در ده هزار) باعث عدم حرکت سیلاب شده که منجر به بالا آمدن سطح آب رودخانه و خروج آن از بستر رودخانه در محدوده شهری آق‌قلا شد. دیواره‌سازی قوس‌های بیرونی پیچان‌رودها، کاشت گیاهان با

جذب آب زیاد در حریم کمی رودخانه، تعریض و لایروبی بستر رودخانه می‌تواند تا حد زیادی از آبگرفتگی شهر آق‌قلا هنگام سیلاب جلوگیری نماید.

کلیدواژه‌ها: آق‌قلا، پهنه‌بندی سیل، رودخانه گرگانرود، سنجش از دور، مورفولوژی، NDWI

۱-مقدمه

در دهه‌های اخیر با توجه به تغییرات الگوی آب و هوایی شاهد افزایش وقوع سیلاب‌هایی با شدت بالا هستیم، که علاوه بر به خطرانداختن جان و اموال انسان‌ها، باعث از بین رفتن مورفولوژی طبیعی رودخانه‌ها شده و در صورت عدم بهسازی مورفولوژی رودخانه‌ها شرایط را برای وقوع سیلاب‌های بعدی فراهم می‌کند (بالاچ^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه‌ها ارتباط و اثرگذاری مهمی در خروج سیلاب از مدخل رودخانه‌ها و ایجاد سیلاب دارد و اگر چنانچه رودخانه شهری باشد، از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌شود. در این راستا کشف تغییرات ظاهری، پایش و نقشه‌بندی آن‌ها به تحلیل مناطق سیل‌خیز و سرعت عمل این تغییرات در طی زمان کمک می‌کند و می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های کنترل و کاهش خسارت سیلاب منجر شود (کومار^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). دشت‌های سیلابی در اثر جابه‌جایی رودخانه‌های فعال، متحمل تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طول زمان می‌شوند که بار رسوبی حمل شده از بالادست توسط سیلاب در اثر نیروی گرانش باعث انباشت در بستر و تغییر سطح مقطع و مسیر رودخانه می‌شود (بیاتی‌خطیبی، ۱۳۹۲). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بالا، این امکان را بوجود می‌آورد تا تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و پهنه‌های سیلاب ناشی از مورفولوژی رودخانه‌ها را شناسایی نماییم. محققین زیادی در داخل و خارج از کشور بر روی اثرات متقابل سیلاب و مورفولوژی رودخانه به کمک داده‌های سنجش از دور (RS)^۳ و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۴ به تحقیق پرداخته‌اند.

همایون و روشنی^۱ (۲۰۲۰)، تغییرات مورفولوژی رودخانه ژلوم^۲ واقع در هندوستان که ناشی از وقوع سیلاب ۲۰۱۴ بود را مورد بررسی قرار دادند، و به این نتیجه رسیدند که طول جریان و میانگین عرض بستر رودخانه به ترتیب ۵۰۰ و ۲۵ متر کاهش یافته است و همچنین بیشترین فرسایش در مقاطعی که دارای پیچانرود زیاد و سیلابدشت‌هایی با پوشش گیاهی بود رخ داده است. کمترین مقدار خسارت در قسمت‌هایی از رودخانه که دیواره‌سازی و مستحکم سازی شده بودند صورت گرفته بود. لانگات^۳ و همکاران (۲۰۱۹)، به پایش تغییرات دینامیکی کانال رودخانه تانا (کنیا) با استفاده از رویکردهای سنجش از دور و GIS پرداختند، آن‌ها مقدار افزایش و تغییرات

1 Balasch

2 Kumar

3 Remote Sensing

4 Geographic Information System

5 Himayoun & Roshni

6 Jhelum river

7 Langat

فرسایش در یک باز را بوسیله تصاویر اپتیکری سری زمانی لندست محاسبه کردند و به این نتیجه رسیدند که عوامل رژیم جریان هیدرولیکی، کاربری زمین‌های بالادست، شیب طبیعی کانال و پوشش گیاهی اطراف کانال بیشترین تأثیر در این تغییرات را داشته‌اند. کومار⁴ و همکاران (۲۰۱۳)، اثرات ژئومورفیکی سیلاب در سال ۲۰۱۱ را بر روی کانال رودخانه راپتی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شکل سیلابدشت‌ها و خطوط کناری رودخانه جابه‌جایی جانبی را با توجه به قدرت جریان سیلاب به اندازه ۱۰ تا ۲۳ (Wm^2) داشته است و بیشترین جابه‌جایی این کانال به طرف شمال غربی بوده است. جوکارسرهنگی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه چهل‌چای نرماب با تأکید بر پیچان‌روها با استفاده از تصاویر هوایی و تصاویر Google Earth مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامتر طول کانال این رودخانه ۶۲۰۰ متر، سینوزیته ۰/۳، تعداد پیچان‌رود ۳۱ حلقه، میانگین زاویه مرکزی ۰/۴ درجه و میانگین عرض کانال آن ۹ متر نسبت به سال ۱۳۴۵ کاهش یافته است. یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای استخراج پهنه‌های سیلاب استفاده از تصاویر ماهواره‌های اپتیکری می‌باشد (وانگ⁵ و همکاران، ۲۰۰۲). لذا با دسترس بودن تصاویر موجود از زمان وقوع سیلاب، به کمک شاخص‌های شناسایی آب و سیلاب مانند $NDWI^6$ و $MNDWI^7$ می‌توان پهنه‌های سیلاب را در هر بازه زمانی مورد پایش قرار داد (دی بالداسور و آلنبروک¹، ۲۰۱۲). اصلی‌ترین مانع استفاده از داده‌های اپتیکری برای پایش سیلاب حساسیت آنها نسبت به ابرها می‌باشد که معمولاً در زمان وقایع سیلاب وجود دارد، این فاکتور خود به تنهایی ایجاد مزاحمت می‌کند و علت دیگر تاریخ تصویربرداری می‌باشد، که در زمینه‌های عملیاتی پایش سیلاب با داده‌های اپتیکری باید این موانع گسترده را پذیرفت (موسی² و همکاران، ۲۰۱۵). در این زمینه محققین زیادی به مطالعه پرداختند از جمله، کوانگ³ و همکاران (۲۰۱۸)، مساحت آب‌های سطحی رودخانه وولتا⁴ را با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-2 و Landsat-8 با استفاده از شاخص $NDWI$ بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که برای شناسایی آب‌های سطحی تصاویر ماهواره Sentinel-2 از دقت بالاتری برخوردار است. دو⁵ و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از تصاویر اپتیکری ماهواره Sentinel-2 و شاخص‌های $MNDWI$ و $NDWI$ و فیلترهای IHS و HPF مساحت آب‌های سطحی را برای مناطق ساحلی ونیز بدست آوردند، نتایج آنان نشان می‌داد که شاخص $MNDWI$ نسبت به شاخص $NDWI$ از دقت بالاتری برخوردار است. یکی از مهمترین کاربردهای

1 Kumar

2 Wang

3 Normalized Difference Water Index

4 Modified Normalized Difference Water Index

5 Di Baldassarre and Uhlenbrook

6 Musa

7 Kwang

8 Volta River

9 Du

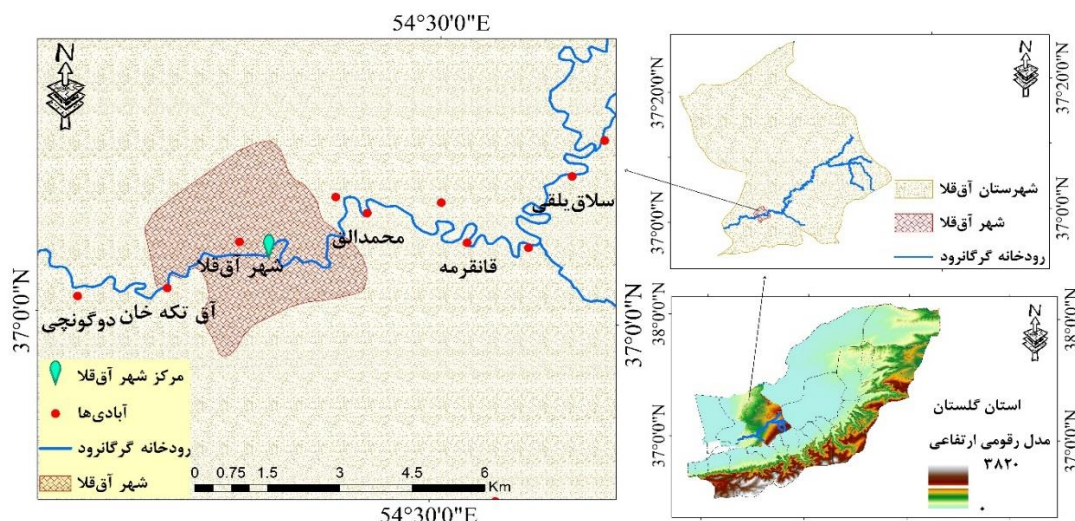
نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب برای شهرستان آق‌قلا تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه رودخانه گرگانرود در مناطق شرقی شهر آق‌قلا می‌باشد. از سوی دیگر اغلب روستاهای شهرستان آق‌قلا از جمله سلاق‌یلقی، قانقرمه، سیدلر، دوگونچی و شهر آق‌قلا در حاشیه خطر این رودخانه قرار دارند. شهر آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره مورد تهدید سیلاب‌های مخربی چون سیل فروردین ۱۳۹۸ و سیل‌های سال ۸۰، ۸۱، ۸۶، ۹۱ و ۹۳ قرار داشته است. لذا شناسایی رفتار رودخانه و پایش تغییرات مورفولوژی رودخانه گرگانرود هنگام سیلاب می‌تواند کمک شایانی به کنترل سیلاب شهرستان آق‌قلا نماید. هدف این تحقیق استخراج و محاسبه مساحت پهنه‌های سیلاب فروردین ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا به کمک تصاویر اپتیکی ماهواره‌های Landsat-8 و Sentinel-2 با استفاده از نسبت‌گیری طیفی باندهای مرئی و ارتباط آن با پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستاهای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی می‌باشد. همچنین جهت صحت‌سنجی، نتایج نهایی با اطلس سیل تهیه شده توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و تصاویر میدانی گرفته شده از سیلاب مقایسه گردید.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعاتی

شهر آق‌قلا در استان گلستان و مرکز شهرستان آق‌قلا می‌باشد، که در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ۵۴ درجه شرقی قرار داد. تقریباً ۵۰ درصد اراضی شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود دارای کاربری کشاورزی، گندم و جو می‌باشد، و مناطق شمالی و شمال‌غربی شهر آق‌قلا بیشتر از نوع باتلاقی و شورزار می‌باشد که فاقد پوشش گیاهی و درختان مناسب است، همچنین مناطق جنوبی شهر آق‌قلا مناطق صنعتی و باغ می‌باشد. اقلیم شهرستان آق‌قلا مانند منطقه ترکمن صحرا بیابانی گرم و مرطوب می‌باشد. این شهرستان در سه حوضه‌آبریز گرگانرود، قره‌سو و اترک قرار دارد. حوضه‌آبریز گرگانرود از ارتفاعات شرقی استان گلستان و خراسان شمالی سرچشمه گرفته که سرشاخه اصلی آن رودخانه گرگانرود می‌باشد، حوضه‌آبریز قره‌سو از دامنه‌های شمالی البرز شرقی سرچشمه گرفته که برخی از زیرشاخه‌های آن وارد رودخانه گرگانرود می‌شود، و حوضه‌آبریز اترک که قسمتی از آن در ایران و قسمتی دیگر در کشور ترکمنستان قرار دارد وارد رودخانه اترک شده که از مناطق شمالی شهرستان آق‌قلا به دریای خزر می‌ریزد. رودخانه گرگانرود یکی از مهم‌ترین شاخه‌های سیل خیز استان گلستان می‌باشد که طول آن حدود ۲۵۱ کیلومتر می‌باشد که تقریباً ۸۵ کیلومتر آن از شهرستان آق‌قلا و حدوداً ۱۲ کیلومتر آن از محدوده شهری آق‌قلا عبور می‌کند. جهت جریان آب این رودخانه از شرق به غرب می‌باشد و پس از عبور از شهرهای گنبد کاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. متوسط آبدهی

سالانه رودخانه گرگانرود حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. موقعیت و کاربری اراضی شهرستان آق‌قلا در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی، شهرستان آق‌قلا، محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی

۲-۲- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

ماهواره ایتیکی Sentinel-2A از سری ماهواره‌های سنتینل می‌باشد که توسط (سازمان فضایی اروپا)¹ در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد. این ماهواره در ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج‌کوتاه از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک این تصاویر در سه دسته ۱۰، ۲۰، ۶۰ متر می‌باشد (دو² و همکاران، ۲۰۱۶). در تحقیق حاضر برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سری زمانی سیلاب، نیاز به داده‌های متعددی در بازه وقوع سیلاب بود، به دلیل اینکه در زمان وقوع سیلاب درصد ابر زیادی در برخی از تصاویر Sentinel-2 وجود داشت و با توجه به دوره بازگشت ده روزه آن دو تصویر مناسب از واقعه سیلاب موجود بود، به همین دلیل از داده‌های ماهواره Landsat-8 که محدوده باندهای تصویربرداری آن مشابه Sentinel-2 بود و همچنین با توجه دوره بازگشت شانزده روزه آن از (پرتال زمین‌شناسی آمریکا)³ به‌عنوان مکمل برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سری زمانی سیلاب استفاده شد. مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق در جدول ۱ نمایش داده شده است. پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود شامل طول رودخانه، تعداد پیچان‌رودها، عرض و شعاع پیچان‌رودها و ضریب

1 <https://scihub.copernicus.eu/>

2 Du

3 <https://earthexplorer.usgs.gov/>

خمیدگی (سینوزیته) رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نرم‌افزار Google Earth, AutoCAD و بازدیدها و ارزیابی‌های میدانی استخراج گردید.

جدول ۱- مشخصات تصاویر سری زمانی داتلود شده ماهواره‌های Landsat-8 و Sentinel-2

درصد ابرناکی	تاریخ	تصاویر
۸۳۲	۱۴ فروردین ۱۳۹۸	LC08_L1T P
۳/۸۷	۱۶ فروردین ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A
۲۲/۷۲	۲۶ فروردین ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A
۳/۴۵	۵ اردیبهشت ۱۳۹۸	S2B-MSIL2A

۳-۲- پردازش رادیومتریکی و اتمسفریک داده‌ها

خطای رادیومتریکی بر اثر تغییرات انرژی الکترومغناطیسی رسیده به سنجنده ناشی از سایه توپوگرافی سطح زمین یا پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی بوجود می‌آیند، که اغلب نتایج نهایی را دچار مشکل می‌کند (ناندی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفریک برای برطرف کردن خطاهای ناشی از جذب و پخش اتمسفر و افزایش آشکارسازی طیفی بر روی تصاویر صورت می‌گیرد (زانتوی و استروبل^۲، ۲۰۱۹؛ ژو^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). جهت برطرف کردن خطاها بر روی تصویر ماهواره Landsat-8، تصحیح رادیومتریکی رادیانس^۴، سپس تصحیح اتمسفری FLAASH^۵ بر تصاویر اعمال گردید و همچنین حاشیه‌های تصویر که ارزش پیکسل صفر داشتند، حذف گردید. با بررسی نمودار تغییر طیفی، مقدار پخش اتمسفر در تصاویر Landsat-8، بین پنج تا ده درصد بود، که بعد از اعمال تصحیح اتمسفری به دو درصد کاهش یافت. جهت بررسی رفتار طیفی مولفه‌های مؤثر در سیلاب، میزان ارزش عددی پیکسل‌ها قبل از اعمال الگوریتم تغییرمقیاس^۶ برای مولفه‌های آب، مناطق مرطوب و پوشش گیاهی به ترتیب برابر ۲۷۰۰، ۲۱۰ و ۳۸۰۰ بود، که بعد از اعمال الگوریتم تغییرمقیاس میزان ارزش عددی آنها به ترتیب به ۰/۲۴، ۰/۳۶ و ۰/۳۹ کاهش یافت. میزان ارزش عددی پیکسل‌هایی که بالاتر از یک و کمتر از صفر بودند، به عنوان بدپیکسل شناخته شده و برابر صفر در نظر گرفته شدند. بدلیل اینکه تصاویر ماهواره Sentinel-2، تصحیح رادیومتریکی و اتمسفریک به صورت پیش‌فرض توسط سازمان فضایی اروپا بر روی آنها اعمال شده

1 Nandi

2 Szantoi & Strobl

3 Zhou

4 Radiance

5 Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube

6 Rescale, [(b1 le 0)*0+(b1 ge 10000) *1+(b1 gt 0 and b1 lt 10000)*float(b1)/10000]

است (Szantoi and Strobl, 2019)، برای اطمینان تصحیح رادیومتریک رادیانس و تصحیح اتمسفری $QUAC^1$ بر آنها اعمال شد، اما تغییری محسوس در کیفیت تصاویر مشاهده نشد. به منظور افزایش دقت در نتایج نهایی از تصاویری که درصد پوشش ابر و میزان پراکنش اتمسفر در آنها کمتر از بود، در این تحقیق استفاده شد.

۴-۲- استخراج پهنه‌های سیلاب با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI

شاخص NDWI رابطه (۱)، اولین شاخص شناسایی آب می‌باشد که توسط مک فترز در سال ۱۹۹۶ ارائه شد که در پهنه‌بندی و آشکارسازی آب‌های آزاد با استفاده از داده‌های سنجش از دور بکار می‌رود (مک فترز^۲، ۱۹۹۶). در این شاخص از ترکیب باند مادون قرمز نزدیک (NIR^3) با طول موج ۸۴۲ نانومتر و باند سبز (GREEN) با طول موج ۵۶۰ نانومتر استفاده شده است.

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در شاخص NDWI با کاهش بازتاب ویژگی‌های غیر آب مانند گیاه و خاک در طول موج باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و همزمان افزایش بازتاب آب در طول موج باند سبز (Green) باعث آشکارسازی مناطق سیلابی از غیرسیلابی می‌شود؛ با اعمال این شاخص مقدار ارزش بازتاب پیکسل‌ها در محدوده بین ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرند (مک فترز^۲، ۱۹۹۶)، که مقادیر ۱- تا صفر نشان دهنده مناطق غیرسیلابی و مقادیر صفر تا ۱+ نشان دهنده پهنه‌های سیلابی می‌باشد (مک فترز^۲، ۱۹۹۶). مهم‌ترین مشکل این شاخص ناتوانی در تشخیص مناطق ساختمانی از آب‌های سطحی می‌باشد (ژو^۴، ۲۰۰۶). باند سبز در ماهواره‌های Landsat-8 و Sentinel-2 باند شماره ۳ و باند مادون قرمز نزدیک در ماهواره Landsat-8 باند ۵ و ماهواره Sentinel-2 باند ۸ می‌باشد.

ژو در سال ۲۰۰۶ با جایگزین کردن باند SWIR-1 با محدوده طول موج ۱۶۰۰ نانومتر به جای باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۴۲ نانومتر شاخص MNDWI رابطه (۲) را ارائه کرد (Xu, 2006). اصلی‌ترین مزیت این شاخص، کاهش و حذف خطاهای ناشی از سایه ساختمان‌ها می‌باشد که باعث تمیز دادن مناطق ساختمانی از مناطق سیلابی می‌شود (Xu, 2006).

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR1)}{(Green + SWIR1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این شاخص باند SWIR-1 برای ماهواره Landsat-8 باند ۶ و ماهواره Sentinel-2 باند ۱۱ می‌باشد. با اعمال این شاخص سه نتیجه قابل انتظار است: (۱) مقادیر مثبت بزرگتر برای آب و آب‌های خالص در باند SWIR-

1 Quick Atmospheric Correction

2 McFeeters

3 Near Infra-Red

4 Xu

1 نسبت به NIR؛ (۲) مقادیر منفی برای مناطق ساختمانی بدلیل بازتاب بیشتر در باند SWIR-1 نسبت به NIR؛ (۳) خاک و گیاهان همچنان مقادیر بازتاب منفی دارند.

۲-۵- شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه

۲-۵-۱- شاخص سینوزیته

شاخص سینوزیته برای نشان دادن میزان شکستگی و انحناهای کانال بکار می‌رود و مقدار آن از تقسیم طول کانال با احتساب پیچ‌وخم‌های موجود بر طول مستقیم کانال که ابتدا و انتهای هر بازه را به یکدیگر متصل می‌کند بدست می‌آید (جعفر بیگلو و همکاران ۱۳۹۱). بر اساس این پارامتر، اگر ضریب سینوزیته یک رودخانه بین ۱ تا ۱/۰۵ باشد رودخانه از نوع مستقیم است، اگر بین ۱/۰۶ تا ۱/۲۵ باشد از نوع سینوسی است، بین ۱/۲۶ تا ۲ باشد از نوع پیچانرودی و اگر بیشتر از ۲ باشد، از نوع پیچانرودی شدید است (یمانی و همکاران ۱۳۸۹). رابطه (۳) نحوه محاسبه این پارامتر را نشان می‌دهد.

$$S = \frac{C}{V} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه S ضریب سینوزیته، C طول رودخانه با احتساب پیچ‌وخم‌ها و V طول رودخانه با خط مستقیم. به منظور استخراج پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود، بحرانی‌ترین قسمت رودخانه گرگانرود هنگام وقوع سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در نظر گرفته شد. این محدوده از روستای سلاق‌یلقی در شرق شهر آق‌قلا شروع شده و تا روستای دوگونچی در غرب شهرستان آق‌قلا ادامه پیدا می‌کند. محدوده مورد نظر به چهار بازه تقسیم گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است. طول مستقیم و غیرمستقیم رودخانه در هر چهار بازه با استفاده از نرم‌افزار Google Earth استخراج و با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD مقادیر آنها اندازه‌گیری شد و با جای‌گذاری در رابطه (۳) ضریب سینوزیته محاسبه گردید، که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مقدار ضریب سینوزیته و نوع الگوی رودخانه

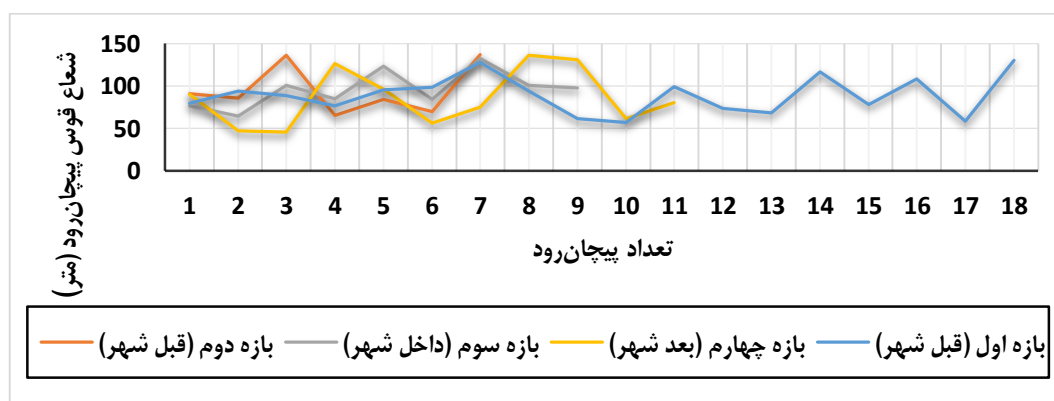
رودخانه گرگانرود	بازه اول	بازه دوم	بازه سوم	بازه چهارم
(C) طول رودخانه با احتساب پیچ‌وخم‌ها (کیلومتر)	۹/۲۷۴	۴/۶۵۰	۵/۳۷۴	۴/۳۴۹
(V) طول مستقیم رودخانه (کیلومتر)	۲/۳۹۰	۲/۲۸۰	۳/۸۰	۲/۷۱۱
(S) ضریب سینوزیته	۳/۸۸۰	۲/۰۳۹	۱/۴۱۴	۱/۶۰۴
الگوی رودخانه	پیچانرودی شدید	پیچانرودی شدید	پیچانرودی	پیچانرودی

۲-۵-۲- پیچان‌رودها

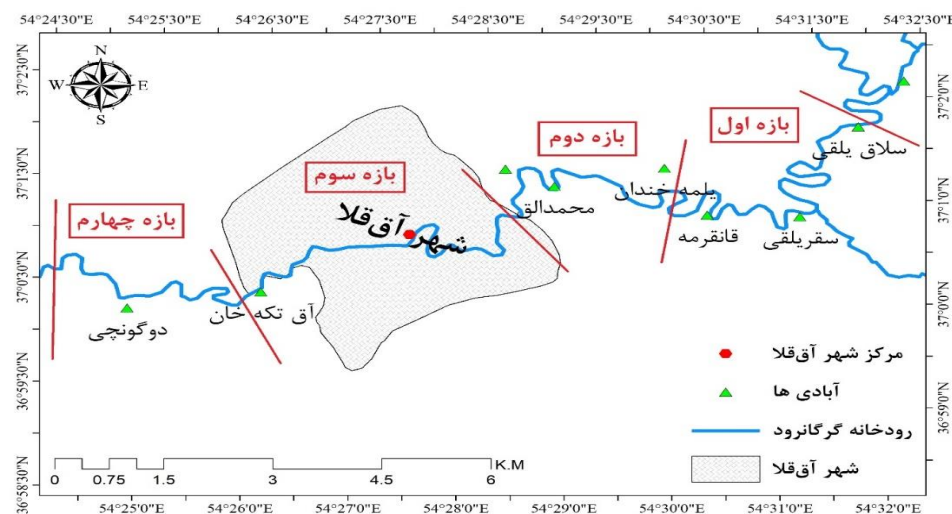
تعداد و شعاع قوس پیچان‌رودها از مهمترین شاخص‌ها در تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها می‌باشد که در گذر زمان دچار تغییرات زیادی می‌شوند. تعداد و شعاع قوس پیچان‌رودها، توانایی و قدرت رودخانه در برابر عبور سیلاب را تعیین می‌کند، به‌طوری که افزایش تعداد پیچان‌رودها در یک طول کوتاه، تخریب دیواره داخلی قوس افزایش یافته و مواد حاصل از فرسایش را در دیواره‌های قوس خارج انباشت کرده و باعث کاهش عمق خارجی و کاهش عرض بستر در پیچان‌رودها می‌شود (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۲). حجم زیادی از رسوبات توسط دبی جریان‌های بزرگ حل شده و از خط القعر قوس به خارج از بستر رودخانه حمل می‌شود و سیلاب‌هایی حاوی گل‌ولای را بوجود می‌آورد. این سیلاب در کنار آبگرفتگی‌های سطح شهر که ناشی از بسترهای نفوذناپذیر می‌باشند، دو طیف رنگی از سیلاب را بوجود می‌آورند که شناسایی آنها توسط شاخص‌های طیفی را دچار مشکل می‌کند. جریان با سرعت پایین به مرور زمان باعث تخریب دیواره‌های کانال شده و رودخانه مجبور به تغییر مسیر شده و به تبع آن پیچان‌رود جدیدی را بوجود می‌آورد. تعداد، شعاع پیچان‌رودها و عرض رودخانه در پیچان‌رودها (فاصله داخلی خط الراس و خط القعر قوس پیچان‌رود) برای تمامی پیچان‌رودها در هر چهار بازه به کمک تصاویر ماهواره‌ای و Google Earth استخراج و با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD محاسبه گردید (شکل ۳). میانگین این مقادیر در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر تعداد پیچان‌رود، میانگین شعاع پیچان‌رودها، میانگین عرض کانال در پیچان‌رودها

رودخانه گرگانرود	بازه اول	بازه دوم	بازه سوم	بازه چهارم
تعداد پیچان‌رود	۱۸	۷	۹	۱۱
میانگین شعاع پیچان‌رودها (متر)	۸۹/۳۲۱	۹۵/۶۶۱	۹۶/۲۰۹	۸۶/۱۰۹
میانگین عرض کانال در پیچان‌رودها (متر)	۱۷/۷۰۶	۱۷/۶۵۷	۲۳/۹۳۳	۱۶/۸۲۲



شکل ۲- نمودار تعداد پیچان‌رود و شعاع قوس هر پیچان‌رود در بازه‌های مورد مطالعه



شکل ۳- بازه‌های مورد بررسی، (بازه اول) حدفاصل روستای سلاق یلقی تا قانقرمه، (بازه دوم) حدفاصل روستای قانقرمه تا شهر آق‌قلا، (بازه سوم) محدوده شهری آق‌قلا و (بازه چهارم) حدفاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی

۳- نتایج

۳-۱- تأثیر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود در ایجاد پهنه‌های سیلابی

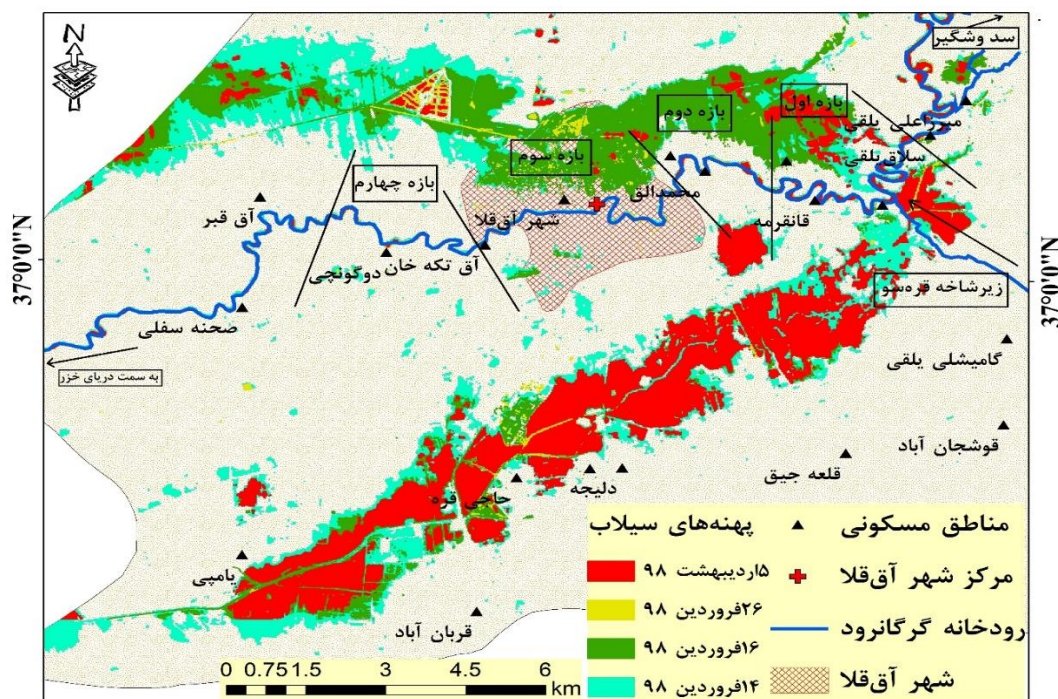
ضریب سینوزیته کانال رودخانه در محدوده روستای سلاق‌یلقی (بازه اول) برابر $3/88$ می‌باشد که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است. در روز ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ ماکسیمم دبی ۶۶۶ مترمکعب بر ثانیه (ایستگاه هیدرومتری سد وشمگیر، گزارش آب منطقه‌ای استان گلستان ۱۳۹۸) از سد وشمگیر و دبی ۷۳ مترمکعب بر ثانیه از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو وارد این بازه از رودخانه شده است. با توجه به شیب طولی بسیار کم رودخانه (سه در ده هزار) در بازه اول و پیچانرودهای زیاد با میانگین شعاع $89/321$ متر، حجم رسوبات انباشته شده در پیچانرودها باعث کاهش ظرفیت نرمال عبوری رودخانه شده است. اولین پیچانرود در بازه اول با شعاع حدوداً ۸۰ متر باعث خروج سیلاب از مدخل رودخانه شده که با توجه به شیب و توپوگرافی و نبود پوشش گیاهی جاذب آب، سیلاب به دشت‌های واقع در شمال شهر آق‌قلا جریان پیدا کرده و از مناطق شمالی شهر وارد محیط مرکزی شهر شده است. لذا پهنه‌های سیلاب مشاهده شده در تاریخ ۱۴ و ۱۶ فروردین ۹۸، (شکل ۴، بازه اول، پهنه‌های آبی و سبز رنگ) ناشی از دلایل ذکر شده می‌باشد.

ضریب سینوزیته کانال در محدوده روستای قانقرمه (بازه دوم) برابر $2/039$ می‌باشد که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است، اما با توجه به اینکه حجم عمده سیلاب در بازه اول از مدخل رودخانه خارج شده، حجم سیلاب کمتری به بازه دوم جریان پیدا کرده است؛ در روستای محمدآلق، تصرف به حریم کمی (۲۰ متر) رودخانه

باعث تخریب دیواره‌های رودخانه در بعضی از مناطق شده، و وجود پل عبور و مرور با تراز سطح عرشه پایین و عدم وجود پایه‌های مناسب مانند مانعی بر سر راه جریان باعث بالا آمدن سطح جریان و خروج سیلاب از مدخل شده است. با توجه به اینکه توانایی تفکیک مکانی تصاویر ماهواره Sentinel-2، ده متر می‌باشد، پهنه‌های سیلاب خارج شده از مدخل به آسانی قابل شناسایی نبود که این نشان می‌دهد مساحت پهنه‌های سیلاب کمتر از ۱۰۰ مترمربع بوده است.

ضریب سینوزیته کانال در محدوده شهری آق‌قلا (بازه سوم) برابر $1/414$ می‌باشد که رودخانه از نوع پیچانرودی است. اکثر مسیر رودخانه در این بازه مستقیم بوده و میانگین شعاع پیچانرودها $8/$ از میانگین شعاع پیچانرودهای بازه اول بیشتر است. میانگین عرض بستر کانال رودخانه در بازه سوم $26/$ بیشتر از میانگین عرض بستر کانال رودخانه در بازه‌های اول و دوم می‌باشد. و همچنین در نزدیکی پل‌ها دیواره‌سازی و بهسازی کانال رودخانه صورت گرفته است. اما در نزدیکی پل تاریخی آق‌قلا به دلیل عدم لایروبی کانال رودخانه دهانه‌های کناری پل تاریخی آق‌قلا مسدود شده و باعث تنگ‌شدگی عرض بستر رودخانه شده و به تبع آن سطح جریان بالا آمده و باعث خروج سیلاب از مدخل رودخانه شده است که باعث آبگرفتگی حریم کمی رودخانه را در پی داشته است.

ضریب سینوزیته کانال در محدوده روستای دوگونچی (بازه چهارم) برابر $1/604$ که رودخانه از نوع پیچانرودی است. میانگین عرض پیچانرودها در این بازه حدوداً $30/$ نسبت به بازه سوم کمتر است که نشان می‌دهد عرض رودخانه در پیچانرودها کمتر از سایر بازه‌ها است. با توجه به اینکه حجم عمده سیلاب در بازه‌های اول، دوم و سوم از بستر رودخانه خارج شده بود، سیلاب نسبتاً کمتری در این بازه وارد شده است. در این بازه پهنه سیلابی از بستر خارج نشده است اما رودخانه در حداکثر ظرفیت عبوری خود قرار داشت. دبی جریان در زمان سیلابی باعث بالا رفتن شعاع هیدرولیکی شده و با توجه به نوع رسوب بستر و کناره‌های رودخانه که در این بخش بیشتر از جنس خاک لسی است، تنش برشی وارد بر کناره‌ها را افزایش می‌دهد. موانع موجود در مسیر رودخانه مانند پایه‌های پل آق‌تکه‌خان، جریان‌های چرخشی (گردابی) را بوجود می‌آورد. این موانع به همراه تغییرات ناگهانی مقطع رودخانه و تغییر شیب از (سه در ده هزار به دو در ده هزار)، باعث جدا شدن خطوط جریان شده و تخریب مخصوصاً در کناره‌های پل حوالی روستای آق‌تکه‌خان به طرف پایین‌دست رودخانه گرگانرود آغاز می‌گردد. در محل انحنای رودخانه گردآب‌هایی تشکیل می‌گردد که مجدداً قدرت نیروی مالشی را بالا برده و در نتیجه خاک در همان محل انحنای جدا می‌شود که این آغاز توسعه و گسترش پیچانرود در رودخانه گرگانرود است. با توجه به فروکش کردن سیلاب در تاریخ ۲۶ فروردین پهنه سیلاب قابل توجهی شناسایی نشد (شکل ۴، پهنه زرد رنگ)، و پهنه‌ها قرمز رنگ مربوط به شکسته شدن آب‌بندان یلمه‌خندان در سوم اردیبهشت می‌باشد (شکل ۴، پهنه قرمز رنگ). پهنه‌های سری زمانی سیلاب فروردین ۱۳۹۸ با توجه به شرایط مورفولوژی رودخانه گرگانرود در شکل ۴ نشان داده شده است.

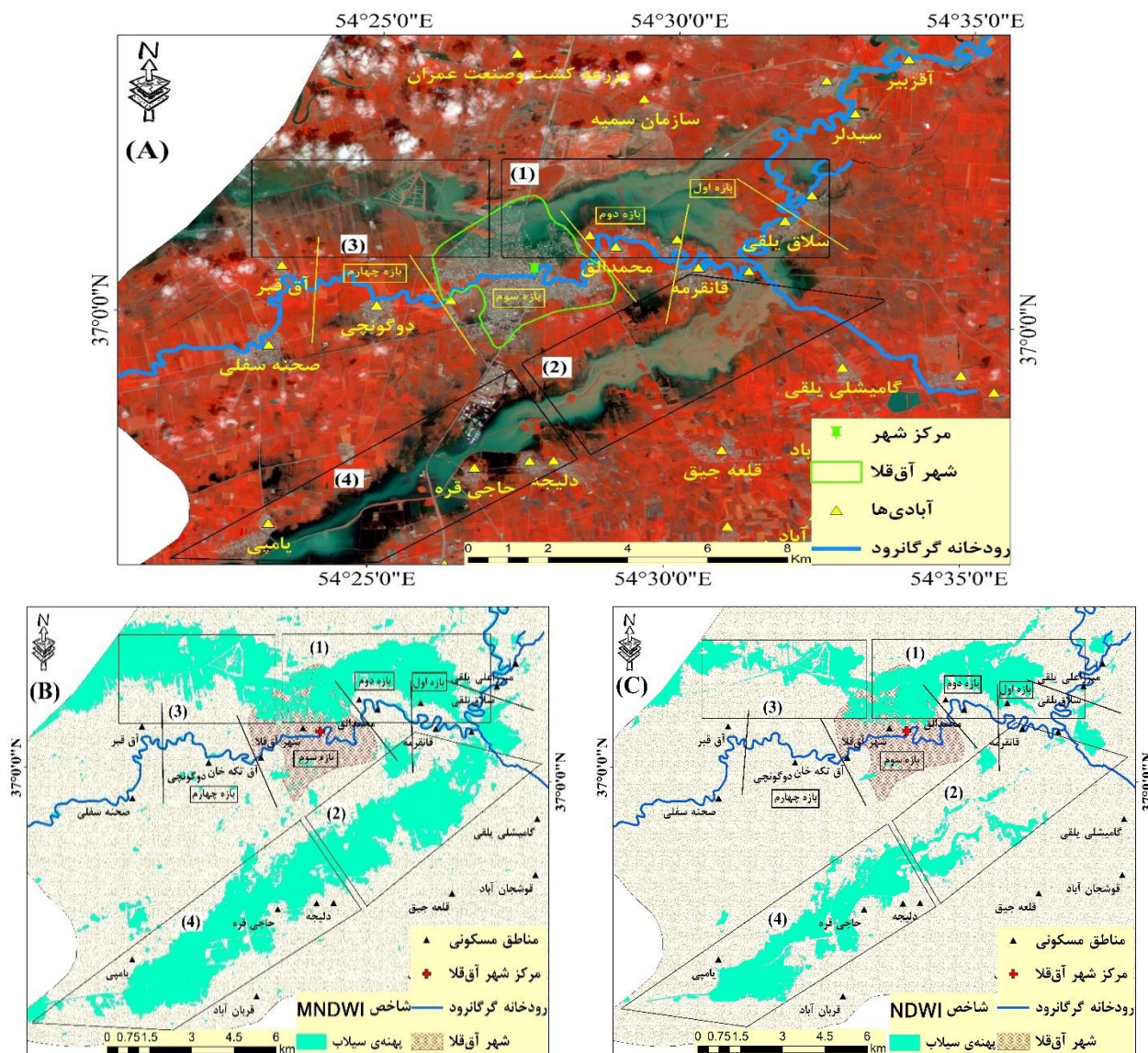


شکل ۴- پهنه‌های سری‌زمانی سیلاب، باتوجه به شرایط مورفولوژی رودخانه گرگانرود (محدوده روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی)

۲-۳- تأثیر مورفولوژی رودخانه گرگانرود بر سری‌زمانی پهنه‌های سیلابی

در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا، پهنه‌های سیلاب موجود در تصاویر ماهواره‌ای در سیلابدشت‌ها از دو طیف رنگی آبی و قهوه‌ای تشکیل شده بود. به دلیل اینکه حجم عمده رسوبات از جنس خاک رس یا لسی می‌باشند، به راحتی در خط‌القعر پیچان‌رودها که سرعت جریان کمی بالاتر است با جریان گردابه‌ای سیلاب در این ناحیه حل می‌شود و پهنه سیلابی به رنگ قهوه‌ای بوجود می‌آورد. به منظور استخراج و محاسبه مساحت پهنه‌های سیلاب ذکر شده از نسبت‌گیری طیفی باندهای مرئی تصاویر ماهواره اپتیک Sentinel-2 و Landsat-8 استفاده گردید. با بررسی‌های انجام شده به صورت آزمون و خطا در این تحقیق بر روی گراف‌های بازتاب طول موج برای آب، پوشش گیاهی، خاک، مناطق مسکونی، این نتیجه حاصل شد که مناسب‌ترین بازتاب طول موج برای شناسایی پهنه‌های سیلاب مربوط به باندهای سبز (B3) با طول موج ۵۶۰ نانومتر و مادون قرمز نزدیک (NIR) با طول موج ۸۴۲ نانومتر و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR-1) با طول موج ۱۶۱۰ نانومتر می‌باشد. سپس شاخص‌های NDWI و MNDWI بر روی تصاویر اعمال گردید. با توجه مرور تحقیقات پیشین حدود آستانه‌های شناسایی پهنه‌های سیلاب

مربوط به شاخص NDWI برای تصاویر Sentinel-2 در محدوده $+0.2$ تا $+0.4$ و برای تصاویر Landsat-8 در محدوده $+0.3$ تا $+0.5$ قرار داشت که این حدود آستانه با سعی و خطا در بازه -1 تا $+1$ بدست آمده‌اند. حدود آستانه‌ای که همزمان سیلاب آبی رنگ و قهوه‌ای رنگ را در نظر بگیرد با استفاده از شاخص MNDWI برای Sentinel-2 در محدوده $+0.3$ تا $+0.6$ و برای سنجنده Landsat-8 در محدوده $+0.4$ تا $+0.6$ قرار داشت. برای هر دو سنجنده و هر دو شاخص مقادیر منفی نشان دهنده مناطق خشک و فاقد آبگرفتگی بود. به طور کلی تصاویر مجموعه L2A سنجنده Sentinel-2 بدلیل عدم نیاز به تصحیحات اتمسفری و بالا بودن رزولوشن مکانی نسبت به سنجنده Landsat-8 در بدست آوردن پهنه‌ها از سرعت و کیفیت بالاتری برخوردار است. همانطور که در (شکل ۵، A) مشاهده می‌شود، سیلاب حاوی گل‌ولای در محل تلاقی زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو (بازه اول) وارد رودخانه گرگانرود شده است. اکثر این پهنه‌ها (کادر مستطیل ۱ و ۲) در بازه اول قرار دارند. این پهنه‌ها در شاخص MNDWI (شکل ۵، B) به دلیل اینکه طیف بازتابی مشابه زمین‌های مرطوب دارند، جزو پهنه‌های سیلابی در نظر گرفته شده‌اند. اما پهنه‌های حاوی گل‌ولای و زمین‌های مرطوب که سیلاب در آنها فروکش کرده است (شکل ۵، A) در شاخص NDWI جزو پهنه‌های سیلابی در نظر گرفته نشده‌اند (کادر مستطیل ۳ و ۴)، این مناطق به رنگ سیاه در (شکل ۵، A) دیده می‌شود. بنابراین بازه اول که شرایط مورفولوژی رودخانه از جمله تعداد پیچانرود زیاد، عرض بستر کم و همچنین عدم کانالیزاسیون رودخانه وجود دارد، این بازه مستعد بوجود آوردن سیلاب‌هایی حاوی گل‌ولای می‌باشد، که امکان استخراج آنها با استفاده از شاخص‌های شناسایی آب مانند NDWI وجود ندارد. با توجه به خروج حجم عمده سیلاب در بازه اول، در بازه‌های دوم و سوم حجم سیلاب نسبتاً کمتری وارد شده است که رودخانه توان عبور آنها را داشته است، به همین دلیل پهنه سیلابی بسیار ناچیزی از مدخل رودخانه خارج شده بود که در تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این تحقیق قابل شناسایی نبودند. بعد از شناسایی پهنه‌های سیلاب با استفاده از شاخص NDWI و MNDWI این نتیجه حاصل شد که شاخص MNDWI برای استخراج پهنه‌های سیلاب حاوی گل‌ولای و مناطقی که سیلاب فروکش کرده و زمین از رطوبت زیادی برخوردار است عملکرد بهتری دارد.

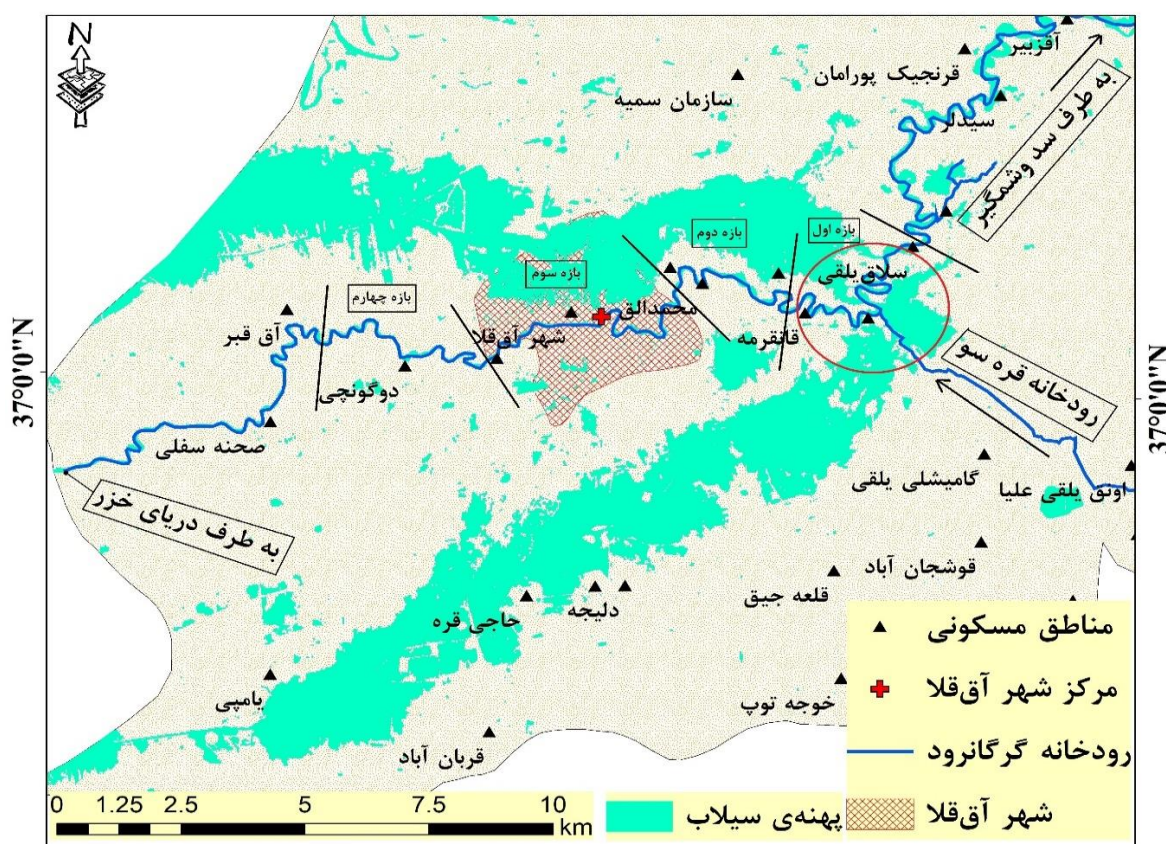


شکل ۵- تصویر (A) ماهواره سنتینل ۲- تاریخ ۱۶ فروردین ۱۳۹۸ (ترکیب رنگ کاذب ۸۳۴)، تصویر (B) پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از شاخص MNDWI و تصویر (C) پهنه‌های سیلاب استخراج شده با استفاده از شاخص NDWI

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با شروع سیلاب در تاریخ ۲۳ اسفند ۱۳۹۷، رواناب‌های جاری شده از حوضه گرگانرود شرقی (سد وشمگیر) که شامل زیرحوضه‌های (اوغان، یل چشمه، تنگراه آق‌قمیش، تخت، پاسنگ، آق‌امام، لوه، نرماب، قوشه چشمه، کال آجی، کال شور، آق‌سو، چنارلی، زاو، قرناوه، قلی‌تپه، قره چشمه، قورچای، تیل آباد، دزدک، سیاه‌جوری و سفید

چشمه) می‌باشد، وارد رودخانه گرگانرود گردید. حجم عمده رواناب‌ها در سد گلستان و سد وشمگیر ذخیره گردید. در تاریخ ۲۹ اسفند ۱۳۹۷، رودخانه گرگانرود در محدوده سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا با نصف ظرفیت نرمال عبوری خود (۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه) سیلاب را عبور می‌داد. اما از تاریخ اول فروردین ۱۳۹۸ با طغیان رودخانه‌های زیرحوضه‌های گرگانرود غربی (محمدآباد، جعفرآباد، زرین‌گل، قرن‌آباد) حجم سیلاب مازادی از زیرشاخه‌های آن در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای قانقرمه وارد رودخانه گرگانرود شد (شکل ۶، دایره قرمز رنگ).



شکل ۶- پهنه‌های سیلاب ناشی از محل تلاقی رودخانه قره‌سو با رودخانه گرگانرود

زیرحوضه‌های غربی گرگانرود به دلیل پوشش گیاهی مناسب از جهت تأثیر پوشش گیاهی در تولید رواناب، کمتر مورد توجه قرار گرفته است، البته در بالادست حوضه منطقه سیاه مرزکوه به جهت ارتفاع و شرایط اقلیمی پوشش گیاهی از جنگل به مرتع فقیر تبدیل می‌شود، که در این صورت هنگامی که مرکز ثقل بارش در بالادست حوضه باشد، عامل پوشش گیاهی را می‌توان به‌عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در حمل و انباشت رسوبات در محل تلاقی دو رودخانه گرگانرود و قره‌سو دانست (شکل ۶).

با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده (شکل ۷) و بررسی نتایج در بازه‌های مورد مطالعه، موارد ذکر شده در ادامه جزو مهمترین دلایل ایجاد سیلاب در بازه‌های مورد مطالعه می‌باشند.

۱) در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای سقرلیقی (شکل ۶-بازه اول)، وجود سازندهای حساس زمین‌شناسی و فرسایش سریع و ایجاد بار رسوبی که سبب مضاعف شدن قدرت تخریبی سیلاب می‌گردند، از مهمترین عوامل مؤثر در خروج سیلاب از مدخل رودخانه در این محدوده می‌باشند. سیلاب وارد شده از رودخانه قره‌سو به دلیل شیب نسبتاً بالا، مواد جامد و معلق زیادی را با خود به رودخانه گرگانرود وارد می‌کند که این جریان سیلاب از قدرت تخریب بالاتری نسبت به جریان سیلاب وارد شده از محدوده شرقی رودخانه گرگانرود (خروجی سد وشمگیر) دارد. مواد جامد حمل شده به مرور باعث تخریب دیواره‌های کانال و کاهش عرض بستر کانال رودخانه گرگانرود و همچنین ایجاد پیچانرود جدید در بازه اول را در پی خواهد داشت (شکل ۶).

۲) در محدوده روستای قانقرمه تا روستای محمدآلق (شکل ۶-بازه دوم)، به دلیل تغییر کاربری اراضی در حریم رودخانه و همچنین کشاورزی خارج از قاعده باعث از بین رفتن ساختار طبیعی رودخانه شده است و همچنین تخلیه نخاله‌ها و عدم لایروبی رودخانه در این محدوده باعث کاهش عرض بستر رودخانه شده است. همچنین شیب طولی بسیار پایین رودخانه و وجود خاک لس که جز فرسایش‌پذیرترین نوع خاک‌ها می‌باشد، از حساسیت بیشتری برخوردار است. این محدوده تقریباً کمترین تعداد پیچانرود را نسبت به سایر بازه‌ها دارد و همچنین میانگین شعاع قوس پیچانرودها در بازه دوم به نسبت از سایر بازه‌ها بزرگتر می‌باشد، به همین دلیل شرایط مورفولوژیکی نسبتاً مناسبی نسبت به سایر بازه‌ها دارد. وجود پل با دهانه بسیار نامناسب (شکل ۷- C) در روستای محمدآلق و تجاوز به حریم کمی رودخانه (حریم کمی رودخانه گرگانرود برابر ۲۰ متر از طرفین رودخانه می‌باشد، گزارش شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۶) و ایجاد بازار هفتگی در آن به مرور باعث تخریب دیواره‌های رودخانه و ناپایداری دیواره‌های آن شده که باعث کاهش عرض بستر در محدوده پل محمدآلق شده است.

۳) در محدوده شهری آق‌قلا (شکل ۶-بازه سوم)، ضریب سینوزیته رودخانه برابر ۱/۴۱۴ می‌باشد، وضعیت مورفولوژی رودخانه در این محدوده نسبتاً مناسب می‌باشد. عمق رودخانه در بازه سوم و چهارم نسبتاً کمتر از بازه‌های اول و دوم است و رابطه مستقیمی بین کاهش ضریب سینوزیته و کاهش عمق در این ناحیه وجود دارد. در محیط شهری آق‌قلا، کانالیزه کردن رودخانه در نزدیکی سه پل موجود در شهر آق‌قلا باعث تثبیت دیواره‌های رودخانه شده است (شکل ۷- D). رسوبات حمل شده از بالادست رودخانه گرگانرود (بازه اول) از اول تا دهم فروردین ۱۳۹۸ باعث تجمع رسوبات در نزدیکی پایه‌های پل و مسدوده شدن برخی دهانه‌های پل شده است (شکل ۷- D,G). در سیل بهار ۱۳۹۸ به دلیل اینکه حجم عمده سیلاب در نزدیکی روستای سلاق‌یلقی از مدخل رودخانه خارج

شده است، حجم سیلاب نسبتاً کمتری وارد محیط شهری آق‌قلا شده است (شکل ۶- بازه دوم)، لذا این بازه از رودخانه گرگانرود توانایی عبور سیلاب را داشته است.

۴) در حد فاصل شهر آق‌قلا تا روستای دوگونچی (شکل ۶- بازه چهارم)، روستای آق‌قبر شیب طبیعی کانال از (دو در ده هزار به یک در ده هزار) تغییر می‌کند، این تغییر شیب باعث پس‌زدگی جریان در نزدیکی پل آق‌قبر می‌شود، همچنین تغییر عرض بستر بسیار زیاد (عرض بستر رودخانه در شرق پل حدود ۴۰ متر و در غرب پل در حدود ۸۵ متر) باعث بوجود آمدن جریان غیریکنواخت شده و در پی آن رسوبات انباشته بسیار زیادی در دهانه‌های کناری پل آق‌قبر به دام افتاده است که باعث بالا آمدن سطح جریان سیلاب می‌شود. در محدوده روستای آق‌قبر تخلیه نخاله‌های ساختمانی و وجود درختچه‌های گز باعث افزایش ضریب زبری بستر شده است که این علت هم باعث کاهش سرعت جریان سیلاب و به تبع آن گیر افتادن سیلاب در این ناحیه می‌شود که باعث بالا آمدن سطح جریان در کانال رودخانه در محیط شهری آق‌قلا شده و سیلاب از مدخل رودخانه خارج می‌گردد و وارد محیط نفوذناپذیر شهری شده است (شکل ۷- F,G).

بعد از بررسی پهنه‌های سیلاب مشخص شد روستاهای دوگونچی و قانقرمه در معرض خطر سیلاب این رودخانه با توجه سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله قرار ندارند، اما روستاهای سیدلر، سلاق یلّقی و مناطق شمالی شهر آق‌قلا در معرض خطر سیلاب این رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۵۰ ساله به بالا قرار دارند. برای جلوگیری از ورود سیلاب به مناطق شهری، شهر آق‌قلا باید وضعیت رودخانه در حد فاصل روستای سلاق یلّقی تا قانقرمه به علت وجود پیچانرود زیاد و عدم وجود دیواره‌سازی مناسب و لایروبی نشدن رودخانه، ملاحظات جدی صورت گیرد، حجم زیادی از سیلاب اخیر از این مناطق با توجه به شیب و توپوگرافی منطقه از سمت شرقی و شمال‌شرقی وارد محیط شهری آق‌قلا شده است (شکل ۶- بازه ۱).

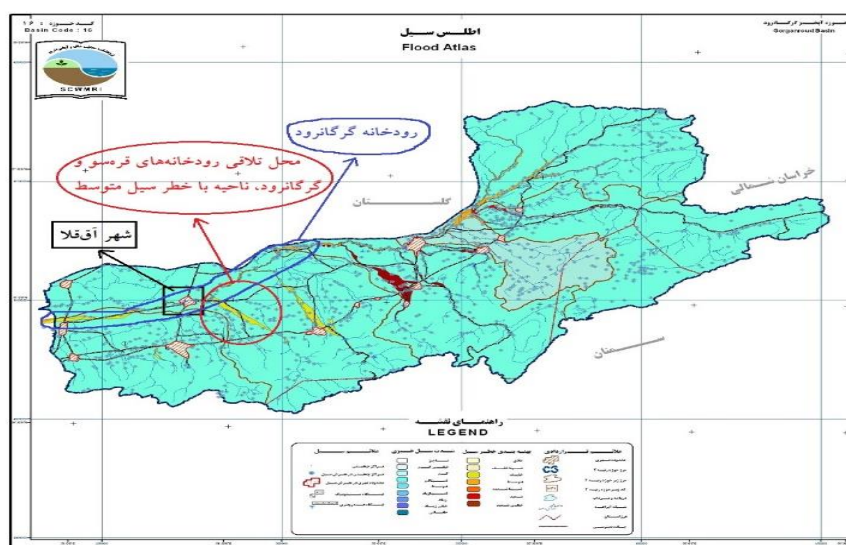




شکل ۷- تصاویر میدانی گرفته شده از بازه‌های مورد مطالعه؛ (B) مسیر رودخانه در بازه اول در نزدیکی روستای سلاق‌یلقی، (C) پل نامناسب در مسیر رودخانه در بازه دوم در نزدیکی شهر آق‌قلا، (D) تراز کف نامناسب پل و عدم لایروبی رودخانه در بازه سوم شهر آق‌قلا، (E) عدم دیواره‌سازی مناسب رودخانه در بازه سوم پل تاریخی آق‌قلا، (F) نبود شیب مناسب و تخلیه نخاله در حریم رودخانه و عدم دیواره‌سازی کانال در بازه چهارم، (G) تغییر شدید عرض رودخانه و شیب نامناسب و عدم لایروبی رودخانه در بازه چهارم (منبع: نگارند، ۱۳۹۸)

نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده (شکل ۴) با اطلس سیل تهیه شده توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور (۱۳۸۵) که در (شکل ۸) نشان داده شده است مقایسه گردید. براساس نتایج پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، رودخانه گرگانرود به سه قسمت سراب گرگانرود، گرگانرود میانی و پایاب گرگانرود تقسیم‌بندی شده است که از نظر سیل‌خیزی گرگانرود میانی که در محدوده شهر گنبدکاووس تا شهر آق‌قلا قرار دارد در طبقه خطر شدید سیل واقع شده است. از مهمترین علل آن می‌توان به ورود سیلاب زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو به رودخانه گرگانرود در محدوده روستای سلاق‌یلقی اشاره کرد که بار رسوبی بسیار زیادی را از بالادست حوضه آبخیز قره‌سو وارد رودخانه گرگانرود می‌کند (شکل ۶)، این امر موجب تنگ‌شدگی و کاهش شدید عرض مقطع رودخانه در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای محمدآلق شده و به همین دلیل حجم سیلاب زیادی از این بستر

رودخانه خارج شده و وارد دشت‌های پست مجاور می‌شود (شکل ۹، دایره قرمز رنگ). در نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده (شکل ۴) بیش‌ترین مساحت پهنه‌های سیلاب در ناحیه شرقی شهر آق‌قلا در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای قانقرمه وجود دارد. با توجه به اینکه بیش‌ترین حجم سیلاب در این ناحیه (جنوب‌شرقی شهر آق‌قلا) با گل‌ولای همراه بود این پهنه‌ها توسط شاخص MNDWI شناسایی شده (شکل ۵)، که براساس نقشه‌های پهنه‌بندی سیل بدست آمده به کمک شاخص MNDWI (شکل ۵) ناحیه گرگانرود میانی در طبقه خطر سیل خیلی شدید قرار دارد، که با اطلس سیل تهیه شده توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (شکل ۸) تطابق بسیار زیادی دارد.



شکل ۸- اطلس سیل حوضه آبخیز گرگانرود (منبع: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۱۳۸۵)

۵- جمع‌بندی

بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله برای رودخانه گرگانرود برابر ۷۹۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که با توجه به هیدروگراف سیلاب ۱۳۹۸ گلستان، سیلاب با دبی پیک ۷۳۹ متر مکعب بر ثانیه در رودخانه گرگانرود جریان داشته است در حالی که میانگین ظرفیت عبوری گرگانرود در حدود ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد، بنابراین پهنه‌های سیلابی که در تاریخ چهاردهم و شانزدهم فروردین بدست آمد ناشی از دبی ۷۳۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد، در این تاریخ تقریباً ۵۱ کیلومترمربع از شهر آق‌قلا تحت تأثیر سیلاب قرار گرفت که نیمه شمالی شهر آق‌قلا به طور کامل سیلابی شد. بررسی شرایط مورفولوژی کانال رودخانه گرگانرود نشان داده که علاوه بر شدت جریان سیلاب، ضریب خمیدگی بالا و عدم دیواره سازی و وجود پل‌های نامناسب در بازه اول و دوم و تجاوز به حریم رودخانه و عدم لایروبی کانال در بازه سوم و شیب نامناسب و تغییرات شدید

عرض بستر و تخلیه نخاله در بازه چهارم از مهمترین علل بوجود آمدن سیلاب در شهر آق قلا می باشد. با توجه به اینکه شهرستان آق قلا از مناطق سیل خیز استان گلستان می باشد لذا نقشه های پهنه بندی سیلاب می تواند یک ابزار بسیار کاربردی برای مسیر توسعه شهرستان آق قلا در سال های آتی باشد، همچنین با شناسایی مناطق حساس و پرخطر رودخانه از نظر مورفولوژی و پهنه های سیلاب ناشی از آن می توان راهکارهایی را برای جلوگیری از بروز خسارات جانی و مالی ارائه کرد و در نهایت نقشه های پهنه بندی سیلاب و راهکارهای پیشنهادی از جمله ساخت بندهای انحرافی، تغییر کاربری اراضی، اصلاح ساختار رودخانه در نقاط بحرانی و بهبود ساختار مورفولوژی کانال و غیره را در اختیار سازمان های مرتبط قرار داد تا تصمیم گیری های مناسب را اتخاذ کنند.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و شرکت آب منطقه ای استان گلستان بابت در اختیار قرار دادن گزارش های سیلاب ۱۳۹۸ گلستان تشکر می کنند.

کتابنامه

- بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۹۲. بررسی تغییرات زمانی کانال های فعال در مسیرهای پیچان دار با استفاده از روش های تجربی و با اسناد به لایه بندی رسوبات کناری، مطالعه موردی: مسیر پیچان دار آجی چای. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. تابستان. سال ۲۶، پیاپی ۵۸.
- جعفر بیگلر، منصور؛ باقری سید شکری، سجاد؛ نگهبان، سعید؛ صفراد، طاهر؛ ۱۳۹۱. بررسی تغییرات بستر و ویژگی های ژئومورفیکی رودخانه گیلانغرب در سال های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۱. پژوهش های ژئومورفیکی کمی. شماره ۲. پاییز ۱۳۹۱، صص ۸۷-۱۰۲.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ تلنگ، ابراهیم؛ لرستانی، قاسم؛ ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه با تاکید بر پیچانرودها (مطالعه موردی: رودخانه چهل چای-نرماب). *فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا*. دانشگاه گلستان. سال هفتم. شماره مسلسل ۲۶، صص ۳۰-۱۷.
- یمانی، مجتبی؛ دولتی، جواد؛ زارعی، علیرضا؛ ۱۳۸۹. تأثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک. *تحقیقات جغرافیایی*. زمستان. سال بیست و پنجم شماره ۴ (پیاپی ۹۹). صص ۱-۲۴.
- یمانی، مجتبی؛ نوحه گر، احمد؛ ۱۳۸۲. بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچانرود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره های رودخانه میناب (پایین دست سد میناب). *پژوهش های جغرافیایی*. شماره ۵۱. بهار. صص ۸۴-۶۵.

Balasch, J.C., Pino D., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Barriendos, M., Castelltort, X., & Peña J.C., 2019. The extreme floods in the Ebro River basin since 1600 CE. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. 646: 645-660. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.325>

Di Baldassarre, G., & Uhlenbrook, S., 2012. Is the current flood of data enough? A treatise on

- research needs for the improvement of flood modelling. *Hydrological Processes* 26(1):153–158, DOI:10.1002/hyp.8226
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X., 2016. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing* 8(4):354. Available at: <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/354>
- Himayoun, D., & Roshni, T., 2020. Geomorphic changes in the Jhelum River due to an extreme flood event: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*. *Arabian Journal of Geosciences* 13(2):12-23. DOI: 10.1007/s12517-019-4896-9
- Kumar, R., Kamal, V., & Singh, RK., 2013. Geomorphic Effects of 2011 Floods on Channel Belt Parameters of Rapti River: A Remote Sensing and GIS Approach. *Corona Journal of Science and Technology* 2(Ii):4–12, ISSN: 2319 – 6327 (Online), Vol. 2, No. II (2013), pp. 4-12
- Kwang, C., Matthew, E., Jnr, O., & Amoah, AS., 2018. Comparing of Landsat 8 and Sentinel 2A using Water Extraction Indexes over Volta River. *Journal of Geography and Geology*; Vol. 10, No. 1; 10(1):1–7. DOI: 10.5539/jgg.v10n1p1
- Langat, PK., Kumar, L., & Koech, R., 2019. Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*. Elsevier B.V 325:92–102. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.007>
- McFeeters, SK., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7):1425–1432, <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Musa, ZN., Popescu, I., & Mynett, A., 2015. A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(9): 3755–3769, doi:10.5194/hess-19-3755-2015
- Nandi, I., Srivastava, PK., & Shah, K., 2017. Floodplain Mapping through Support Vector Machine and Optical / Infrared Images from Landsat 8 OLI / TIRS Sensors : Case Study from Varanasi. *Water Resources Management*. *Water Resources Management*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-1568-y>
- Szantoi, Z., & Strobl, P., 2019. Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation. *European Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis 52(1):253–255. Available at: <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1582840>
- Wang, Y., Colby, JD., & Mulcahy, KA., 2002. An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing* 23(18):3681–3696, <https://doi.org/10.1080/01431160110114484>
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14):3025–3033, <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Zhou, Y., He, B., Xiao, F., Feng, Q., Kou, J., & Liu, H., 2019. Retrieving the lake trophic level index with landsat-8 image by atmospheric parameter and RBF: A case study of Lakes in Wuhan, China. *Remote Sensing* 11(4), <https://doi.org/10.3390/rs11040457>



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۴۳-۲۲۷

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geoeoh.2020.67338.1000>

مقاله پژوهشی

بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸

محمد مرادی^۱ - دانشیار گروه هواشناسی همدیدی و دینامیکی پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران.

عباس رنجبر سعادت‌آبادی - دانشیار گروه پیش‌آگاهی مخاطرات جوی پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۶

چکیده

در این پژوهش، دو سامانه بارشی زمستانه که در روزهای نهم تا دوازدهم ماه‌های ژانویه و فوریه سال ۲۰۲۰، به ترتیب سبب سیلاب در استان سیستان و بلوچستان و بارش برف سنگین در استان گیلان شده است، از دیدگاه همدیدی بررسی شد. نتایج نشان داد هرچند این دو سامانه از نظر شکل ظاهری با هم متفاوت‌اند، ولی هر دو هسته سردی دارند و از نظر نحوه تشکیل و تقویت مشابه هستند. تقویت ناوه ارتفاع تراز میانی، ایجاد حرکت چرخندی و فرارفت تاوانی نسبی مثبت در شرق ناوه، وجود همگرایی در سطوح پایین، ایجاد یا تقویت کم‌فشار در سطح زمین در موقعیت شرق ناوه، در تشکیل و تقویت این دو سامانه بارشی نقش اصلی را برعهده دارند. این سازوکارها با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های کم‌فشار عرض‌های میانی هماهنگ است. یکی از تفاوت‌های آشکار این دو سامانه، تداوم و افزایش سرعت باد شمالی در سامانه اولی است که در اثر تغییر نصف‌النهاری جت قطبی ایجاد شده است. این شرایط سبب شده است تا انحناء چرخندی ایجاد شده در محور جت جنب حاره‌ای، در سامانه اولی بیشتر شود و به سوی جنوب نیز امتداد یابد. این انحناء در سامانه اولی در شرق دریای سرخ و در سامانه دومی در شمال شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است. همچنین در سامانه اول فرارفت هوای گرم و مرطوب از دریای عرب و دریای عمان و در سامانه دوم فرارفت هوای سرد از روی دریای خزر شرایط مناسبی را برای به ترتیب بارش همرفتی و بارش برف سنگین فراهم کرده است.

کلیدواژه‌ها: برف سنگین گیلان، سیلاب سیستان و بلوچستان، کم‌فشار بریده.

۱-مقدمه

رویدادهای حدی، رویدادهایی شدید و تصادفی هستند که بندرت رخ می‌دهند و در دنباله توزیع فراوانی، همواره دورتر از نقطه تمرکز توزیع قرار می‌گیرند (مرادی، ۱۳۹۷). بارش‌های سیل‌آسا و ریزش برف سنگین از جمله رویدادهای حدی هستند که فراوانی رخداد آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است و نظر پژوهشگران هواشناسی و اقلیم‌شناسی را به خود جلب کرده است. برخی پژوهشگران سعی کرده‌اند تا اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا و برف سنگین را بررسی کنند و برخی نیز با به‌کارگیری روش‌های آماری مناسب، احتمال تکرار این پدیده‌ها را در زمان‌های مختلف فرمول‌بندی نموده‌اند. برخی پژوهشگران نحوه رخداد این پدیده‌ها را از دیدگاه‌های همدیدی و فیزیکی بررسی کرده و برخی نیز با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، این موارد را شبیه‌سازی کرده‌اند. در زیر به‌طور کوتاه برخی از پژوهش‌های اخیر در ارتباط با بارش‌های سیل‌آسا و برف سنگین بررسی می‌شود.

ماتلیک و پوست (2008)^۱ در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱، با انتخاب ۱۰۷ ایستگاه همدیدی، آب‌شناسی و باران سنجی، بارش‌های شدید و حدی استونیا را بررسی کردند. این پژوهشگران با رسم دستی نقشه‌های همدیدی و جبهه گذاری آن‌ها، مسیر حرکت چرخندهای عبوری از کشور را مشخص کردند و نشان دادند که در همه موارد کم‌فشارهای جبهه‌ای عامل رخداد این بارش‌ها است.

چن و همکاران (2011)^۲، بارش شدید باران روزهای ۲۷ و ۲۸ ژوئن ۲۰۰۸ در جنوب غرب تایوان را بررسی کردند. آن‌ها با بررسی داده‌های مشاهداتی، محصولات رادار و مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، بارش ۲۰۴ و ۱۶۱/۵ میلی‌متری جنوب‌غرب تایوان در روزهای ۲۷ و ۲۸ ژوئن، نشان دادند که هوای مرطوب از اقیانوس به سوی جنوب‌غرب تایوان در هر دو روز به‌طور پیوسته انتقال یافته است. این پژوهشگران نشان دادند که باد مؤثر سطوح پایین برای انتقال هوای مرطوب به سوی ارتفاعات جنوب‌غرب تایوان، ایجاد همرفت و بارش شدید، حدود ۱۰ متر بر ثانیه است که در روز ۲۷ ژوئن رخ داده است. چن و همکاران (2013)، بارش شدید باران روز ۱۱ اکتبر ۲۰۰۹ در شمال‌شرق تایوان را در فصل مونسون بررسی کردند و با استفاده از مدل WRF اثر صعود اروگرافیکی و مانع کوهستان را در این بارش شدید شبیه‌سازی کردند. بررسی همدیدی این پژوهشگران نشان داد که بادهای سطوح زیرین جو روی مناطق شرق دریای چین و بادهای جنوب شرقی روی شمال اقیانوس آرام، در منطقه شمال‌شرق تایوان همگرا شده‌اند و عامل ریزش بارش شدید باران در این منطقه بوده‌اند. در این روز در ایستگاه لان-یانگ در شمال‌شرق تایوان ۶۳۱/۵ میلی‌متر بارش ثبت شده است. نتایج شبیه‌سازی این پژوهشگران نشان داد که با حذف اثر اروگرافی، مقدار بارش روزانه در ایستگاه لان-یانگ و منطقه شمال شرق تایوان به کمتر از ۵۰ میلی‌متر کاهش یافت. با افزایش اثر اروگرافی به صورت شیب جنوبی به مدل، میزان بارش منطقه شمال‌شرق تایوان به ۲۵۰ میلی‌متر افزایش

1 Matlik and Post

2 Chen et al.

یافت. این پژوهشگران در یک مطالعه دیگر (۲۰۱۳)، سازوکار توسعه بارش شدید باران را در یک حالت موردی دیگر بررسی کردند. آن‌ها بارش شدید باران را که از عصر روز دوم ژوئن تا صبح روز سوم ژوئن ۱۹۸۴ در شمال تایوان ریزش کرده بود را بررسی و شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که یک جبهه با ایجاد شرایط کژفشاری، عامل اصلی این ریزش بوده است.

چن و همکاران (۲۰۱۸)، بارش شدید باران ۱۲-۱۱ ژوئن ۲۰۱۲ در شمال تایوان را بررسی کردند و نشان دادند که بارش سنگین ۴۳۵ میلی‌متری شمالغرب سواحل تایوان و ۴۷۷ میلی‌متری منطقه تایپه که از ساعت ۲۰۰۰ گرینویچ روز ۱۱ ژوئن تا ساعت ۰۸۰۰ گرینویچ روز ۱۲ ژوئن ثبت شده است، در اثر وجود یک جبهه سرد ناشی از یک سامانه امگا شکل ریزش کرده است. این پژوهشگران با انتخاب چهار دامنه با بعد افقی ۲۷، ۹، ۳ و یک کیلومتر، نحوه فعالیت جبهه سرد سامانه فوق را با استفاده از مدل WRF شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با حذف اثر عوارض زمین و ارتفاعات از مدل، نشان دادند که جبهه سرد و منطقه فعالیت بارشی آن به سوی جنوب جابجا می‌شود.

احمدی و جعفری (۱۳۹۵)، بارش سیل‌آسای ۲۸ تا ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ در نیمه شمالی، مرکزی و غربی ایران را از دیدگاه همدیدی بررسی کردند. آن‌ها با بررسی نقشه‌های فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و امگای تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، میدان باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال و محاسبه شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کاوش جو فرودگاه مهرآباد، نشان دادند که گسترش جنوب سوی پرفشار روی دریای سیاه و نفوذ شمال سوی کم‌فشار پاکستان، با ایجاد شیو فشاری شدید، سبب ریزش بارش‌های سیل‌آسا در منطقه مطالعاتی شده است. رنجبر و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از مدل WRF و انتخاب سه دامنه با تفکیکی افقی متفاوت ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر و بازه زمانی یک ساعت، سیلاب منطقه کن و سیچان مورخ بیست و هشتم تیرماه نود و چهار را شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که نفوذ شمال سوی هوای گرم عرض‌های جنوبی و همراهی عبور ناوه سطوح میانی و بالایی وردسپهر و ریزش هوای سرد در این ترازها ناپایداری شدیدی را در منطقه ایجاد کرده است. بررسی این حالت موردی نشان داد که جبهه سرد فعال مجاور سطح زمین به علت رسیدن آن به تهران در ساعت بیشینه دما، تقویت شده و با افزایش ناپایداری هوا در منطقه، بارش‌های رگباری شدید ایجاد کرده است. معصوم پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی بارش‌های همرفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری، با استفاده از داده‌های جو بالای تبریز در دوره آماری ۲۰ ساله ۱۹۸۰-۲۰۰۵، سهم بارش‌های همرفتی این ایستگاه را تعیین کردند و نشان دادند که سهم همرفت در بارش‌های دوره گرم فقط بیست درصد از بارش‌های منطقه را به خود اختصاص داده است و عامل همرفت بیش‌ترین نقش را در بارش ماه‌های ژوئن و مه داشته است. راستگو و رنجبر سعادت‌آبادی (۱۳۹۷)، با استفاده از داده‌های بارندگی ۸ ایستگاه هواشناسی استان بوشهر در یک دوره آماری ۱۴ ساله و به‌کارگیری شاخص پایه صدک، بیش‌ترین بارش روزانه حدی این استان را ۸۴/۲ میلی‌متر برآورد کردند و نشان دادند که وقوع بارش‌های شدید و حدی در استان

بوشهر، نتیجه استقرار یک سامانه بندالی از نوع رکس یا امگا در تراز میانی جو و سامانه کم فشار سودانی سطح زمین در جنوب غرب ایران است.

چنگنون و چنگنون (2005)^۱، توفان‌های برف مخرب در دوره آماری ۱۹۴۹-۲۰۰۱ در ایالات متحده آمریکا را بررسی کردند و ۱۵۵ توفان برف با خسارت‌های زیانبار را شناسایی کردند. آن‌ها نشان دادند که شمال شرق ایالات متحده آمریکا با ۷۹ مورد، دارای بیش‌ترین فراوانی است و شدیدترین توفان برف در این منطقه، ۷/۳ میلیارد دلار خسارت داشته است که بالاترین خسارت مربوط به یک توفان فاجعه‌بار برف است.

لوپز-مورنو و همکاران (2011)^۲، اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی رخداد بارش برف سنگین در کوه‌های پیرنه در اروپا را با استفاده از یک مدل اقلیمی (HIRHAM) با دوره کنترل ۱۹۹۰-۱۹۶۰ و دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B2، را در قرن بیست و یکم (۲۰۷۰-۲۱۰۰)، شبیه‌سازی کردند. آن‌ها نشان دادند که شدت و فراوانی ریزش برف سنگین در هر دو سناریو، در ارتفاع هزار متری از سطح زمین کاهشی است ولی در دو هزار متری تغییر قابل توجهی ندارد. همچنین در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح زمین، شدت و فراوانی ریزش برف سنگین فقط تحت سناریوی A2 کاهشی است.

کاواس و همکاران (2016)^۳، اثر تغییر اقلیم بر رخداد بارش برف سنگین در ژاپن را با استفاده از یک مدل اقلیمی شبیه‌سازی کردند. این پژوهشگران با استفاده از یک مدل اقلیمی تحت سناریوی RCP8.5، دما و بارش را برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ برآورد کردند و نشان دادند که میانگین دمای سطح زمین نسبت به دوره ۱۸۸۰-۱۸۶۱، چهار درجه سلسیوس افزایش می‌یابد که در نتیجه آن فراوانی ریزش برف سنگین در مناطق مرکزی ژاپن هر ده سال یکبار رخ می‌دهد و مجموع بارش زمستانه در این مناطق به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. کاواس و همکاران (۲۰۱۸)، توزیع جغرافیایی بارش برف سنگین در مناطق مختلف ژاپن از غرب تا شمال شرق را بررسی کردند و با استفاده از یک مدل همدادی، به‌کارگیری داده‌های باز تحلیل پنجاه و پنج ساله و انتخاب ده عضو، شرایط همدیدی منجر به ریزش این بارش‌ها را شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که برف سنگین تحت تأثیر چرخندهای فوق حاره‌ای و ریزش هوای سرد از اواسط ژانویه تا پایان فوریه در مناطق نزدیک به آب‌های اقیانوس آرام، از اوایل دسامبر تا اواسط ژانویه در مناطق نزدیک دریای ژاپن و در ماه‌های نوامبر و مارس در مناطق مرتفع ریزش می‌کند. کاواس و همکاران (2020)، تغییرات پوشش برف کوهستان‌های مرتفع مناطق مرکزی ژاپن را تحت اثر تغییر اقلیم بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از یک مدل اقلیمی غیر هیدرواستاتیک با قدرت تفکیک بالا (NHRCM)، تغییرات پوشش برف را شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در سالی که پوشش برف کم است و میانگین دمای هوا در اثر گرمایش جهانی دو و

1 Changnon and Changnon

2 Lopez-Moreno et al.

3 Kawase et al.

چهار کلون افزایش یافته است، بارش برف از اواخر دسامبر تا اواخر فروردین در ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر از سطح متوسط دریا افزایش می‌یابد و در نتیجه پوشش برف در این ارتفاعات نیز توسعه پیدا می‌کند. در ارتفاعات زیر ۵۰۰ متر نیز در مناطقی با افزایش متوسط دمای چهارکلون، فراوانی بارش برف خفیف، متوسط و سنگین کاهش می‌یابد ولی در این مناطق وقتی که متوسط دما در اثر گرمایش جهانی دو کلون است فقط فراوانی بارش برف سنگین افزایش خواهد یافت.

رضائی و همکاران (۱۳۸۹)، بارش برف در جلگه مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن را در دوره آماری ایستگاه‌های استان گیلان از بدو تأسیس تا سال ۱۳۸۹، بررسی کردند و با استفاده از آزمون گرافیکی من-کندال، نشان دادند که فراوانی ریزش برف در ایستگاه رشت دارای روند صعودی است ولی در ایستگاه‌های انزلی، آستارا و منجیل روند نزولی وجود دارد. فهیمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱)، برف سنگین فوریه ۲۰۰۵ استان گیلان را از دیدگاه همیدی بررسی کردند و با استفاده از کمیت فشار سطح متوسط دریا و تکنیک تحلیل خوشه‌ای، سه الگوی مناسب برای ریزش برف سنگین گیلان ارائه دادند. نفوذ پشته فشاری ناشی از پرفشار بالکان، نفوذ پشته فشاری ناشی از پرفشار سبیری و ترکیب پشته فشاری ناشی از این دو پرفشار و نفوذ آن به سواحل دریای خزر، سه الگوی معرفی شده برای ریزش برف سنگین گیلان معرفی شده است. مومن‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، سازوکار همیدی و دینامیکی بارش‌های سنگین برف در حاشیه جنوب‌غربی دریای کاسپین در یک دوره آماری ۵۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۲ را بررسی کردند و ضمن شناسایی ۳۶ موج بارش برف سنگین، ۸۰ روز با بارش سنگین برف را در منطقه آشکار کردند. این پژوهشگران دو الگوی مجزای واچرخندی با منشاء قاره‌ای و اقیانوسی، به‌تنهایی و یا به صورت جفت شده با چرخند عرض‌های پایین‌تر را عامل اصلی ریزش برف سنگین در حاشیه دریای خزر معرفی کردند. غفاریان و همکاران (۱۳۹۴)، به منظور یافتن ساختار الگوهای بزرگ مقیاس و همیدی برف سنگین استان گیلان، از داده‌های بایگانی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز تحقیقات جوی آمریکا در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۶۴ استفاده کردند و ناهنجاری فشار سطح متوسط دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای فشاری ۱۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال را نسبت به دوره سی‌ساله ۲۰۱۰-۱۹۸۱ به دست آورده و تحلیل کردند. آن‌ها نیز مانند برخی دیگر از پژوهشگران نشان دادند که در تمامی الگوهای منجر به بارش برف سنگین در گیلان، گسترش پشته فشاری ناشی از پرفشار سبیری یا بالکان و یا ترکیب هر دو و استقرار آن به روی دریای خزر، عامل اصلی ناپایداری و انتقال رطوبت به سواحل شمالی ایران است. خالدی و همکاران (۱۳۹۶)، ریزش برف سنگین جلگه گیلان در بهمن ۱۳۹۲ را از دیدگاه همیدی بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های بایگانی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز تحقیقات جوی آمریکا، مانند فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و مؤلفه‌های میدان باد، نشان دادند که پشته فشاری ناشی از پرفشار روی اروپا به سواحل جنوبی

دریای خزر نفوذ می‌کند و ضمن ایجاد اختلاف شدید دما بین آب و هوا در سواحل دریای خزر و در نتیجه ایجاد همرفت و صعود هوا، بارش‌های شدیدی در این منطقه ایجاد می‌کند.

در روزهای نهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰، در اثر عبور یک سامانه بارشی قوی از جنوب ایران، سیلاب و آب‌گرفتگی شدیدی در مناطق مختلف استان‌های هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان ایجاد شد و خسارات مالی زیادی به بار آورد. در روزهای نهم تا دوازدهم فوریه این سال نیز یک کم‌فشار بریده با حرکت آهسته از روی دریای سیاه و شمال دریای خزر عبور کرد و ضمن کاهش دمای کشور سبب ریزش بارش برف سنگین در استان‌های حاشیه دریای خزر به ویژه استان گیلان شد. هدف از این پژوهش مقایسه شرایط همدیدی منجر به چگونگی تقویت این دو سامانه است.

۲- مواد و روش‌ها

فعالیت بارشی سامانه روزهای نهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰، در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان و سامانه بارشی روزهای نهم تا یازدهم فوریه این سال در استان گیلان از شدت بیشتری برخوردار بود. از این رو در هر استان چند ایستگاه همدیدی انتخاب شد و مقدار بارش شش ساعته ثبت شده در آن ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد. برای تحلیل مقدار بارش روزانه از مجموع بارش ثبت شده در ساعت‌های ۰۶۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ و ۰۰۰۰ گرینویچ روز بعد استفاده شده است. در این پژوهش برای تعیین مقادیر حدی بارش در جنوب شرق ایران، با استفاده از نرم‌افزار مینی تب، بهترین منحنی بر داده‌های بیش‌ترین بارش روزانه دوره آماری منتهی به سال ۲۰۱۹ برازش داده شد و سپس مقدار بارش متناظر با پنج درصد بالای منحنی، به دست آمد. این مقدار برای آستانه بالای بیش‌ترین بارش ۲۴ ساعته در نظر گرفته شد (ورشایان و همکاران، ۱۳۹۰؛ الکساندر و همکاران، ۲۰۰۶).

برای بررسی همدیدی دو سامانه موردی انتخابی، میدان فشار و ارتفاع تراز میانی، حرکت بالاسو در تراز میانی، فرارفت دما و نم ویژه در تراز زیرین و میدان باد در سطوح فوقانی طی روزهای بارشی تحلیل شد. داده‌های مورد نیاز از بایگانی NCEP/NCAR در روی یک شبکه منظم محدود به صفر تا هشتاد درجه طول جغرافیایی شرقی و ده تا شصت درجه عرض جغرافیایی شمالی که در آن امواج همدیدی آشکار می‌شوند، استخراج شد. به کمک برنامه‌های رایانه‌ای، تاوایی نسبی، فرارفت تاوایی نسبی و فرارفت دما بر اساس مبانی نظری محاسبه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل داده‌های بارش ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

بررسی میزان بارش ایستگاه‌های بندرعباس و قشم در بازه زمانی شش ساعته در روزهای نهم تا یازدهم ژانویه ۲۰۲۰ نشان داد که بارش در این ایستگاه‌ها، از شش ساعت پایانی روز نهم شروع و تا شش ساعت آغازین روز یازدهم ادامه داشته است. در طول روز دهم از ساعت ۰۶:۰۰ تا ۰۰:۰۰ گرینویچ روز یازدهم، مجموع مقدار بارش در ایستگاه بندرعباس ۱۳۳ میلی‌متر و در ایستگاه قشم ۸۰ میلی‌متر ثبت شده است. بیش‌ترین مجموع بارش سه روزه اواخر نهم تا اواخر دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ ایستگاه‌های بارانسنجی استان هرمزگان در طالوار میناب و رمکان قشم به ترتیب با ۱۷۶ و ۱۷۰ میلی‌متر ثبت شده است.

میزان بارش ایستگاه‌های منتخب استان سیستان و بلوچستان نیز در بازه زمانی شش ساعته در روزهای دهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار بارش در استان سیستان و بلوچستان، در روز یازدهم ژانویه ریزش کرده است. این کمیت در شش ساعت اول روز در ایستگاه خاش، در شش ساعت دوم در ایستگاه ایرانشهر، در شش ساعت سوم در ایستگاه چابهار و در شش ساعت پایانی روز در ایستگاه سراوان ثبت شده است. در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان، میزان بارش بیشتری ثبت شده است. بیش‌ترین مجموع بارش دو روزه دهم تا اواخر دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ ایستگاه‌های بارانسنجی استان سیستان و بلوچستان نیز در فنوج نیک‌شهر به مقدار ۲۱۵ میلی‌متر گزارش شده است. در بقیه ایستگاه‌های باران‌سنجی نیز میزان بارش بسیار زیادی ثبت شده است.

شایان ذکر است که شاخص مادن-جولین طی روزهای ششم تا دهم ژانویه، در فاز چهار و در روزهای یازدهم تا چهاردهم ژانویه در فاز پنج قرار گرفته است. نتایج این بررسی با نتایج برخی پژوهش‌های پیشین (مانند: رنجبر سعادت‌آبادی و سوری، ۱۳۹۶؛ قائد‌امینی و ناظم‌السادات، ۱۳۹۱) متفاوت است. مطابق نظر این پژوهشگران فعالیت فازهای چهار و پنج مادن-جولین با دوره‌های خشک در بخش‌های مختلف ایران به ویژه جنوب شرق کشور همراه است و فاز هشت این شاخص برای ریزش بارش زمستانه در مناطق شرقی ایران مناسب می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در بارش‌های همرفتی شدید باید عوامل مؤثر دیگری را جستجو کرد.

از بررسی میزان بارش ایستگاه‌های منتخب استان گیلان در بازه زمانی شش ساعته در روزهای نهم تا یازدهم فوریه ۲۰۲۰ دیده شد که مجموع بارش روزانه ایستگاه آستارا در روز هشتم، نهم و دهم فوریه به ترتیب ۲۰، ۲۹ و ۳۰ میلی‌متر است. مجموع بارش این ایستگاه در این روزها ۷۹ میلی‌متر است که از این مقدار ۵۴ سانتیمتر برف گزارش شده است. در ایستگاه انزلی در روزهای نهم و دهم فوریه به ترتیب ۴۳ و ۸۸ میلی‌متر بارش ریزش کرده است. مجموع بارش ایستگاه انزلی در این مدت ۱۳۲ میلی‌متر است که از این مقدار فقط ۲ سانتیمتر بارش برف ثبت شده

است. مجموع بارش روزانه ایستگاه رشت در روزهای نهم، دهم و یازدهم فوریه به ترتیب ۲۳، ۷۹ و ۳۹ میلی‌متر ثبت شده است. مجموع بارش ایستگاه رشت در این مدت ۱۴۱ میلی‌متر است که از این مقدار ۱۰۳ سانتیمتر بارش برف ثبت شده است. مجموع بارش روزانه ایستگاه لاهیجان در روزهای نهم، دهم و یازدهم فوریه به ترتیب ۲۸، ۷۴ و ۱۰۱ میلی‌متر ثبت شده است. مجموع بارش این ایستگاه طی این مدت ۲۰۳ میلی‌متر است که از این مقدار ۹۷ سانتیمتر بارش برف گزارش شده است.

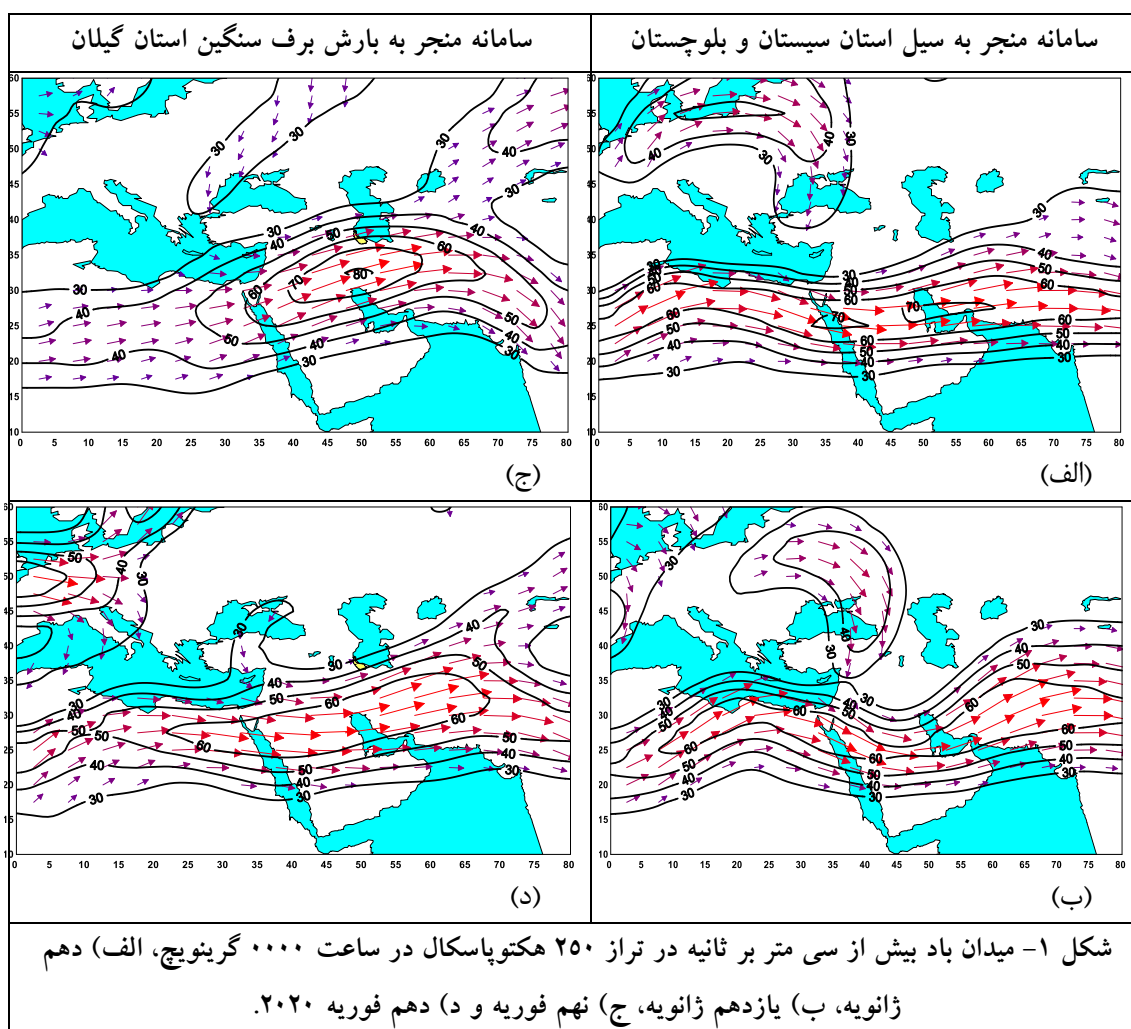
۳-۲- بررسی همدیدی

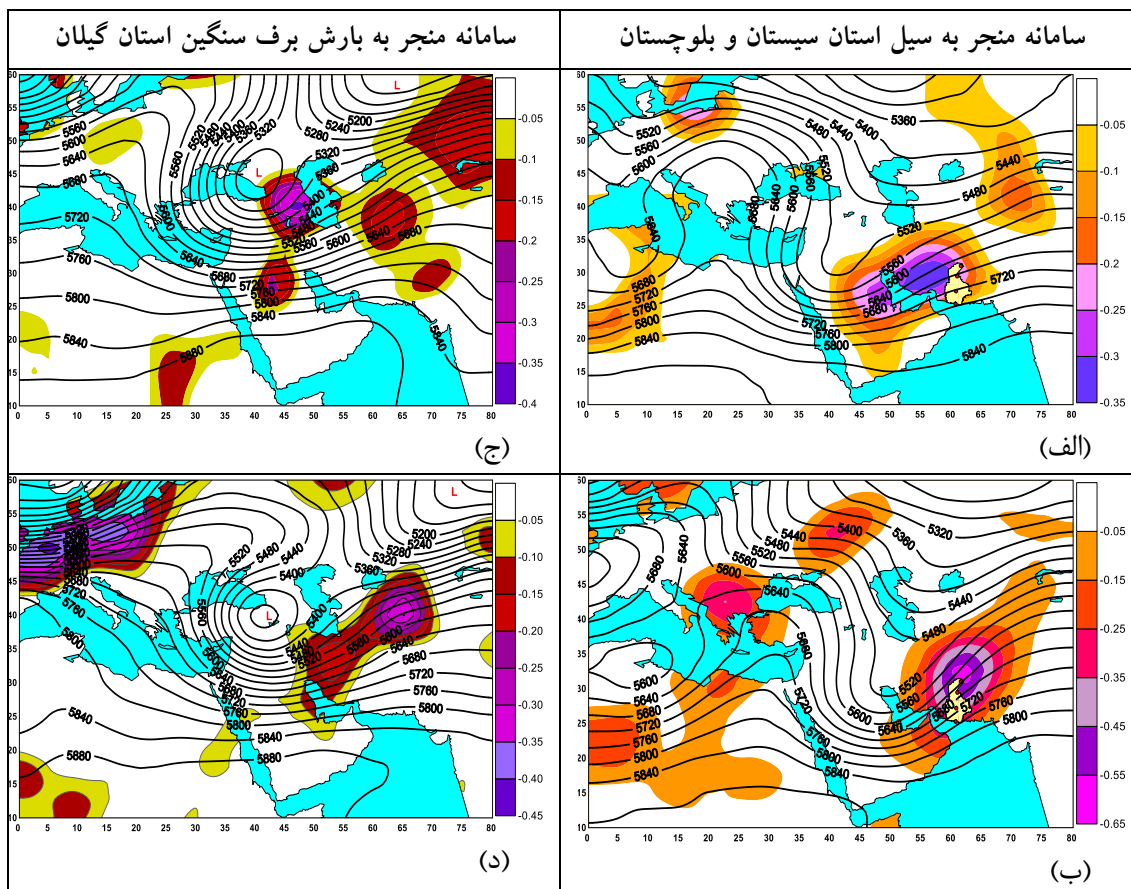
در این تحلیل برای اختصار، سامانه بارشی منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان به عنوان سامانه اول و سامانه بارشی منجر به بارش برف سنگین استان گیلان به عنوان سامانه دوم معرفی می‌شوند.

در سامانه اول، در اثر تغییر جهت جت قطبی از مداری به نصف‌النهار، بادهای شمالی از شمال دریای سیاه به جنوب آن شارش یافته است و با بخش شمالی جت جنب حاره‌ای که محور آن در روی خلیج فارس و تنگه هرمز قرار دارد، در شرق دریای مدیترانه ترکیب شده است (شکل ۱-الف). تداوم این شرایط سبب شده است تا محور جت جنب حاره در شرق دریای سرخ و عراق، انحناء چرخندی پیدا کند و هسته بیشینه سرعت باد به تدریج از شرق ایران خارج شود (شکل ۱-ب). در سامانه دوم محور جت قطبی نسبت به سامانه اول، در عرض‌های جغرافیایی بالاتری است به‌طوری که محور این جت در غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱-ج). تغییر نصف‌النهاری جت قطبی نیز به‌طور جزئی در غرب دریای سیاه قابل مشاهده است ولی تداوم آن کم و اندازه سرعت نیز نسبت به سامانه اول کمتر است و در نتیجه انحناء چرخندی در محور جت جنب حاره، در این حالت موردی ایجاد نشده است (شکل ۱-د).

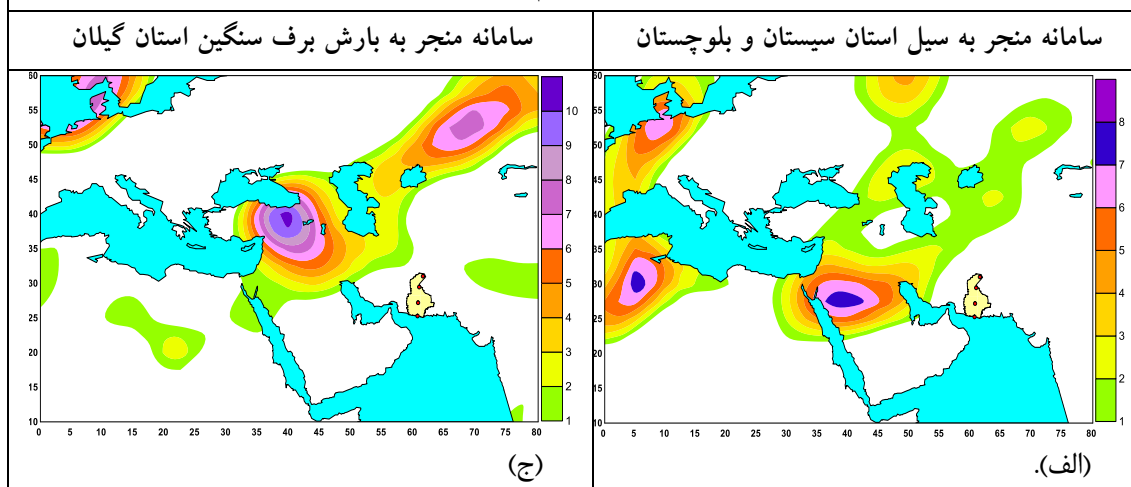
ناوه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سامانه اول که در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است، در اثر سازوکار ایجاد شده بوسیله باد شمالی، عمیق‌تر می‌شود و به سوی شمال دریای سرخ امتداد می‌یابد. حرکت بالاسوی قوی که با هسته کمینه امگا (مؤلفه قائم باد در دستگاه مختصات فشاری) مشخص شده است، در بخش شرقی این ناهه قرار گرفته است (شکل ۲-الف). به تدریج که ناهه به سوی شرق حرکت می‌کند و جنوب و جنوب‌شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هسته کمینه امگا نیز به استان سیستان و بلوچستان منتقل می‌شود و شرایط را برای همرفت شدید در مناطق جنوب‌شرق ایران فراهم می‌سازد (شکل ۲-ب). در بررسی ارتفاع تراز میانی در سامانه دوم دیده شد که کم‌فشار بریده شرق دریای سیاه، در راستای نصف‌النهاری تا جنوب آن دریا جابجا می‌شود و مناطق شمال‌غرب، غرب و شمال ایران تحت تأثیر فعالیت بارشی این سامانه قرار گرفته است. هسته کمینه امگا در این سامانه نیز در بخش شرقی ناهه در شمال‌غرب ایران جای گرفته است که به تدریج با تغییر سامانه، شمال کشور را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل‌های ۲-ج و ۲-د). ناهه ارتفاع تراز میانی در سامانه اولی تا شمال دریای سرخ امتداد یافته است

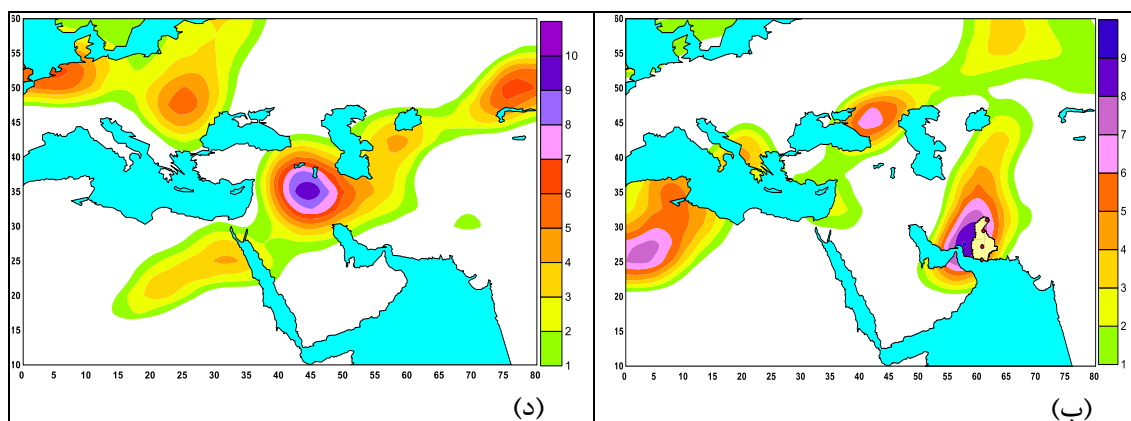
ولی ناوه کم فشار بریده شرق دریای سیاه فقط تا جنوب آن دریا کشیده شده است؛ بنابراین نحوه امتداد جنوب سوی ناوه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هر سامانه در منطقه تحت تأثیر فعالیت بارشی آن بسیار مؤثر است. حرکت بالاسو در تراز میانی دو سامانه فوق، در اثر حرکت چرخندی و ایجاد تاوانی نسبی مثبت در شرق ناوه ارتفاع آن تراز ایجاد شده است. در سامانه اول که ناوه ارتفاع تراز میانی تا شمال دریای سرخ امتداد داشت، بیشترین مقدار تاوانی نسبی مثبت در شمال دریای سرخ ایجاد شد (شکل ۳-الف) که منطبق با حرکت ناوه ارتفاع به سوی شرق، هسته بیشینه این کمیت نیز به سوی شرق حرکت کرد (شکل ۳-ب). این شرایط در سامانه دوم نیز مشاهده شد. در این سامانه هسته بیشینه تاوانی نسبی مثبت مطابق با حرکت ناوه کم فشار بریده، در جنوب دریای سیاه و سپس شمال غرب و شمال ایران قرار گرفت (شکل های ۳-ج و ۳-د).





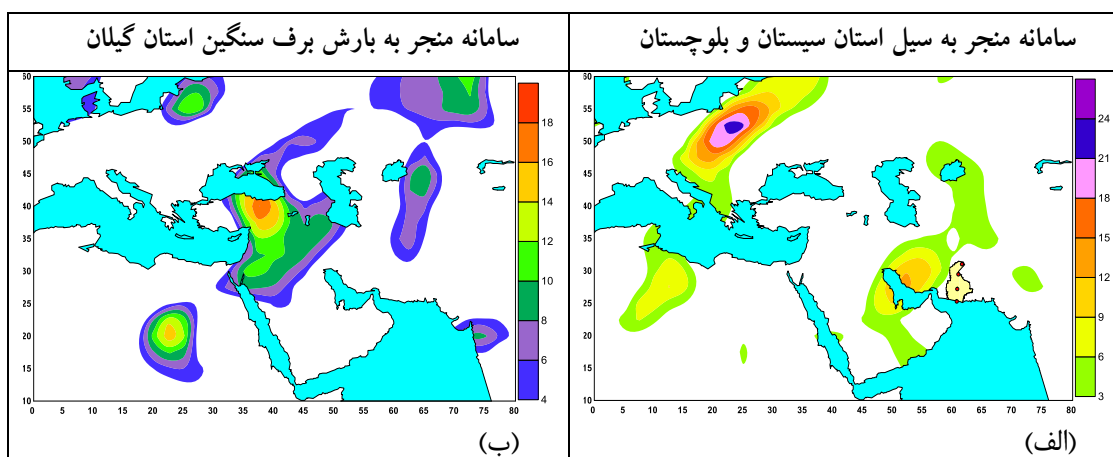
شکل ۲- گرده ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و مؤلفه قائم سرعت باد (پاسکال بر ثانیه) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (الف) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم ژانویه، (ب) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه، (ج) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز نهم فوریه و (د) ساعت ۰۰۰۰ روز دهم فوریه ۲۰۲۰. پربندهای ارتفاع با فاصله ۴۰ ژئوپتانسیل متر رسم شده است.



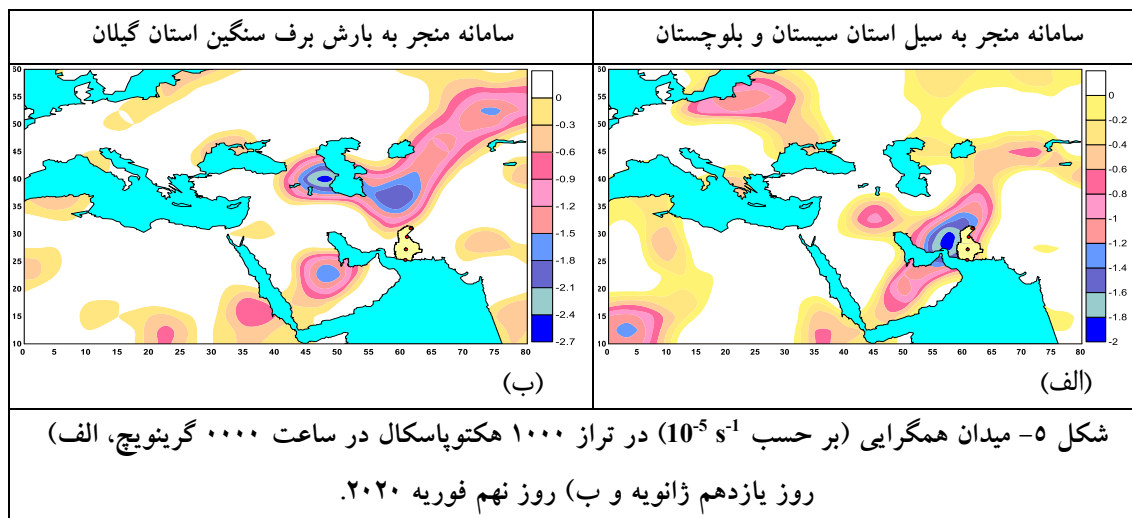


شکل ۳- میدان تاوایی نسبی مثبت (بر حسب $10^{-5} s^{-1}$) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، الف) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم ژانویه، ب) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه، ج) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز دهم فوریه و د) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم فوریه ۲۰۲۰.

بررسی فرارفت تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوسیله باد این تراز نیز نشان می‌دهد که مشابه میدان تاوایی نسبی مثبت، مقادیر بیشینه این کمیت به ترتیب در روی خلیج فارس و جنوب دریای سیاه قرار گرفته است که معرف محل توسعه هر دو سامانه در آن مناطق است (شکل‌های ۴-الف و ۴-ب). در سامانه اولی، بیشینه مقدار همگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، در غرب استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (شکل ۵-الف) و در سامانه دومی، بیشینه مقدار این کمیت در غرب دریای خزر ایجاد شده است (شکل ۵-ب)؛ بنابراین شرایط برای ایجاد یا توسعه میدان فشار سطح زمین در این مناطق فراهم شده است.



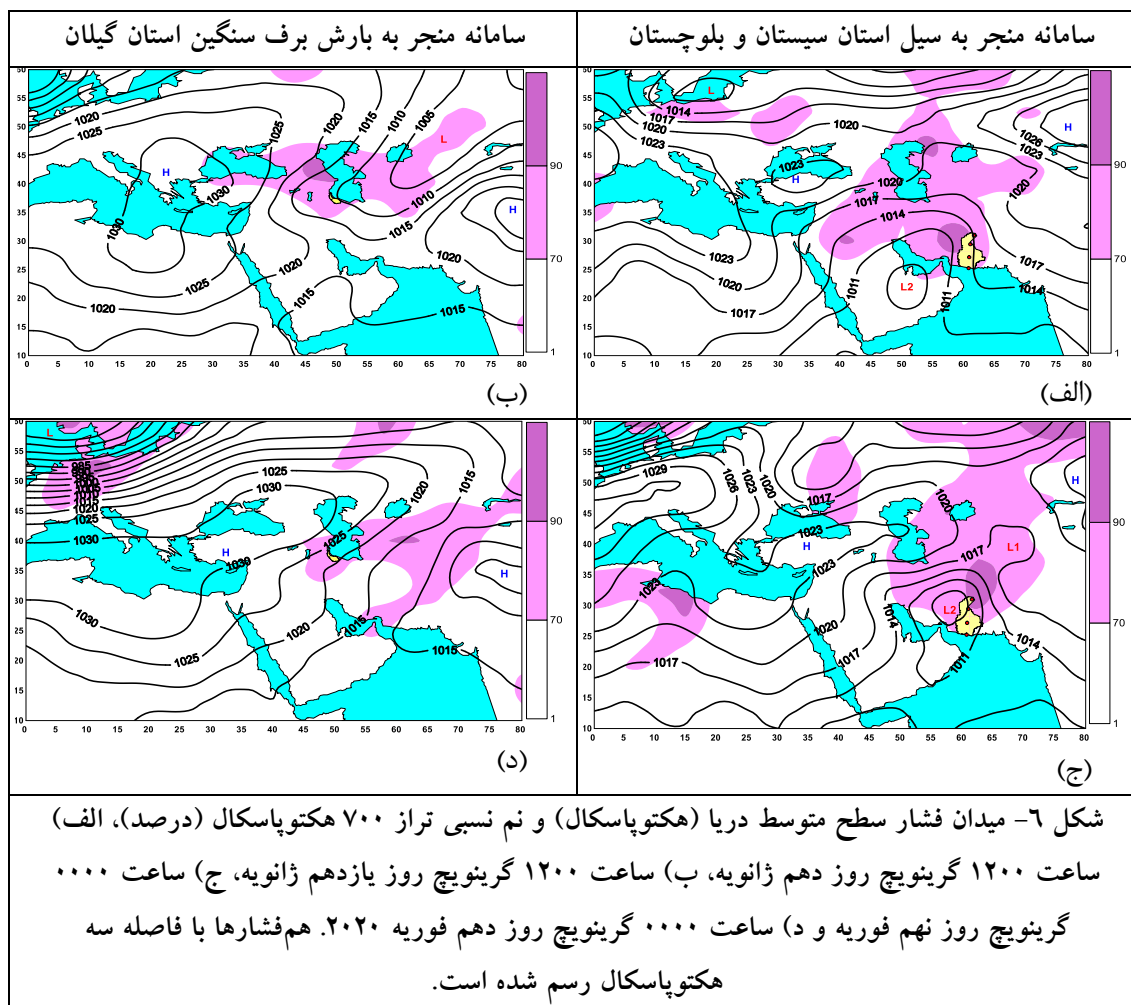
شکل ۴- گرته فرارفت تاوایی نسبی مثبت ($10^{-5} s^{-1} day^{-1}$) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ، الف) روز یازدهم ژانویه و ب) روز هشتم فوریه ۲۰۲۰.



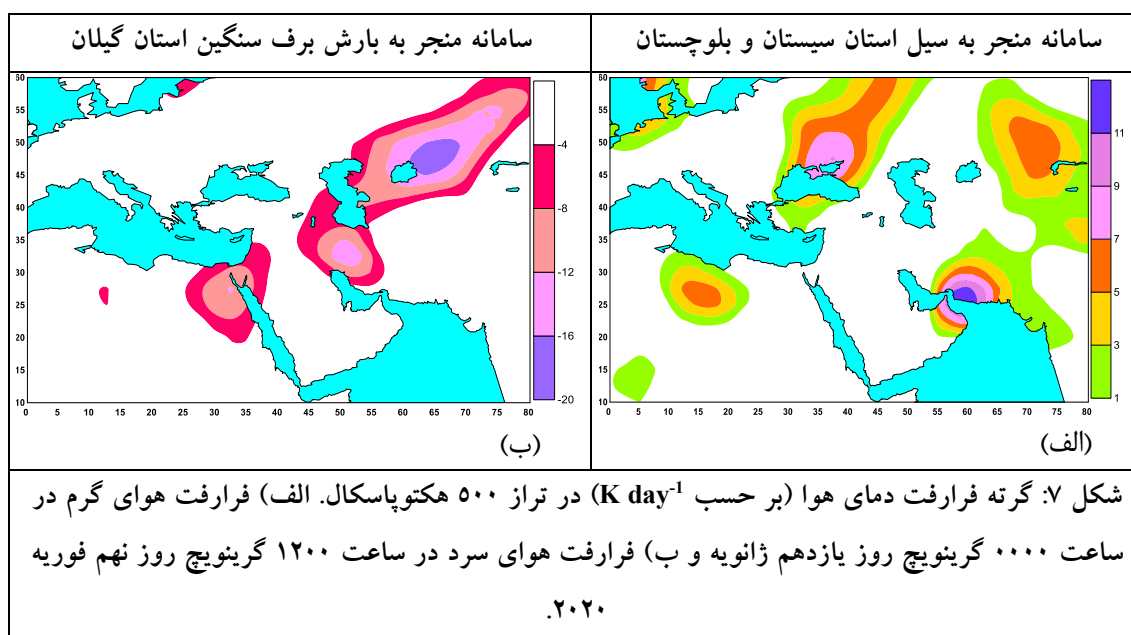
از بررسی میدان فشار متوسط دریا دیده می‌شود که در سامانه اولی یک ناوه فشاری در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است که به تدریج به دو بخش مجزای شمالی و جنوبی تبدیل می‌شود. هسته شمالی با عبور از غرب و مرکز ایران، به تدریج از شرق کشور خارج می‌شود و هسته جنوبی در جنوب شرق دریای سرخ با بخش شمالی ناوه فشاری وارون دریای سرخ ترکیب می‌شود. این هسته به صورت یک مرکز کم‌فشار بسته به جنوب خلیج فارس جابجا می‌شود و ناوه آن با عبور از روی خلیج فارس، به مناطق جنوبی استان فارس امتداد می‌یابد. استان هرمزگان و نیمه غربی استان سیستان و بلوچستان در این ساعت تحت تأثیر جریان‌های جنوبی بخش شرقی این کم‌فشار قرار گرفته است. نفوذ پشته فشاری روی اروپا به شرق دریای مدیترانه سبب شده است که یک مرکز پرفشار در روی دریای سیاه ایجاد شود و یک پشته فشاری نیز به غرب دریای سرخ امتداد یابد (شکل ۶-الف). مرکز کم‌فشار فوق به شمال تنگه هرمز حرکت کرده و دو ناوه شمالی و جنوبی آن به ترتیب به سوی شمال‌شرق و جنوب ایران امتداد یافته است. استان‌های هرمزگان و کرمان تحت تأثیر این کم‌فشار قرار گرفته و استان سیستان و بلوچستان تحت تأثیر جریان‌های جنوبی این سامانه است (شکل ۶-ب). مقدار نم نسبی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در این حالت موردی در شرق و جنوب شرق ایران بیشتر است. بررسی میدان فشار در سامانه دومی نیز نشان می‌دهد که یک ناوه فشاری از مرکز کم‌فشار واقع در شمال دریای خزر، در راستای نصف‌النهاری به سوی جنوب دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه امتداد یافته است. این ناوه فشاری استان‌های ساحلی دریای خزر را تحت تأثیر قرار داده و هوای گرم را بر این نواحی حاکم کرده است. دو مرکز پرفشار نیز در طرفین این سامانه فشاری قرار گرفته است که مرکز یکی از آن‌ها در روی اروپا و مرکز دیگری در جنوب دریاچه بالخاش قرار دارد. پشته فشاری ناشی از مرکز پرفشار روی اروپا تا جنوب دریای مدیترانه امتداد یافته است و پشته فشاری ناشی از مرکز پرفشار روی جنوب دریاچه بالخاش نیز، شرق و جنوب‌شرق ایران را تحت تأثیر قرار داده است. به تدریج که ناوه فشاری به سوی شرق حرکت می‌کند، به سبب

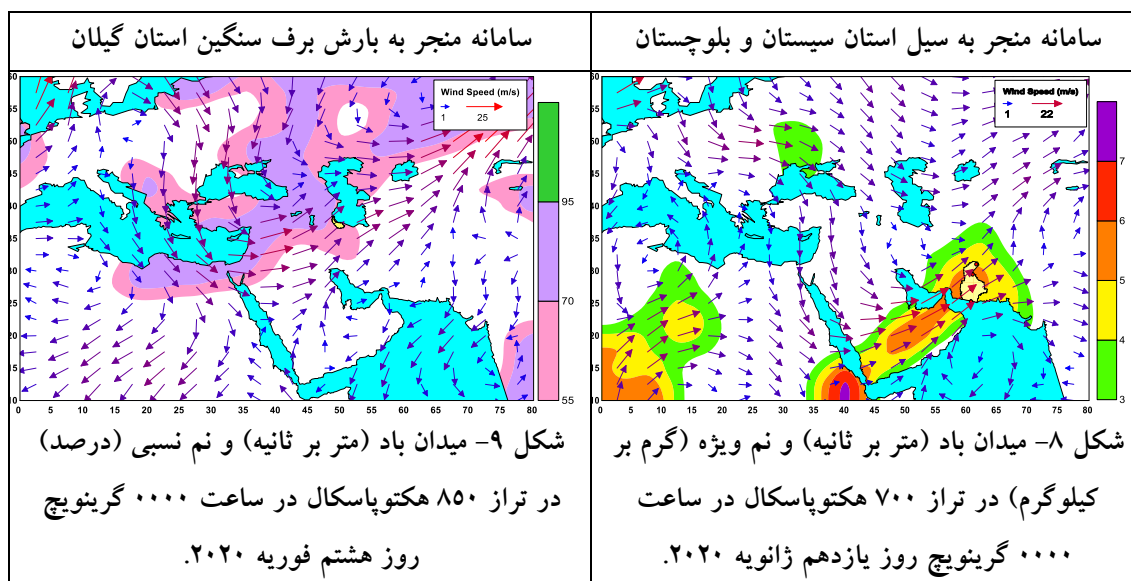
اختلاف سرعت آن در بخش‌های شمالی و جنوبی، محور ناوه در راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب کج می‌شود و خط مورب ناوه در سواحل دریای خزر قرار می‌گیرد (شکل ۶-ج). این سازوکار سبب می‌شود تا جریان‌های شمال‌شرقی، هوای سرد عرض‌های جغرافیایی بالاتر را به سواحل دریای خزر منتقل کنند. به تدریج محور ناوه از منطقه مطالعاتی عبور می‌کند و پشته فشاری ناشی از پرفشار مدیترانه نیمه غربی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نم نسبی تراز زیرین وردسپهر در این حالت در روی دریای خزر بیشتر از مناطق دیگر کشور است (شکل ۶-د).

بررسی کمیت‌های فوق نشان داد که هر دو سامانه تحت بررسی، مطابق با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های فشاری عرض‌های میانی توسعه یافته‌اند و از نظر ساختاری تفاوتی با هم ندارند. هر دو سامانه هسته سردی دارند ولی محل تشکیل و منطقه تحت تأثیر فعالیت بارشی آن‌ها با هم متفاوت است. این بررسی با نظر پژوهشگرانی که سامانه‌های فشاری که از جنوب وارد ایران می‌شوند را کم‌فشار گرمایی می‌دانند، متفاوت است.



در سامانه اولی، بیشینه مقدار فرارفت هوای گرم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با باد این تراز، در غرب استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (شکل ۷-الف) در حالیکه در سامانه دومی، بیشینه مقدار فرارفت هوای سرد در غرب دریای خزر ایجاد شده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم به منطقه تحت تأثیر ناوه که دارای هوای سردی است، سبب شده است تا تضاد دمائی در منطقه تحت تأثیر، شدت یابد. در سامانه دوم که هسته سردی دارد، فرارفت هوای سرد سبب تشدید فعالیت سامانه سرد شده است (شکل ۷-ب) و شرایط را برای ریزش بارش برف فراهم نموده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم، در سامانه دومی نیز فرارفت هوای سرد و عبور آن از روی آبهای دریای خزر، سبب افزایش انرژی گرمائی در لایه‌های زیرین شده است و شرایط همرفت را آسانتر کرده است. نم نسبی دو سامانه فوق از دو منبع مجزا تأمین شده است. این کمیت در سامانه اولی از تبخیر سطحی آبهای گرم دریای عمان و عرض‌های جنوبی انتقال یافته است (شکل ۸) و در سامانه دوم بخار آب موجود در دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای خزر به درون سامانه منتقل شده است (شکل ۹).





۴- جمع بندی

در این تحقیق، نحوه فعالیت دو سامانه بارشی مختلف که در جنوب و شمال ایران با ایجاد به ترتیب سیل و برف سنگین مناطق مختلف استان‌های سیستان و بلوچستان و گیلان را تحت تأثیر قرار داده بود، بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در هر دو سامانه تحت بررسی، تقویت ناوه ارتفاع تراز میانی، ایجاد حرکت چرخندی و فرارفت تاوایی نسبی مثبت در شرق ناوه، وجود همگرایی در سطوح پایین، ایجاد یا تقویت کم فشار در سطح زمین در موقعیت شرق ناوه، در تشکیل و تقویت این دو سامانه بارشی که هر دو هسته سردی دارند، نقش اصلی را برعهده داشتند. این سازوکارها با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های کم فشار عرض‌های میانی هماهنگ است. آنچه این دو سامانه را از هم تفکیک کرده، نحوه تقویت و حرکت آنهاست که به‌طور کوتاه به آن‌ها اشاره می‌شود. جریان شمالی که در اثر تغییر نصف النهاری جت قطبی ایجاد شده است، در سامانه اولی تداوم بیشتری دارد. سرعت باد نیز در این جریان‌ها بیشتر است. این شرایط سبب شده است تا انحناء چرخندی ایجاد شده در محور جت جنب حاره‌ای، در سامانه اولی بیشتر شود و به سوی جنوب نیز امتداد یابد. در سامانه اولی این انحناء در شرق دریای سرخ و در سامانه دومی در شمال شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است. زاویه بین محور ناوه ارتفاع تراز میانی و خط افق در سامانه اولی بیشتر است و این ناوه به عرض‌های جنوبی‌تر امتداد یافته است. پس در این حالت، کم فشار سطح زمین در عرض‌های پایین‌تر تشکیل و تقویت شده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم و مرطوب از عرض‌های جنوبی و آب‌های دریای عرب و دریای عمان سبب افزایش انرژی گرمایی شده است و شرایط مناسبی را برای بارش‌های همرفتی فراهم ساخته است. در سامانه دوم، فرارفت هوای سرد عرض‌های شمالی سبب تقویت کم فشار بریده و

افزایش حرکت چرخندی شده است. انتقال رطوبت مناسب از روی آب‌های گرم دریای خزر، دریای سیاه و دریای مدیترانه به درون سامانه نیز شرایط ریزش برف سنگین را فراهم کرده است.

کتابنامه

- احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیر ماه ۱۳۹۴ شمال ایران. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. شماره ۳۴. صفحه ۸۳-۱۰۴.
- خالدی، شهریار؛ کمالی، سمیه؛ محمدی، فهیمه؛ ۱۳۹۶. بررسی همدیدی برف سنگین جلگه گیلان در بهمن ۱۳۹۲. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. شماره ۱۴. صفحه ۳۵-۴۶.
- راستگو، زهرا؛ رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ ۱۳۹۷. مطالعه بارش‌های شدید و حدی استان بوشهر از دیدگاه همدیدی-دینامیکی. *مجله هواشناسی و علوم جو*. شماره ۱. صفحه ۷۷-۹۶.
- رضائی، پرویز؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ جعفرزاده، علیرضا؛ ۱۳۸۹. روند بارش برف در جلگه مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن. *مجله چشم‌انداز جغرافیایی*. شماره ۱۲. صفحه ۴۷-۶۱.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ تاجبخش، سحر؛ مرادی، محمد؛ ۱۳۹۷. مطالعه بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان. *نشریه هواشناسی و علوم جو*. شماره ۲. صفحه ۱۷۶-۱۶۳.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ سوری، معصومه؛ ۱۳۹۶. مطالعه بی‌هنجاری گردش‌های جوی همراه شده با فعالیت نوسان مادن-جولین و بارش زمستانه ایران. *مجله ژئوفیزیک*. شماره ۱. صفحه ۴۹-۶۵.
- غفاریان، پروین؛ پگاه‌فر، نفیسه؛ اولاد، الهه؛ ۱۳۹۴. الگوهای جوی بزرگ مقیاس و همدیدی برف‌های سنگین استان گیلان. *مجله علمی ترویجی نیوار*. شماره ۸۸-۸۹. صفحه ۳-۱۴.
- فهیمی نژاد، الهام؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی و فضایی توفان برف استان گیلان (فوریه ۲۰۰۵). *نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره ۱۹. صفحه ۳۰۲-۲۸۱.
- قائد امینی اسدآبادی، حبیب‌الله؛ ناظم‌السادات، سید محمد جعفر؛ ۱۳۹۱. ارزیابی نشان پدیده نوسان‌های مان-جولیان بر رخداد بارش‌های روزانه استان‌های سیستان و بلوچستان و فارس. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ۶. صفحه ۱۳۷۲-۱۳۸۳.
- مرادی، محمد؛ ۱۳۹۷. بررسی دوره برگشت سریع‌ترین باد سالانه در ایستگاه بوشهر. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. شماره ۳۶. صفحه ۳۱-۴۲.
- معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی؛ ذوالفقاری، حسن؛ یاراحمدی، داریوش؛ ۱۳۹۲. تعیین سهم بارش‌های همرفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۳۱. صفحه ۲۴۵-۲۲۷.

مومن پور، فروغ؛ نگاه، سمانه؛ هادی نژاد صبوری، شبنم؛ مجتهدی، نیما؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ ۱۳۹۳. واکاوی سازوکار رخداد مخاطره برف‌های سنگین جلگه گیلان در نیم سده اخیر. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۹. صفحه ۱۷-۳۶.

ورشایان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نوذر؛ حجام، سهراب؛ ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. شماره ۱. صفحه ۱۷۹-۱۶۹.

- Alexander, L.V. and Co 23-authors., 2006. Global observed change in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J.Geophys.Res.*111: 1-22.
- Changnon, S. A. and Changnon, D., 2005. Snowstorm catastrophes in the United States. *Global Environmental Change Part B, Environmental Hazards*. 6(3): 158-166.
- Chen, C.S., Lin, Y.L., Hsu, N.N., Liu, C.L., Chen, C.Y., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the Post-Mei-Yu season. *Atmos. Res.* 101:595-610.
- Chen, C.S., Lin, Y.L., Zeng, H.T., Chen, C.Y., Liu, C.L., 2013. Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season. *Atmos. Res.* 122:310-335.
- Chen, C.Y., Y.L. Chen, C.S. Chen, P.L. Lin, and C.L. Liu., 2013. Revisiting the heavy rainfall event over northern Taiwan on 3 June 1984. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.* 24: 999-1020,
- Chen, Y.L., Ghu, Y.J., Chen, C.S., Tu, C.C., Teng, J.H. and Lin, P.L., 2018. Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event over Northern Taiwan during 11-12 June 2012. *Monthly Weather Review*. 146:2715-2697.
- Kawase H., Sasai T., Yamazaki T., Ito R., Dairaku K., Sugimoto S., Sasaki H., Murata A., Nosaka M., 2018. Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *J Meteor Soc Japan*. 96:161-178.
- Kawase, H., Murata, A., Mizuta, R., Sasaki, H., Nosaka, M., Ishii, M. and takayabu, I., 2016. Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. *Climatic Change*. 139: 265-278.
- Kawase, H., Yamazaki, T., Sugimoto, S., Sasai, T., Ito, R., Hamada, T., Kuribayashi, M., Fujita, M., Murata, A., Nosaka, M. and Sasaki, H., 2020. Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*. 7 :2-17.
- Lopez-Moreno, J.I., Goyette, S., Vicente-Serrano, S.M. and Beniston, M., 2011. Effects of climate change on the intensity and frequency of heavy snowfall events in the Pyrenees. *Climatic Change*. 105:489-508.
- Matlik, O. and Post, P., 2008. Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961-2005. *Estonian Journal of Engineering*. 14(3):195-208.

Investigating Patterns of Severe Air Pollution in the Lower Tropospheric Layer of Tehran Metropolis

Hassan Lashkari ^{a*}, Ghasem Keikhosravi ^b, Neda Karimian ^c

^a Associate Professor of climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b Assistant Professor Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^c Synoptic climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 10 June 2020

Revise: 15 September 2020

Accepted: 26 September 2020

Abstract

Air pollution is now a major problem in Tehran's metropolis, which threatens the health of its citizens more than anything else. The purpose of this study was to introduce frequent and common synoptic patterns in the incidence of severe and critical pollution in Tehran. For this purpose, air pollution data were first obtained from Tehran Air Quality Control Bureau (2007-2017) and then hazardous days were identified based on AQI index at each of the stations. The rest of the NCEP / NCAR database reassessment data was obtained with a spatial resolution of 2.5 at 2.5 ° for sea level, 1000, 925,850 and 700 hp. After delineating a synoptic map of the above alignments, multiple dominant and repetitive synoptic patterns have been identified and analyzed by repeated eye examinations. During the statistical period, 157 days of severe and dangerous contamination were identified. Among the pollutants affecting Tehran, the most pollutants are PM10, PM2/5 and NO2. An in-depth examination of 5 synoptic patterns revealed severe contamination: Patterns of European immigrant high-pressure, Siberian high-pressure, mixture of Siberia and Saudi high pressure, and Pakistani low pressure. In a pattern commonly occurring during warm-weather pollutions, low-pressure Pakistan played the most important role in producing severe winds in the deserts surrounding Tehran, with the most pollutants being PM10 and PM2.5. The second pattern is caused by the cold season pollutions. In the model, the Siberian high pressure in the lower tropospheric layer (below 850 hPa) with cold advection was the main cause of stability and accumulation of pollutants and at higher levels of the Arabian high pressure stack, while intensifying stability and persistence of atmospheric conditions. In this model, cold-weather stability dominates the city of Tehran. In the third dominant pattern of high pressure Saudi Arabia and its tablets in all atmospheric layers cause very strong stability and persistence of pollution and air stability. In this model, due to the dynamic nature of the system, despite the stability, the air temperature gradually increases and conditions are quite different from the seasonal conditions.

Keywords: Severe pollution, Air Quality Index, Boundary Layer, Synoptic patterns, Tehran

*. Corresponding author: Hassan Lashkari.

E-mail: Dr_lashkari@sbu.ac.ir

Tel: + 09123273715

Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City

Masoume Darmani ^a, Haydeh Ara ^{b*}, Alireza Rashki ^c, Abradat Mafi ^e

^a PhD Candidate in Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University

^b Assistant Professor, Department of Arid and Desert, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

^c Associate Professor, Department of Faculty of Natural Resources and Environment Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

^e Employee of Northeast Geological and Mineral Exploration Organization, Instructor, Mashhad, Iran

Received: 28 July 2020

Revise: 14 September 2020

Accepted: 06 October 2020

Abstract

The city of Sarakhs is located in Khorasan Razavi province, the northeast of Iran and has a dry and desert climate. Although this city has no problem in the field of gaseous pollutants, but dust causes more unhealthy days than before. The purpose of this study was to investigate the physical and chemical properties, identify dust particles minerals over Sarakhs city and identify sources of dust storms. Spatial repetition of dry particle sedimentation has taken place during the summer and autumn seasons of 2019. This study was performed on fine round particles with a size of less than 10 micrometers at a height of 2-4 meters above the ground. Using Inductively Coupled Plasma (ICP) and XRD, metals and minerals of dust particles were identified and, then, using Scanning Electron Microscope (SEM) and Particles Size Analysis (PSA), particle shape and size were determined. According to the results, metals Ca, Al, Na, Fe, S, Ti, Ba, Mg, Zn, and Sr have the highest concentrations of dust in designated villages. The study of dust particle mineralogy showed that the dust has a terrestrial origin and is very similar to the minerals in the dust of Sistan plain and Hamoon wetland. The highest concentrations of clay minerals are: Kaolinite, Chlorite, Quartz, Calcite Gypsum. Ca and Al with the highest concentration among soluble metals indicate the origin of dust in the region. Also for elements such as Sr, S, and Gypsum, an evaporative source can be considered. The high concentrations of toxic and chemical elements including As, Pb, and Zn can be attributed to Khangiran refinery. Therefore, dust in Sarakhs region has three sources of local origin, evaporation and chemical.

Keywords: Fine Dust, Physical and Chemical Characterization, Sarakhs, SEM, XRD

*. Corresponding author: Haydeh Ara.

E-mail: ara338@semnan.ac.ir

Tel: +9809122457310

Earthquake Damage Estimation using Radius Model in GIS Environment (Case Study: Sari City, Mazandaran Province)

Mahdi Modiri ^a, Mohammad Eskandari ^b, Samira Hasanzadeh^{c*}

^a Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

^b PhD in GIS (Geographic Information System), Department of Civil Engineering Surveying, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

^c PhD Candidate in Crisis Management, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Receive: 17 June 2020

Revise: 14 September 2020

Accept: 13 October 2020

Abstract

The geographical distribution of earthquakes shows that almost the entire territory of Iran is at risk of earthquakes and is potentially unsafe. In the last 40 years, a number of devastating earthquakes have occurred in eastern, western, northern and southern Iran. The city of Sari is three and half kilometers away from this fault and 37.5 km away from the Alborz fault. Considering the existence of seismic faults in Mazandaran province, which can endanger the city of Sari, assessing its vulnerability using an appropriate model is necessary and unavoidable. The aim of this study was to evaluate the radius model to estimate the damage caused by earthquake in Sari. Two scenarios were considered with respect to the two faults of Khazar and northern Alborz to estimate the damage caused by a possible earthquake in the study area. Data analysis was performed according to database-based methods using the Radius model and software based on the geographic information system approach. The results showed that according to the Khazar fault scenario, 18910 buildings will be demolished, 2382 people will be killed, and 22897 people will be injured. According to the Alborz fault scenario, 3086 buildings will be demolished, 15 people will be killed and 2102 people will be injured. Due to the short distance between the Khazar fault and the study area, this fault causes the most damage to the region. The results of this study provide useful information for decision making in the city's seismic risk reduction plan.

Keywords: Damage, Earthquake, Radius Model, Geographic Information System, Sari City

*. Corresponding author: Samira Hasanzadeh. E-mail: s.hasanzadeh260@gmail.com Tel: +9809394692721

Assessment of Active Tectonic in Hable Roud and Kordan Basins using Geomorphic Indexes

Mehran Maghsoudi ^{a*}, Mansur Jafarbeglo ^a, Reza Jafari ^b

^a Associate Professor of Natural Geography, Geography College of University of Tehran

^b PhD Candidate of Geo Morphology, Geography College of University of Tehran

Receive: 04 June 2019

Revise: 29 October 2020

Accept: 09 December 2020

Abstract

Exploring active tectonics considering earthquake in different area is very important. These movements have effect on the earth and each one the effects is visible around us. This research aimed to analyze and compare the tectonic activities of two basins of Hable Roud and Kordan. In addition to field observations, 10m DEM, Landsat images, and softwares such as Arc GIS Global Mapper13 were applied to draw maps and analyze data. Applied indexes in this research were fan comicality index (FCI), width to valley height (Vf), drainage basin shape (BS), sinuosity of mountain fronts (Smf), index to assess basin asymmetry (T), drainage basin asymmetry (Af), river sinuosity index (S), and relative tectonic activity index (IAT). Through IAT, the whole outcome of tectonic activities by the above-mentioned indexes can be measured in tectonic regions. According to the IAT classification, both basins are active tectonically however the rate of tectonic activities in the Kordan basin is greater than in Hablerod basin. Active tectonic, according to IAT index in Kordan basin is assigned to class 1 and Hable Roud basin is assigned to class 2. According to IAT classification, new-tectogenesis activities is more in Kordan region rather than Hablerod region. Though this is a general conclusion, it emphasizes on the necessity of attention to morpho tectonic evidence. It also shows that such studies must be performed in all southern basins of Alborz Mountain and be compared with one another to have better understanding. The ideal research is the outcome of an applicable look on morpho tectonic indexes and morpho tectonic evidences via new methods as well.

Keywords: Active Tectonic, Geomorphic Indexes, Hable Roud, Kordan

*. Corresponding author: Mehran Maghsoudi.

E-mail: maghsoud@ut.ac.ir

Tel: +9809123906019

Seismic Vulnerability Zoning using the WASPAS Model and the Geographic Information System (Case Study: Urmia City)

Sara Beheshtifar ^{a*}, Sattar Sahraee ^b

^a Assistant Professor, Department of Surveying and Geomatics, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b MSc Student in Geodesy, Tabriz University.

Receive: 15 August 2020

Revise: 21 October 2020

Accept: 27 December 2020

Abstract

Earthquake is one of the natural disasters that due to its unpredictable time and place, causes great financial and life losses. Although earthquakes cannot be prevented, solutions such as zoning and identifying vulnerable regions can greatly mitigate their damages. The purpose of this study is to evaluate the vulnerability of various areas of Urmia City to earthquakes and produce its zoning map. In this regard, the effective factors including building materials, building quality and age, access to passages, slope, population density, number of floor, and proximity to health centers were identified and their relative importance was determined using the method of Analytic Hierarchy Process (AHP). The zoning maps were produced using GIS (Geographic Information Systems), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) and WS (Weighted Sum) models. The results of AHP method showed that the building quality and material were more important to regional vulnerability than the other criteria. The calculations required for running the model were carried out in MATLAB. GIS was applied to prepare input and output data and spatial analysis. After producing the final maps, the entire region was investigated in terms of sensitivity and divided into five classes, namely very high risk, high risk, moderate risk, low risk, and very low risk. The results of the WASPAS model shows that an estimated 21% of the entire region has a very high earthquake vulnerability. The comparison of the results obtained from the WASPAS method with WS method showed that in the WASPAS method, more areas have been identified as areas with very high vulnerability.

Keywords: Earthquake, Weighting, Zoning, WASPAS, GIS

*. Corresponding author: Sara Beheshtifar.

E-mail: Sara_Beheshtifar@yahoo.com

Tel: +9809901300410

Vulnerability Assessment of Cities to Earthquake based on the Catastrophe Theory: A Case Study of Varzeqan City, Iran

Parichehr Mesri Alamdari ^{a*}, Mansour Kheirizadeh Arough ^b

^a Assistant Professor in Climatology, Faculty of Social Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

^b PhD in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Receive: 03 August 2020

Revise: 20 December 2020

Accept: 26 December 2020

Abstract

The main purpose of the current study was to provide a methodological framework for quick and efficient assessment of the vulnerability of urban spaces to earthquake. Most of the variables affecting seismic vulnerability in cities are spatial in nature, so using a geographic information system for integration of these variables can lead to desirable results. However, one of the most important subjects in overlaying of layers in a geographic information system is the uncertainty in weighting and decision making. In this study, attempts were made to modify such uncertainties to a large extent using the functions of catastrophe theory. Using the mentioned approach makes the results of the model repeatable, which is a considerable advantage. Regarding the catastrophe theory, an attempt was made to present the basic equations of this model in a concise and simple way. Varzeqan city was selected for evaluating the seismic vulnerability based on the catastrophe theory. Approximately 21 percent of the total area of Varzeqan lies in the high and very high vulnerability classes. Given that the area of the city's built-up lands is about 32 percent, considerable percentage of these lands in the city is in high and very high vulnerability classes. Distribution of these zones is impressive, especially in the center of the city. These zones can be considered the most critical regions of Varzeqan. Unstable geological formations, high residential and population density, fine grained building, low quality buildings and lack of urban open spaces have caused this region to have severe vulnerability to earthquake.

Keywords: Seismic Vulnerability, Catastrophe Theory, Geographic Information System, Varzeqan

*. Corresponding author: Parichehr Mesri Alamdari. E-mail: p_mesry_a@yahoo.com Tel: +9809144113202

Modeling Wildfire Pathways in Forest-Grassland Ecotones in Golestan National Park

Roghayeh Jahdi ^{a*}, Mahdi Arabi ^b

^a Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardabil, Iran University of Mohaghegh Ardabili

^b Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Receive: 29 October 2020

Revise: 18 December 2020

Accept: 26 December 2020

Abstract

Modeling wildfire behavior can simplify the understanding of the relationship between fire and its environment, and allow managers to reconstruct or maintain the natural role of fire. In this study, the Minimum Travel Time algorithm in the FlamMap fire model was used to investigate the main pathways of fire growth and the burn probability as a measure of fire risk in the Golestan National Park in northeastern Iran. Based on the simulation output of the main fire pathways in the park, MTT vectors passed through the drier grassland fuels in the southern areas and then split into multiple vectors toward the eastern and northern parts of the park. Using the Chi-square test at the level of $P < 0.05$, the results indicated that the ecotone is a primary corridor for fire growth on the national park landscape. The estimated burn probability map also showed pronounced spatial variations within the national park. According to this map, the highest burn probability was observed in grasslands and ecotones in the southern part of the park at an altitude of 1500-2000 m. The central and western parts of the park are more resilient to fire, even in severe weather conditions. In this study, the forest-grassland ecotone is presented as an example of a natural ecosystem that can increase fire resiliency in this landscape by controlling the relationship between fire behavior and fuel mosaic. Identifying primary fire corridors can help land managers and decision-makers predict and adjust the temporal and spatial dynamics of natural fire regimes.

Keywords: Burn Probability, Fire Pathways, FlamMap MTT, Golestan National Park

*. Corresponding author: Roghayeh Jahdi.

E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.i

Tel: +9809112340249

Parameters Affecting Environmental Issues in Northwestern Iran (Case: Drying of Lake Urmia)

Mohsen Janparvar ^{a*}, Farid Abasi ^b, Elham Ghabasefidi ^c, Darya Mazandarani ^c

^a Assistant Professor in Political Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

^b MA in Political Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

^c MA Student in Political Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Receive: 21 May 2020

Revise: 14 September 2020

Accepted: 26 September 2020

Abstract

Environmental issues have great importance in the science of geography and among geographical experts because the foundations this field of science is based on environment. Environmental issues in Iran have grown significantly in recent decades and have overshadowed geographical spaces. The northwestern region of the country has a special situation because the water shortage of Lake Urmia has the potentiality of destroying the existing ecosystem in the future. The present study aimed at identifying the parameters affecting the drying of Lake Urmia and ranking them. The method used in this research is descriptive-analytical method. The data was gathered using questionnaire and library source and the obtained data were analyzed using SPSS software and T-test. The results showed that 44 parameters in human, natural and combined dimensions are involved in the drying of Lake Urmia. Among the human parameters that affect the drying of Lake Urmia, the parameters of disturbing the ecological conditions of the region and lack of attention to water resources management are so important. In natural parameters, change and decrease in rainfall, successive droughts are so important. Moreover, in combined parameters, changing the pattern of cultivation and production of water-rich crops and use of wetlands, regardless of the capacity of wetlands, are the most important factors in the drying of Lake Urmia.

Keywords: Environment, Northwest of Iran, Lake Urmia, Land

*. Corresponding author: Mohsen Janparvar

E-mail: janparvar@um.ac.ir

Tel: +989126508238

Assessing Vulnerability Level of Farmers against Drought resulted from Water Crisis in the Zayandeh Rud River (Case Study: Rural Areas, South Garkan, Mobarakeh County)

Jamshid Einalia ^{a*}, Mohammad Reza Shafiee ^b

^a Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

^b PhD Candidate, Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Receive: 21 July 2020

Revise: 14 September 2020

Accepted: 27 September 2020

Abstract

The purpose of this study was to investigate the vulnerability of farmers in the southern Garkan district township facing drought conditions caused by the water crisis of Zayandehrood River. The study tried to answer two questions: 1. how vulnerable are farmers to drought caused by the Zayandehrood water crisis in economic, social and environmental dimensions in the studied villages? 2. What is the level of farmers' awareness of solutions to drought? The statistical population of the study is the farmers of the villages of the Southern Garkan district, which in 2016 amounted to 2027 person, of which 178 cases were selected as a sample using the Cochran's formula. The validity of the research instrument was confirmed by experts and the reliability of the items with Cronbach's alpha was equal to 0.85. The required data were collected using a questionnaire and analyzed by statistical tests (Spearman correlation, Chi-square, one-sample t-test and Friedman) and hierarchical analysis technique. The results showed that increasing production costs, increasing psychological stress and falling groundwater levels were respectively as the most important economic, social and environmental damages due to the Zayandehrood water crisis in the region. According to the results of one-sample T-test and Friedman test, socio-psychological injuries have caused the most damage to farmers. A survey of farmers' awareness of drought management methods showed that knowledge of "ways to reduce water loss" is stronger than all other indicators. The results of hierarchical analysis from the perspective of experts showed that the most effective strategy to deal with drought in the region is "irrigation technical solutions".

Keywords: Vulnerability, Drought, Strategy, Environmental, Crisis

*. Corresponding author: Jamshid Einalia.

E-mail: einalia@znu.ac.ir

Tel: +98 0912597176

Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City)

Mohammad Abiyat ^a, Sina Attar Roshan ^{b*}, Mahmud Abiyat ^c

^a MSc in Natural Resources Engineering, Environment (Land Use Planning and Assessment), Islamic Azad, Science and Research Tehran (Khouzestan), Ahvaz, Iran

^b Assistant Professor in Environment Department, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

^c MSc in Geography and Rural Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Receive: 11 October 2020

Revise: 10 November 2020

Accept: 20 December 2020

Abstract

Monitoring land use and vegetation changes plays an important role in urban management. The purpose of this study was to investigate the changes in vegetation cover of Ahvaz metropolis pertaining to land use changes. First, satellite imagery was prepared through object-oriented vector machine-based algorithm, classified method, and land use maps. To increase the accuracy of the maps, three normalized indices of vegetation difference, soil effect modifier and relative vegetation were used separately in the classification. The results showed that soil effect modifier index had higher capability and its maps with the highest kappa coefficients and overall accuracy were entered into land change modeling to detect changes. Changes in the next 10 years were also predicted using the Markov chain automated cell model. The results of the changes showed that the vegetation has a decreasing trend, so that 1339.65 hectares the vegetation in the period 1989-1989 and 1860.50 hectares in the period 2019-2002, have reduced. The most changes are related to the conversion of vegetation into man-made areas with 686.44 hectares in the period 1989-1989 and 1032.51 hectares in the period 2019-2002. The least changes are related to the conversion of vegetation into water areas with 7.18 hectares in the period 1989-2009 and 9.33 hectares in the period 2019-2002. The results of forecasting changes by 2029 also confirmed the reduction of vegetation. In 10 years, 785.77 hectares of vegetation will be reduced and the area will reach 2923.24 hectares.

Keywords: Vegetation, Object-Oriented, Land Change Modeling, Markov Chain, Ahvaz

*. Corresponding author: Sina Attar Roshan E-mail: sina_2934@yahoo.com Tel: +989164090040

Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City)

Kamran Ganji^a, Saeid Gharechelou^{b*}, Ahmad Ahmadi^c

^a MSc in Water and Hydraulic Structures, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

^b Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

^c Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Receive: 22 August 2020

Revise: 25 October 2020

Accept: 21 November 2020

Abstract

Urban rivers are of the most important reasons for flood inundation in cities. This study aimed to investigate the morphological effects of the Gorganrood River in Aq' Qala City in a case of flood inundation on March 2019. The images of Sentinel-2 and Landsat-8 were downloaded for full flood monitoring. After preprocessing, the NDWI and MNDWI indices were applied on the images to extract the flood zones. The sinuosity index and the number and mean radius of meanders were calculated from Sallaq Yilqi village to Dogonchi village using Google Earth and AutoCAD. The NDWI index was appropriate to detect the permanent and clear waters, while the MNDWI index was appropriate to detect the muddy waters and high humidity terrains. The area of flooded zones which obtained from the MNDWI index was 88% more than those of NDWI index. The sinuosity index was 3.88 (sever meander) in the district of the Sallaq Yilqi village to the Yampi village. Destruction outer arc meanders and low radius of meanders and erosion of soils in upstream were caused overflow the flood in the Gorganrood channel. On the 20th March due to low channel width and very-low gradient of bed river (0.0002) from the Aq Tekeh Khan village to the Dogonchi village were caused slow velocity of flood stream, therefore the water level was raised and the city of Aq' Qala were flooded. According to the flood maps obtained, the northern and southern of the Aq' Qala city located at high-risk zone. Canalization of outer meanders curvature, planting the absorbent vegetation around the quantitative buffer zone of the Gorganrood river, widening and dredging the channel and modifying structure of channel on the northern plains of Gorganrood River can be prevented from flooding over the Aq' Qala city.

Keywords: Aq' Qala, Flood zoning, Gorganrood River, Remote sensing, NDWI, Morphology

*. Corresponding Author: Saeid Gharechelou Email: sgharachelo@shahroodut.ac.ir Tel:023 32300259

A Synoptic-Dynamic Investigation of the Flood in Sistan and Baluchestan and the Heavy Snowfall in Gilan in winter 2020

Mohammad Moradi ^{a*}, Abbas Ranjbar Saadat Abadi ^a

^a Associate Professor in Atmospheric Science and Meteorological Research (AS MERC), Tehran, Iran

Receive: 22 October 2020

Revise: 10 December 2020

Accept: 16 December 2020

Abstract

A synoptic perspective was adopted in this study to investigate two winter precipitation systems that caused a flood in Sistan and Baluchestan and a heavy snowfall in Gilan in January 9-12 and February 9-12, 2020, respectively. The results demonstrated that although different in shape, both systems were cold-core and similar in their formation and strengthening. Amplification of the mid-level trough, formation of cyclonic rotation, positive relative vorticity advection to the east of the trough, convergence in lower levels, and formation or strengthening of low-pressure at the Earth's surface to the east of the trough, played the key role in developing and strengthening these two systems. These mechanisms are consistent with the theory of development and strengthening of mid-latitude low-pressure systems. A noticeable difference between these two systems is the continuity and increasing speed of the north wind in the first system, caused by the meridional shift in the polar jet stream. These conditions have caused the cyclonic curvature formed in the subtropical jet stream axis in the first system to be increase and extended to the south. These curvatures are located to the east of the Red Sea in the first system and northeast of the Mediterranean Sea in the second system. Also, in the first system, the advection of warm moist air from the Arabian Sea and the Gulf of Oman, and in the second system, the advection of cold air from the Caspian Sea have provided suitable conditions for convectional rainfall and heavy snowfall, respectively.

Keywords: Heavy Snowfall in Gilan, Flooding in Sistan and Baluchestan, Cut-off Low

*. Corresponding author: Mohammad Moradi. E-mail: moradim36@gmail.com Tel: +9809124237954

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)
VOLUME 9, NO 35, Fall 2020



CONTENTS

- **Investigating Patterns of Severe Air Pollution in the Lower Tropospheric Layer of Tehran Metropolis** 1
Hassan Lashkari, Ghasem Keikhosravi, Neda Karimian
- **Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City** 2
Masoume Darmani, Haydeh Ara, Alireza Rashki, Abradat Mafi
- **Earthquake Damage Estimation using Radius Model in GIS Environment (Case Study: Sari City, Mazandaran Province)** 3
Mahdi Modiri, Mohammad Eskandari, Samira Hasanzadeh
- **Assessment of Active Tectonic in Hable Roud and Kordan Basins using Geomorphic Indexes** 4
Mehran Maghsoudi, Mansur Jafarbeglo, Reza Jafari
- **Seismic Vulnerability Zoning using the WASPAS Model and the Geographic Information System (Case Study: Urmia City)** 5
Sara Beheshtifar, Sattar Sahraee
- **Vulnerability Assessment of Cities to Earthquake based on the Catastrophe Theory: A Case Study of Varzeqan City, Iran** 6
Parichehr Mesri Alamdari, Mansour Kheirizadeh Arough
- **Modeling Wildfire Pathways in Forest-Grassland Ecotones in Golestan National Park** 7
Roghayeh Jahdi, Mahdi Arabi
- **Parameters Affecting Environmental Issues in Northwestern Iran (Case: Drying of Lake Urmia)** 8
Mohsen Janparvar, Farid Abasi, Elham Ghabasefidi, Darya Mazandarani
- **Assessing Vulnerability Level of Farmers against Drought resulted from Water Crisis in the Zayandeh Rud River (Case Study: Rural Areas, South Garkan, Mobarakeh County)** 9
Jamshid Einalia, Mohammad Reza Shafiee
- **Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City)** 10
Mohammad Abiyat, Sina Attar Roshan, Mahmud Abiyat
- **Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City)** 11
Kamran Ganji, Saeid Gharechelou, Ahmad Ahmadi
- **A Synoptic-Dynamic Investigation of the Flood in Sistan and Baluchestan and the Heavy Snowfall in Gilan in winter 2020** 12
Mohammad Moradi, Abbas Ranjbar Saadat Abadi

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Editor – in – Chief:

Professor M. R. Rahnama

*Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.*

Executive Coordinator :

Sayyed Mohammad Ali Moosavi

English Language Editor:

Abdullah Nowruzy

Director:

Dr. S. R. Hosseinzadeh

*Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran.*

Managing Editor:

Dr.Neda Mohseni

Editorial Board:**Professor V. R. Baker**

*Department of Hydrology and Water Resources,
University of Arizona, Tucson, USA.*

Dr.B Feizizadeh

*Department of Geography, Letters and Humanities
University of Tabriz*

Professor Z. B. Hejazizadeh

*Department of Geoghraphy,
University of Alkharazmi, Tehran, Iran.*

Dr. S. R. Hoseinzadeh

*Department of Geography,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

Proffesor 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.*

Professor H. Shayan

*Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran.*

Dr. Sh. Shataee Joybari

*Department of forest sciences
University of Gorgan, Gorgan,
Iran.*

Professor S. Velayati

*Department of Geography
Ferdowsi University of Mashhad,
Mashhad, Iran.*

Professor M. Yamani

*Department of Physical Geography,
University of Tehran, Tehran, Iran.*

Geography and Environmental Hazards (ISSN:2322-1682) is published four times a year in June, September, December and March by Ferdowsi University of Mashhad, Postal Code 9177948883, mashhad-Iran, tel: +98(0) 5138805273

Fax: +98(0) 51 38794144 E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website : <http://geoeh.um.ac.ir>

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Notes For Contributors

AIMS AND SCOPE

Geography and environmental Hazards is an Iranian Interdisciplinary research journal devoted to the publication of original scientific and technical papers in natural and technological hazards. The subjects include of full rang of Hazardous events from extreme Geological, Geomorphological, Hydrological, Atmospheric and Biological events such as earthquakes, subsidence, floods, debris flows, landslids, storms, desertification, air pollution and epidemics to technological Impacts and Human malifunction such as industrial explosions, fires, nuclear and toxic waste releases.

With an approach to Geography this journal highlightes issues of Geographically risk degree of regions, human exposure, vulnerability, awareness, respons to disasters and planning.

The role of hazards in affecting development process particularly in under development countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

NOTES FOR CONTRIBUTORS

Geography and Environmental Hazards is a bilingual Journal in Persian and English languages. Persian authors with papers in their own language must submit an extended abstract in English. authors with English papers must submit the initial electronic manuscript to one of the following Addresses:

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

Journal Email: geo.eh@um.ac.ir

The initial manuscript must be sent in two separate files, **word** and **pdf** form.

Manuscript Style

All submissions must be printed on A4 paper size, be double- line spaced and have a margin of 3.5 cm all round.

Illustrations and tables must be printed on separate sheets and not be incorporated into the text.

Title Page must list full title, short title, names and affiliations of author(s), and full address of each author. The precise mailing address, Telephon, Fax, and Email address of the corresponding author.

Supply an abstract of up to 300 words and a keyword list up to 6 words below the abstract. The abstract should precise the paper, giving a clear indication of Its conclusions. It should contain no citation to other published works.

Reference Style

References should be presented in the text as name of author and year within brackets and listeted at the end of the paper alphabetically. All references in the reference list should appear in the text.

Where reference is made to more than one work by the same author published in the same year, identify each citation in the text as follows: (Baker, 1987 a), (Baker 1987b). Where three or more outhors are listed in the reference list, cite in the text as (Baker et al 1998) References should be listed in the following style:

- **Journals:** Baker, V.R., 1994. Geomorphological understanding of floods. *Geomorphology* 10, 139–156.

- **Books:** Huggett, R., 1989. *Cataclysms and Earth history: the Development of Diluvialism*. Clarendon Press, Oxford, 220 pp.

- **Proceedings:** Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood Hydrology. In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Lavish, D.R. (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. Water Science and Application, vol. 5. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1–19.

Illustrations must relate clearly to the section in which appear and sholud be referred to in the text as **figure 1. figure 2**, etc. Illustrations should be supplied as **JPEG** or **TIFF** files, the filename must include the corresponding author, Surname and figure number. This journal is only greyscale so All figures (**Maps, graphs and pictures**) must be comprehensible in black and white, please use patterns to differentiate sections.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents (Abstracts)

VOLUME 9, NO 35, Fall 2020

Pages

- **Investigating Patterns of Severe Air Pollution in the Lower Tropospheric Layer of Tehran Metropolis** 1
Hassan Lashkari, Ghasem Keikhosravi, Neda Karimian
- **Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City** 2
Masoume Darmani, Haydeh Ara, Alireza Rashki, Abradat Mafi
- **Earthquake Damage Estimation using Radius Model in GIS Environment (Case Study: Sari City, Mazandaran Province)** 3
Mahdi Modiri, Mohammad Eskandari, Samira Hasanzadeh
- **Assessment of Active Tectonic in Hable Roud and Kordan Basins using Geomorphic Indexes** 4
Mehran Maghsoudi, Mansur Jafarbeglo, Reza Jafari
- **Seismic Vulnerability Zoning using the WASPAS Model and the Geographic Information System (Case Study: Urmia City)** 5
Sara Beheshtifar, Sattar Sahraee
- **Vulnerability Assessment of Cities to Earthquake based on the Catastrophe Theory: A Case Study of Varzeqan City, Iran** 6
Parichehr Mesri Alamdari, Mansour Kheirizadeh Arough
- **Modeling Wildfire Pathways in Forest-Grassland Ecotones in Golestan National Park** 7
Roghayeh Jahdi, Mahdi Arabi
- **Parameters Affecting Environmental Issues in Northwestern Iran (Case: Drying of Lake Urmia)** 8
Mohsen Janparvar, Farid Abasi, Elham Ghabasefidi, Darya Mazandarani
- **Assessing Vulnerability Level of Farmers against Drought resulted from Water Crisis in the Zayandeh Rud River (Case Study: Rural Areas, South Garkan, Mobarakeh County)** 9
Jamshid Einalia, Mohammad Reza Shafiee
- **Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City)** 10
Mohammad Abiyat, Sina Attar Roshan, Mahmud Abiyat
- **Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City)** 11
Kamran Ganji, Saeid Gharechelou, Ahmad Ahmadi
- **A Synoptic-Dynamic Investigation of the Flood in Sistan and Baluchestan and the Heavy Snowfall in Gilan in winter 2020** 12
Mohammad Moradi, Abbas Ranjbar Saadat Abadi



JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS



Research Journal

Volume. 9, No. 35, Fall 2020

- **Investigating Patterns of Severe Air Pollution in the Lower Tropospheric Layer of Tehran Metropolis**
Hassan Lashkari, Ghasem Keikhosravi, Neda Karimian
- **Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City**
Masoume Darmani, Haydeh Ara, Alireza Rashki, Abradat Mafi
- **Earthquake Damage Estimation using Radius Model in GIS Environment (Case Study: Sari City, Mazandaran Province)**
Mahdi Modiri, Mohammad Eskandari, Samira Hasanzadeh
- **Assessment of Active Tectonic in Hable Roud and Kordan Basins using Geomorphic Indexes**
Mehran Maghsoudi, Mansur Jafarbeglo, Reza Jafari
- **Seismic Vulnerability Zoning using the WASPAS Model and the Geographic Information System (Case Study: Urmia City)**
Sara Beheshtifar, Sattar Sahraee
- **Vulnerability Assessment of Cities to Earthquake based on the Catastrophe Theory: A Case Study of Varzeqan City, Iran**
Parichehr Mesri Alamdari, Mansour Kheirizadeh Arough
- **Modeling Wildfire Pathways in Forest-Grassland Ecotones in Golestan National Park**
Roghayeh Jahdi, Mahdi Arabi
- **Parameters Affecting Environmental Issues in Northwestern Iran (Case: Drying of Lake Urmia)**
Mohsen Janparvar, Farid Abasi, Elham Ghabasefidi, Darya Mazandarani
- **Assessing Vulnerability Level of Farmers against Drought resulted from Water Crisis in the Zayandeh Rud River (Case Study: Rural Areas, South Garkan, Mobarakeh County)**
Jamshid Einalia, Mohammad Reza Shafiee
- **Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City)**
Mohammad Abiyat, Sina Attar Roshan, Mahmud Abiyat
- **Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City)**
Kamran Ganji, Saeid Gharechelou, Ahmad Ahmadi
- **A Synoptic-Dynamic Investigation of the Flood in Sistan and Baluchestan and the Heavy Snowfall in Gilan in winter 2020**
Mohammad Moradi, Abbas Ranjbar Saadat Abadi



دانشگاه فردوسی مشهد



دانشگاه علوم کشاورزی و علوم طبیعی کرمان



دانشگاه سیستان و بلوچستان



دانشگاه خوارزمی تهران



دانشگاه تبریز



دانشگاه اردبیل

ISSN:2322-1682

Published by

Ferdowsi University of Mashhad