مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال دوازدهم، شماره ۴۷، پاییز ۱۴۰۲، شاپا: ۱۶۸۲-۲۳۲۲

فصلنامه

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفت ، پائیز ۱۴۰۲

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

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی

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

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

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

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

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

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

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

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

این مجلّه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پائیز ۱۴۰۲

شاپاچاپی : ۲۳۲۲-۱۶۸۲

شاپا الکترونیکی : ۳۰۷۶-۲۳۸۳

راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله برای چاپ در فصلنامه علمی ـ پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

۸- حروفچینی مقاله باید در برنامه Word 2007 و بالاتر بر روی کاغذ A4 با فواصل ۳.۵ سانتی‌متر از بالا، ۳.۵ سانتی‌متر از پایین، ۳ سانتی‌متر از چپ و ۳ سانتی‌متر از راست صورت گیرد. Header: ۲.۷۵ و Footer: ۳ عنوان مقاله با قلم ۱۳ پررنگ B Lotus. اسم، فامیل- مرتبه علمی با قلم ۱۱ پررنگ B Lotus.، نویسنده مسؤول، شماره تلفن و ایمیل نویسنده به صورت پاورقی و با قلم ۱۱ B Lotus باشد. چکیده ۱۲ پررنگ B Lotus، متن چکیده ۱۲ B Lotus. (چکیده و متن آن با فواصل ۲سانتی‌متر از سمت چپ و ۲ سانتی‌متر از سمت راست از متن اصلی باشد). تیترهای اصلی متن ۱۲پررنگ B Lotus با فاصله pt12 از پاراگراف قبل و pt8 از پاراگراف بعد. کل متن با ۱۳ B Lotus.

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

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

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

شیوه منبع نویسی مقالات انگلیسی

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

کتب انگلیسی:

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

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

مقالات فارسی:

حجازی زاده، زهرا. (۱۳۷٦). نقش پرفشار جنب حاره در تغییر فصل ایران. چاپ در مجموعه مقالات کنگره جغرافیدان ایران. تبریز، صص ۱۸۵– ۱۷٤.

بحری، معصومه؛ دستورانی، محمدتقی. (۱۳۹٦). ارزیابی اثرات تغییراقلیم و تغییرکاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، ۳۷–۵۷

کتب فارسی:

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

تبصره۱: در صورتی که صاحب اثر شخصیت حقوقی یعنی سازمان یا نهاد دولتی باشد به جای نام خانوادگی و نام نویسنده عنوان سازمان و یا نهاد مربوطه ذکر می‌شود.

تبصره ۲: در صورت استفاده از پایان‌نامه و رساله‌های تحصیلات تکمیلی، ذکر نام استاد راهنما، عنوان رشته و نام دانشگاه الزامی است.

– **نحوه ارجاع داخل متن** بر اساس نام نویسنده و سال انتشار طبق نمونه‌های زیر با قلم B Lotus ۱۲ برای مقالات فارسی و قلم Times New Roman۱۱ برای مقالات انگلیسی:

(محمودی، ۱۳٦۸)، (بحری و دستورانی، ۱۳۹٦)، (محمودی و همکاران، ۱۳٦۸)

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

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

۱٤– مسؤولیت صحت مطالب مقاله از نظر حقوقی به عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود.

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

۱٦– مقاله‌های ارسال شده به نویسنده جهت انجام اصلاحات در صورت عدم دریافت پاسخ در تاریخ تعیین شده، به منزله انصراف از چاپ تلقی می‌گردد.

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. ابوالفضل آزادی (استادیار خاک شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان)
۲. عبدالمجید احمدی (استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه بزرگمهر قائنات)
۳. نظام اصغری پور دشت بزرگ (محقق جغرافیای طبیعی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری گروه پژوهشی مهندسی رودخانه و حفاظت سواحل)
۴. مرتضی اکبری (دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد)
۵. علیرضا انتظاری (دانشیار جغرافیای طبیعی- اقلیم شناسی دانشگاه حکیم سبزواری)
۶. مژگان انتظاری نجف آباد (دانشیار، ژئومرفولوژی- جغرافیای طبیعی- دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان)
۷. نسیم ایزدی (دانشجوی دکتری ترویج و آموزش کشاورزی،دانشگاه بوعلی سینا همدان)
۸. لیلی ایزدی کیان (استادیار زمین شناسی دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا همدان)
۹. شهرام بهرامی (دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی)
۱۰. ابوالفضل بهنیافر(دانشیار گروه جغرافیا و گردشگری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)
۱۱. فرشاد پژوه (دکترای اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی)
۱۲. اصغر تیموری (دکتری مخاطرات محیط های شهری دانشگاه شهید بهشتی)
۱۳. بهرام چوبین (استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی)
۱۴. حسن حاجی حسینلو (استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی خوی)
۱۵. امیدعلی خوارزمی (استادیار مدیریت نوآوری - توسعه ملی گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۶. رضا درخشانی (دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان)
۱۷. حمید شایان (استاد جغرافیای انسانی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۸. احمد عباس نژاد (استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان)
۱۹. محمدرضا غریب رضا (دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی)
۲۰. ندا محسنی (دانشیار جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۱. مسعود مینائی (دانشیار جغرافیا - سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد)
۲۲. روح الله ندری (استادیار زمین شناسی دانشگاه پیام نور قم)
۲۳. غلامرضا نوروزی (استادیار ژئوفیزیک - زلزله شناسی گروه مهندسی معدن، دانشگاه بیرجند)
۲۴. محمدرضا یوسفی روشن (استادیارگروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، تهران)

فهرست مندرجات

بسمه‌تعالی

توافقنامه همکاری علمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر فریبرز قریب
رییس هیات مدیره انجمن کواترنری ایران

بسمه تعالی

توافقنامه همکاری علمی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دکتر مجتبی یمانی
رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی

دکتر احمدرضا بهرامی
معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

معاونت پژوهش و فناوری

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.1-21 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75706.1193 Open access

Investigating the Mining Risks in Active Tectonic Regions using the Radar Interferometry Method (Case Study: Azarshahr Dashkasan)

Seyyed Assadollah Hejazi[a*], Reza Abbasian Valandar[b]

[a] *Associate Professor in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*
[b] *PhD Candidate in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Received: 7 March 2022 ***Revised: 22 April 2022*** ***Accepted: 7 June 2022***

Abstract

Dashkasan is one of the historical villages of East Azarbaijan province, located in Shiramin village, part of the suburbs of Azarshahr, located south of Tabriz, the west of Sahand volcano. In this paper, to investigate the increase in instability in the Azarshahr Dashkasan mineral region, tectonic studies were conducted. Based on field observations, the normal Dashkasan fault has led to a displacement of 10 cm folding units at a height of 1373 meters above sea level. Therefore, the activation of tectonics is quite evident in terms of field observations. Adaptating the results with the remote sensing map of the studied area, it was determined that the most displacement, and by which stone was fractured, occurred along the normal sub-faults in the northwest-southeast part. Considering that shear joints are also developed in the northwest, mines should also have abundant fractures in the central and southern parts of the Dashkasan region, so extracting and exploring this range is not correct. In addition to the railroad, the tunnel and part of the main road are at risk of the normal active fault zone and slope instability. The density of mineral activities in Dashkasan region is very high and necessary where the slope of the range is very steep, especially in mineral areas and abundant fractures that are adjacent to engineering projects such as tunnels and railway lines. There must be necessary measures for slope stabilization. Therefore, the activity of mining and exploration in the environment should not put people at risk.

Keywords: Tectonic, Hillside Instabilities, Mining, Displacement Map, Azarshahr Dashkasan

*.Corresponding author: Seyyed Assadollah Hejazi Email: S.hejazi@tabrizu.ac.ir Tel: + 989144039787

How to cite this Article: Hejazi, S. A., & Abbasian valandar, R. (2023). Investiging mining risks in active tectonic regions using the radar interferometry method (case study: Azarshahr Dashkasan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 1-21.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.75706.1193

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75706.1193

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۲۱-۱

مقاله پژوهشی

بررسی مخاطرات معدن‌کاوی در مناطق فعال تکتونیکی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعهٔ موردی: داشکسن آذرشهر)

سید اسدالله حجازی[1]- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
رضا عباسیان ولندر - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۱۷

چکیده

داشکسن یکی از روستاهای تاریخی استان آذربایجان شرقی است و در دهستان شیرامین بخش حومهٔ شهرستان آذرشهر، در جنوب شهر تبریز و غرب آتشفشان سهند واقع شده است. در این نوشتار با هدف بررسی افزایش ناپایداری دامنه‌ای در ناحیهٔ معدنی داشکسن آذرشهر، اقدام به بررسی‌های تکتونیکی نموده و بر اساس مشاهدات میدانی، گسل نرمال داشکسن منجر به جابه‌جایی واحدهای چین‌خورده به اندازهٔ ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع ۱۳۷۳ متر از سطح دریا شده است لذا فعال بودن زمین‌ساخت به لحاظ مشاهدات میدانی کاملاً آشکار است. با انطباق گسل‌ها با نقشهٔ جابه‌جایی منطقهٔ موردمطالعه می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین جابه‌جایی و به‌موجب آن شکستگی سنگ‌ها در ارتباط با گسل‌های نرمال فرعی با راستای شمال‌غرب – جنوب شرق است و با توجه به اینکه درزه‌های برشی نیز در راستای شمال‌غرب توسعه دارند؛ معادن نیز باید در بخش‌های مرکزی و جنوب منطقهٔ داشکسن دارای شکستگی فراوان باشند بنابراین استخراج و کاوش در این محدوده صحیح نیست و علاوه بر این راه‌آهن، تونل و بخشی از جادهٔ اصلی در معرض خطر از ناحیهٔ گسلش نرمال فعال منطقه و ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند. تراکم فعالیت معدنی در

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۰۳۹۷۸۷ Email: S.hejazi@tabrizu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

حجازی، سید اسدالله؛ عباسیان ولندر، رضا؛ ۱۴۰۲. بررسی مخاطرات معدن‌کاوی در مناطق فعال تکتونیکی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعهٔ موردی: داشکسن آذرشهر). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۲۱-۱
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75706.1193

منطقهٔ داشکسن بسیار بالاست و لازم است در نقاطی که شیب دامنه بسیار زیاد است، به‌خصوص در مناطق معدنی دارای درزه و شکستگی فراوان که در مجاورت پروژه‌های مهندسی از قبیل تونل و خطوط راه‌آهن هستند باید اقدامات لازم برای پایدارسازی دامنه‌ای صورت گیرد؛ بنابراین فعالیت استخراج و کاوش معادن در محیط نباید منجر به خطر افتادن جان مردم گردد.

کلیدواژه‌ها: تکتونیک، ناپایداری دامنه‌ای، معدن کاری، نقشهٔ جابه‌جایی، داشکسن آذرشهر

۱- مقدمه

ناپایداری‌های دامنه‌ای شامل جدایش تکه سنگ‌ها از ارتفاعات و جابه‌جایی آن‌ها تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی از پدیده‌های طبیعی هستند که همه‌ساله در مناطق پرشیب کوهستان‌ها به‌وفور رخ می‌دهند (حاجی حسینلو و عباسیان ولندر، ۱۳۹۸). در دهه‌های اخیر، تشدید فعالیت‌های انسانی در مناطق کوهستانی به‌ویژه کاوش معادن منجر به بروز آشفتگی‌های عمده در سطوح شیب‌دار و تسریع در عملکرد مکانیسم‌های طبیعی منجر شده است و بر شدت ناپایداری‌های دامنه‌ای در محیط تأثیر گذاشته است. شهرستان آذرشهر یکی از نواحی فعال تکتونیکی و معدنی در شمال غرب ایران محسوب می‌شود و با قابلیت‌های ویژهٔ زمین‌شناسی و جاذبه‌های گردشگری فراوان دارای مجموعهٔ تراورتنی بی‌نظیر به‌خصوص در منطقهٔ داشکسن در شرق دریاچهٔ ارومیه شناخته شده است ولی اینک معادن بسیاری در این مجموعهٔ تراورتنی فعال هستند و آن را در معرض نابودی قرار داده‌اند (پور قاضی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعهٔ مکان مناسب برای کاوش معادن به دلیل این‌که مناظر طبیعی دچار تغییر و تحولات می‌شوند مربوط به دانش ژئومورفولوژی است (هایف[1]، ۱۹۷۸) و درک بهتری از مخاطرات کاوش بی‌دلیل در ژئوسایت‌ها می‌دهد (ساتو[2]، ۲۰۱۰). جهت انجام مطالعات ژئومورفولوژیکی در مورد معادن؛ ابتدا باید منطقهٔ موردمطالعه را به لحاظ وضعیت ریخت‌شناسی مورد بررسی قرار داد و سپس با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، وضعیت سنگ‌شناسی و شکستگی‌های منطقه تعیین می‌شوند و درنهایت با استفاده از اطلاعات به دست آمده؛ مناطق دارای پتانسیل معدنی شناسایی شده و جهت انجام مطالعات بیشتر در مراحل بعدی اکتشاف معرفی می‌شوند (مصطفایی، ۱۳۹۰).

(ملکی و همکاران، ۱۳۹۱) در مقالهٔ خود در مورد بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی معدن در شهرستان کرمانشاه نتیجه گرفتند که فرآیندهای مورفولوژیکی نظیر تسریع فرسایش، تسریع فرآیندهای دامنه‌ای، افزایش بار بستری و پدیدهٔ ریزش شدت یافته است. (سپاسدار و همکاران، ۱۳۹۸) تأثیر تکتنواستراتیگرافی را بر محیط‌زیست معدن سرب و روی کوه سورمه استان فارس بررسی کردند و بر اساس ستون چینه‌شناسی تهیه شده در کوه سورمه، تکتونیک منطقه مانند یک فیلتر طبیعی منجر به جذب فعال سرب در محدوده شده است. (حاج علی اوغلی و همکاران، ۱۳۹۱)

1 (Haigh, 1978)
2 (Suto, 2010)

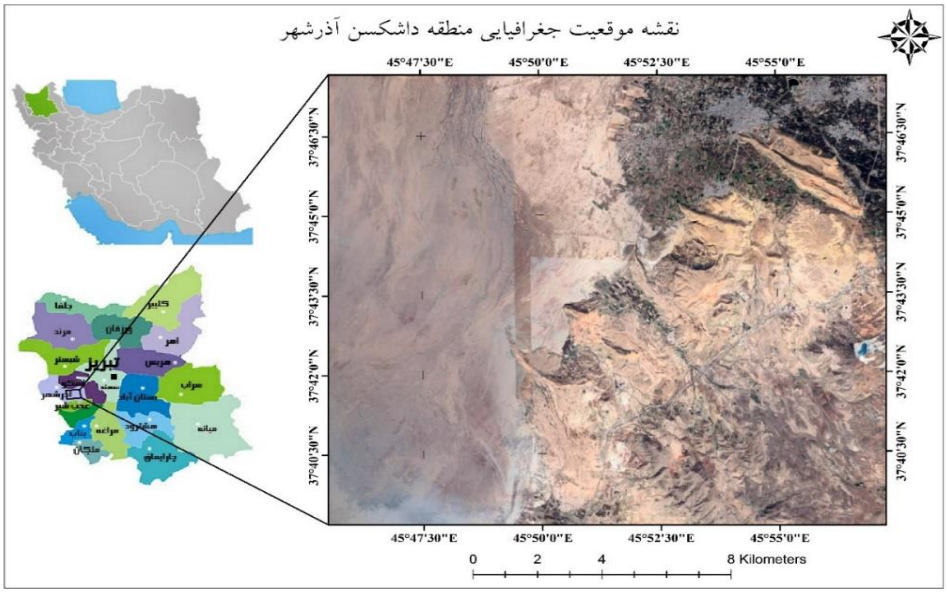
به دلیل وسعت ناحیهٔ تربت‌حیدریه کاشمر، مطالعهٔ تکتونیکی افیولیت‌ها را بر اساس علم سنجش از راه دور انجام دادند و با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای (اس آر تی ام[1])، (ای تی ام[2]) و دانش مورفوتکتونیک توانستند شاخص‌های تکتونیکی فعال را نیز در منطقه مورد شناسایی قرار دهند. (حیدری جوانمردی و همکاران، ۱۳۹۵) به‌منظور شناسایی اکسید آهن (مگنتیت) در محدودهٔ معدنی چادرملو یزد و تعیین نقاط حفاری اکتشافی از تکنیک‌های «نسبت باندی» و «آنالیز مؤلفه‌های اصلی» و به‌کارگیری آن‌ها در تصاویر سنجدهٔ OLI ماهواره‌ی لندست استفاده کردند. (علوی پناه و قربانی، ۱۳۸٦) نقش سنجش از راه دور و بررسی‌های میدانی در تجزیه‌وتحلیل‌های مورفوتکتونیکی منطقهٔ بم را بررسی کردند و بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که به وجود آمدن تدریجی یک پرتگاه ۱۵ – ۲۰ متری، انحراف جریان‌های سطحی، وجود آبکندهای (خندق) عمیق و ناپایداری‌های دامنه‌ای همگی بیانگر بی‌ثباتی منطقهٔ بم از نظر تکتونیکی است. با توجه به این شواهد، امکان فعالیت مجدد گسل‌های منطقه در آینده نیز وجود دارد. به‌منظور بررسی مخاطرات معدنکاری در محیط از داده‌های سنجش از راه دور به‌صورت گسترده استفاده شده است؛ (الهی و همکاران، ۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (آستر[3]) و (ای تی ام) و مدل رقومی (دم[4]) و آنالیزهای دور سنجی، مسائل زیست‌محیطی ناشی از پراکنش زغال‌سنگ در سطح منطقهٔ زغالی کرمان را به دلیل عوامل طبیعی و انسانی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس این مطالعه تغییر شکل‌های تکتونیکی متناوب منجر به آشکار شدن رخنمون‌های زغالی، در سطح زمین شده است و همچنین عدم پوشش گیاهی در ناحیه و رخنمون آثار زون‌های زغالی، زمینه را برای پراکندگی زغال فراهم نموده است. (قربانی و همکاران، ۱۳۹٤) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (ژئوآی[5]) و مطالعات زمینی و نمونه‌برداری از دگرسانی‌ها، دپوی ماده معدنی و همچنین پوشش گیاهی و منابع آب موجود در منطقه توزیع عناصر سرب و روی در منطقهٔ معدنی روی گوجر، استان کرمان را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. علاوه بر مسائل زیست‌محیطی از تکنیک سنجش از راه دور می‌توان برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای استفاده نمود؛ (افشاری و همکاران، ۱۳۹۸) ناپایداری دامنه‌ها در ناحیه راه‌آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری موردمطالعه قرار دادند و نتایج این پژوهش نشان داد که داده‌های راداری و روش پردازش تداخل سنجی تفاضلی به دلیل پوشش گسترده و فراوانی دیتا و دقت بالا، از پتانسیل خوبی برای آشکارسازی ناپایداری دامنه‌ها و محاسبهٔ میزان جابه‌جایی آن‌ها برخوردار است. همچنین می‌توان به کارهایی که در مورد ناپایداری دامنه‌ای و تکنیک سنجش از راه دور (دانگ و همکاران، ۲۰۱۸[6]؛ اینفانته و همکاران، ۲۰۱٦[7]؛ لازکی و همکاران، ۲۰۱۵[8]؛ روستایی و

1 (SRTM)
2 (ETM)
3 (Aster)
4 (DEM)
5 (GeoEye)
6 (Dong et al., 2018)
7 (Infante et al., 2016)
8 (Lazecky et al., 2015)

همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدزاده و همکاران، ۱۳۹٤) انجام شده است، اشاره کرد؛ بنابراین به‌منظور شناخت دلیل افزایش باطلهٔ معدنی از نظر تکتونیکی و مخاطرات ناشی از آن در محیط که منجر به خردشدگی بیشتر سنگ‌ها می‌گردد؛ باید به بررسی شواهد میدانی چشم‌اندازها بپردازیم و نتایج مطالعاتی خود را با مدل جابه‌جایی سنجش از راه دور منطقه مقایسه کنیم تا بتوانیم علل افزایش باطله معدنی در مکان‌های تکتونیکی را بررسی کنیم. ما نیز در این نوشتار با استفاده از تحلیل‌های میدانی تکتونیکی و با استفاده از نقشهٔ جابه‌جایی منطقه که توسط نرم‌افزار اسنپ تهیه شده است، بررسی خواهیم کرد آیا کاوش برای کاوش و ایجاد باطله در ناحیهٔ معدنی داشکسن آذرشهر بدون در نظر گرفتن مسائل تکتونیکی صحیح است؟

۲- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ موردمطالعه

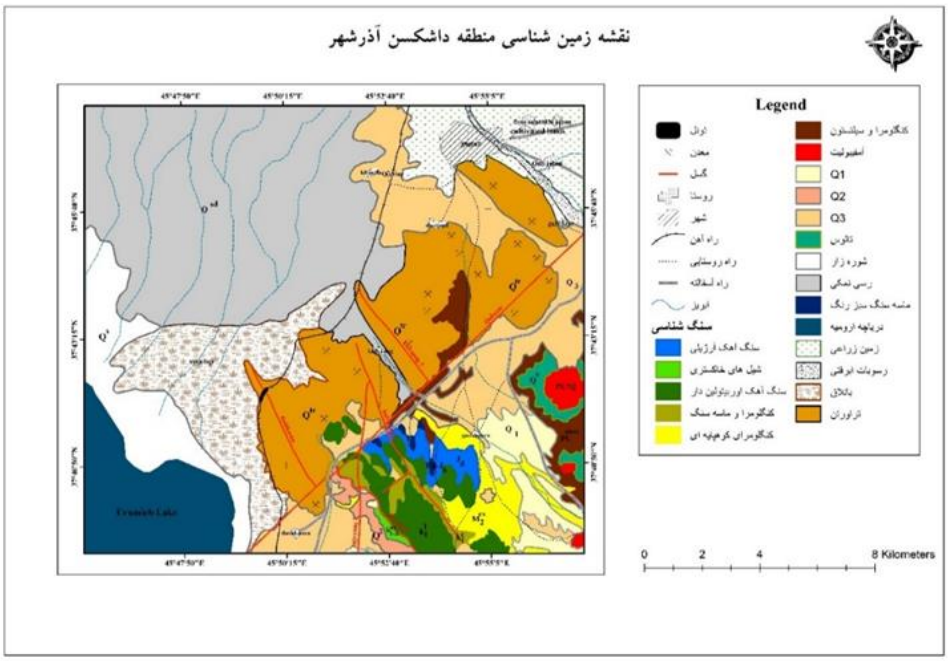
داشکسن یکی از روستاهای تاریخی استان آذربایجان شرقی است که در دهستان شیرامین بخش حومهٔ شهرستان آذرشهر که در جنوب تبریز، غرب آتشفشان سهند واقع شده است. دلیل نام‌گذاری این روستا بدین نام، معادن سنگ مرمر و آهک و تراورتن موجود در کوه‌های اطراف این روستا است. این روستا از سمت شرق به بزرگراه تبریز ـ میاندوآب و از سمت غرب به راه‌آهن تبریز ـ تهران دسترسی دارد.



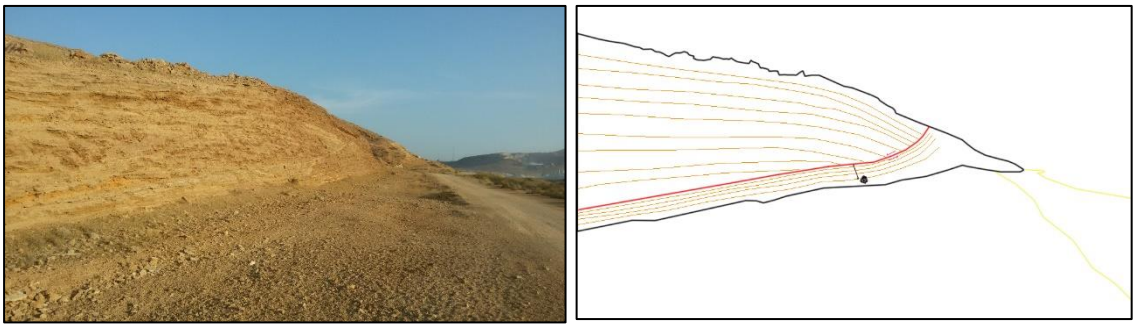
شکل ۱- نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ داشکسن آذرشهر

منطقهٔ موردمطالعه (شکل ۱) بخشی از واحد ساختمانی ایران مرکزی است و سن شاخص در سنگ‌های منطقهٔ موردمطالعه ژوراسیک تا کواترنری است و فازهای کوه‌زایی مختلفی بر آن تأثیر گذاشته است که مهم‌ترین آن‌ها فاز

کوه‌زایی آلپین است. زمان پلیستوسن با رسوبات دریایی و تغییرات در شرایط قاره‌ای مشخص می‌شود و جدا از آن پلیستوسن با فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه از اجتماع جریان‌های گدازه و توده‌های پیروکلاستیک مشخص می‌شود؛ البته با شرایط قاره‌ای آن دوران. قسمت شرقی منطقه آذرشهر تحت تأثیرآتشفشان سهند، از مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی ساخته شده است.

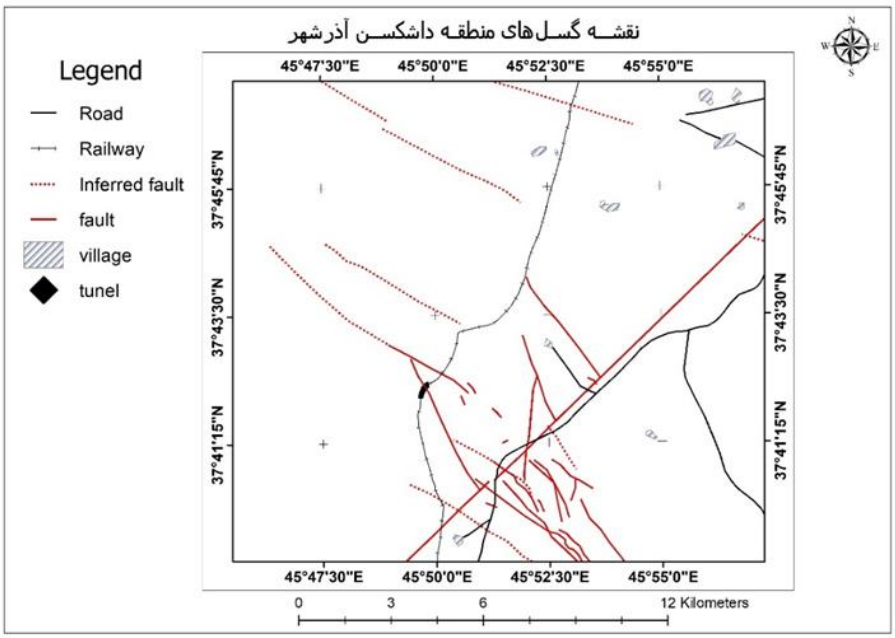


شکل ۲- نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ موردمطالعه



شکل ۳- چین‌خوردگی همراه با گسل نرمال چپ‌بر غله آذر، جهت دید عکس (N65W). مقیاس: کیف و عصا

این توده‌ها توسط رسوبات آتشفشانی به نام توف آبرفتی احاطه شده‌اند که در اطراف هسته آندزیتی ته نشست شده‌اند (معین وزیری و همکاران[1]، ۱۹۷۸). در قسمت جنوب غربی، سنگ بستر این منطقه شامل سنگ‌های آهکی کرتاسه همراه با تراورتن‌های پلیوسن می‌باشد در بخش‌های چین خوردهٔ لایه‌های شیلی توفیتی وجود دارند. با توجه به پیمایش و بررسی میدانی در منطقهٔ داشکسن و استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آذرشهر، سنگ‌شناسی منطقهٔ موردمطالعه شامل تناوبی از واحدهای شیلی توفیتی، مارنی و دولومیتی ـــــ آهکی خاکستری همراه با فسیل مرجان در بخش‌های آهکی می‌باشد و در نقطهٔ (رخنمون نزدیک به جادهٔ تبریز ـــــ میاندوآب) همراه با حرکت نرمال چپ‌بر گسل غله آذر به امتداد (N80E) و شیب (10NW)، چین خوردگی همراه با گسل خوردگی در منطقه دیده می‌شود (شکل ۲).



شکل ٤- نقشهٔ گسل‌های منطقهٔ داشکسن آذرشهر (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸ با تغییرات بیشتر)

اشکال کله قندی در محل شکستگی‌های کششی که شیب ٦٥-٥٥ درجه دارند، دیده می‌شوند علاوه بر این واحدهای کواترنر به همراه نهشته‌های کوه پایه‌ای تراورتن و رسی نمکی در گسترهٔ منطقه وجود دارند پهنهٔ تقریبی تراورتنی با توجه به پیمایش‌ها در منطقهٔ موردمطالعه و نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آذرشهر از گوگان تا حوالی داشکسن حدود ١٤ کیلومتر و عرض میانگین این پهنهٔ تراورتنی حدود ٤٠٠ کیلومتر است (شکل ۳). از نشانه‌های

1 (Moinvaziri et al., 1978)

وجود فعالیت‌های زمین‌ساختی اخیر در این منطقه وجود چشمه‌های تراورتن‌ساز فعال می‌باشد تراورتن‌های گرمازاد معمولاً دارای برخی حامل‌های جوی هستند اما بیشتر حجم دی اکسید کربن آن‌ها از فرآیندهای گرمایی درون منشأ گرفته است نرخ گاززدایی این تراورتن‌ها بالاست و منجر به تشکیل بلورهای حبابی شکل و شعاعی می‌شود (شکل ۵) و نرخ رسوب‌گذاری به همان نسبت بالاست به طوری که نرخ رسوب‌گذاری بالاتر از ۱۰ میلیمتر در سال دارد تراورتن‌های گرمازاد توزیع محلی بیشتری نسبت به سایر نهشته‌های سطحی‌زاد دارند و بیشتر با مناطق آتشفشانی کواترنر و فعالیت‌های زمین ساختی همراه هستند (پور قاضی و همکاران، ۱۳۹۳).

شکل ۵- تشکیل بلورهای حبابی شکل و شعاعی در چشمه‌های تراورتن ساز منطقه

۳- مواد و روش‌ها

این مقاله بر اساس روش میدانی، کتابخانه‌ای و دفتری متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی، محدودهٔ موردمطالعه مشخص شد. با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ آذرشهر، مطالعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشهٔ پیرامون گسل‌ها و سازندهای مختلف تهیه شده است. در پیمایش‌های میدانی، مطالعهٔ ساختارهای تکتونیکی زمین‌شناسی و لندفرم‌های ژئومورفولوژیک در محدودهٔ اطراف منطقهٔ داشکسن با استفاده از ابزار کمپاس انجام شده است و سپس با استفاده از نرم‌افزار (آرک جی آی اس[1] ۱۰/۷) و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای (به عنوان اطلاعات پایه وارد (آرک جی آی اس ۱۰/۷) شده و بعد از تعریف زمین مرجع و سیستم مختصات آن‌ها) لایه‌های مورد نیاز رقومی گردیده و نقشهٔ منطقه ترسیم شده و اندازه‌گیری لازم صورت گرفته است. در ارتباط با مطالعهٔ مخاطرات منطقه، مدل تکتونیکی شکستگی‌ها با نرم‌افزار (دیپس[2]) تولید شده و با استفاده از تصاویر سنجش از راه دور ستینل ۱ به تاریخ‌های (۲۰۲۱/۱۱/۱۵) و (۲۰۲۲/۱/۲) تصویر جابه‌جایی منطقه را در محیط گوگل ارث[3] با شکستگی‌ها منطبق کرده و تحلیل نتایج انجام شده است.

1 (Arc GIS 10.7)
2 (Dips 5)
3 (Google Earth)

٤- بحث

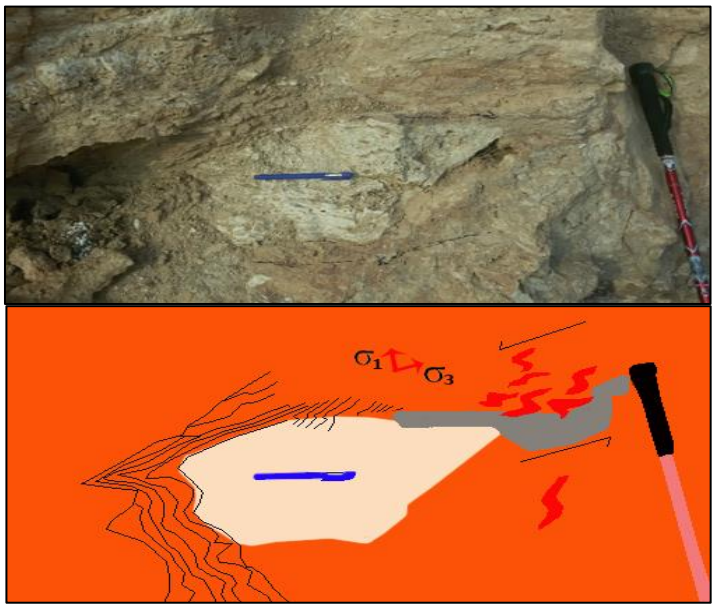
٤-١- شواهد تکتونیک فعال در منطقهٔ موردمطالعه

گسل‌های نرمال در منطقهٔ موردمطالعه در تقاطع با گسل اصلی و فعال منطقه هستند. گسل نرمال داشکسن با امتداد (N10W) و شیب (65 NE) در تقاطع با گسل نرمال فعال با مؤلفهٔ چپ‌بر غله آذر است. اکثر گسل‌های موجود در منطقه دارای سازوکار امتداد لغزی هستند و بر اثر اعمال نیروهای زمین‌ساختی (فشارشی) واحدهای توفیتی فرسایش یافته (هوازدگی پوست پیازی) به همراه رسوبات آهکی - دولومیتی چین‌خورده را در سطح زمین آشکار شده‌اند. در بعضی نواحی به‌خصوص در حریم جادهٔ آذرشهر - میاندوآب، به دلیل رژیم فرسایشی حاکم بر منطقه و عملکرد انسان (معدن‌کاوی و ساخت جادهٔ ارتباطی) بسیاری از آینه گسل‌ها و خش‌لغزهای موجود نابود شده‌اند ولی بر اساس نقشهٔ زمین‌شناسی ساختمانی منطقهٔ موردمطالعه (شکل ٤) و مشاهدات میدانی؛ گسل نرمال با مؤلفهٔ راست‌بر و امتداد (N10E) و شیب (15 NW) مورد شناسایی قرار گرفته است. گسل راست‌بر به‌صورت متقاطع با گسل داشکسن در منطقهٔ موردمطالعه است و در امتداد آن آثار ورود محلول‌های هیدروترمال در حفرات و درزه‌های کششی لایه‌های آهکی - دولومیتی چین‌خورده دیده می‌شوند (شکل ٧).

شکل ٦- متروکه شدن معدن به دلیل توسعهٔ شکستگی‌های کششی و برشی، جهت دید (NE)

بر اساس ساختارهای تکتونیکی موجود در لایه‌های آهکی - دولومیتی چین‌خورده در کنار جادهٔ آذرشهر - میاندوآب، زون برشی غالب در منطقه چپ‌بر است. معادنی که در امتداد گسل داشکسن مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند در نواحی نزدیک به گسل داشکسن، شکستگی‌های کششی و برشی توسعه یافته‌اند و پس از مدتی کوتاه استخراج معدن متوقف شده و حجم باطلهٔ زیادی در منطقه رها شده است (شکل ٦). در رژیم‌های فشارشی، سنگ‌ها در معرض چین‌خوردگی قرار می‌گیرند و با ادامهٔ چین‌خوردگی، در صورتی که تنش‌های فشارشی وارده بیشتر از

مقاومت سنگ‌ها شود، سنگ‌ها دچار گسلش و گسیختگی می‌شوند. در منطقهٔ موردمطالعه، امتداد اغلب صفحه محور چین‌خوردگی‌ها (N15W) بوده که به موازات روند گسل نرمال داشکسن شناسایی شده در منطقه است. با مشاهدات صحرایی گسل نرمال داشکسن با امتداد (N30W) و شیب (61 NE)، منجر به جابه‌جایی واحدهای چین‌خورده به اندازهٔ ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع ۱۳۷۳ متر از سطح دریا شده است. لازم به ذکر است که حرکت راست‌بر گسل نرمال داشکسن رسوبات کواترنری جدید مانند اشکال کله قندی و واحدهای توفیتی که دچار فرسایش پوست‌پیازی شده‌اند را نیز تحت تأثیر قرار داده است لذا فعال بودن زمین‌ساخت به لحاظ مشاهدات میدانی کاملاً آشکار است (شکل ۸).



شکل ۷- ساختارهای تکتونیکی زون برشی غالب در منطقهٔ داشکسن را چپ‌بر نشان می‌دهند، (37.66444’ N, 45.85083’ E) جهت دید (N80W)

در منطقه ارتباط بسیار نزدیکی بین چین‌خوردگی و گسلش وجود دارد. علاوه بر این واحدهای توفیتی به دلایل گوناگونی نظیر تنش‌های فشارشی محلی یا ناحیه‌ای دچار فرسایش پوست پیازی شده‌اند همچنین فرآیند پوست پیازی شدن به فاکتورهای متعدد دیگر مانند: مقاومت سنگ‌ها، نوسانات دمایی، تنش‌های باقی‌مانده و پوشش گیاهی نیز ارتباط داده می‌شوند (جانسون[1]، ۱۹۷۰؛ هولژوسن[2]، ۱۹۸۹). در منطقهٔ موردمطالعه، واحدهای توفیتی با فرسایش پوست پیازی، نشان داده شده است (شکل ۹). در امتداد حرکت گسل نرمال داشکسن که تقریباً ۱۰ سانتی‌متر در حال حاضر حرکت داشته است واحدهای توفیتی گسل خورده و تخریب شده مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). در منطقهٔ

1 (Johnson, 1970)
2 (Holzhausen, 1989)

موردمطالعه چین‌خوردگی طویل نامتقارن در جهت امتداد گسل نرمال داشکسن شناسایی شد (شکل ۱۱) که بر روی نقشهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ آذرشهر با جهت شمال شرق ـ جنوب غرب نشان داده شده است.

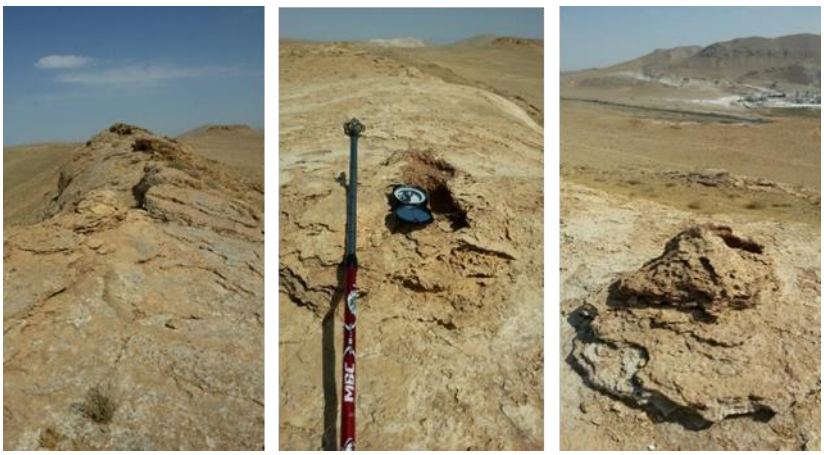
(b) (a)

شکل ۸- (a) حرکت گسل نرمال داشکسن منطقه منجر به شکستگی اشکال کله قندی شده است، جهت دید (N10W)؛ (b) حرکت گسل نرمال داشکسن باعث جابه‌جایی چین به اندازهٔ ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع ۱۳۷۳ متری شده است، جهت دید (N60E).

شکل ۹- فرسایش پوست پیازی در واحدهای توفیتی، جهت دید به سمت (NE)

شکل ۱۰- تخریب واحدهای توفیتی دچار فرسایش پوست پیازی تحت تأثیر حرکت راست‌بر گسل نرمال داشکسن منطقه، جهت دید به سمت (NE)

لازم به ذکر است که چین‌خوردگی نامتقارن داشکسن تحت تأثیر سایر گسل‌های نرمال دچار فرسایش و جابه‌جایی شده است. اشکال کله قندی و چشمه‌های تراورتن‌ساز منطقه در ارتباط با گسل داشکسن و توسعهٔ شکستگی‌های کششی در چین نامتقارن است. گسل داشکسن، ٤/٨٤ کیلومتر طول دارد و تا تونل ایستگاه راه‌آهن تبریز ـ تهران امتداد دارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- چین نامتقارن داشکسن به همراه توسعهٔ درزه‌های برشی و کششی و وجود اشکال کله قندی، جهت دید (N70W)

در دامنه‌های مشرف بر گسل‌خوردگی داشکسن (شکل ۱۳) گسل نرمال دیگری با امتداد (N60E) و شیب (65 NW) که در نقشهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی آذرشهر ترسیم نشده است، دیده می‌شود. حرکات این گسل منجر به

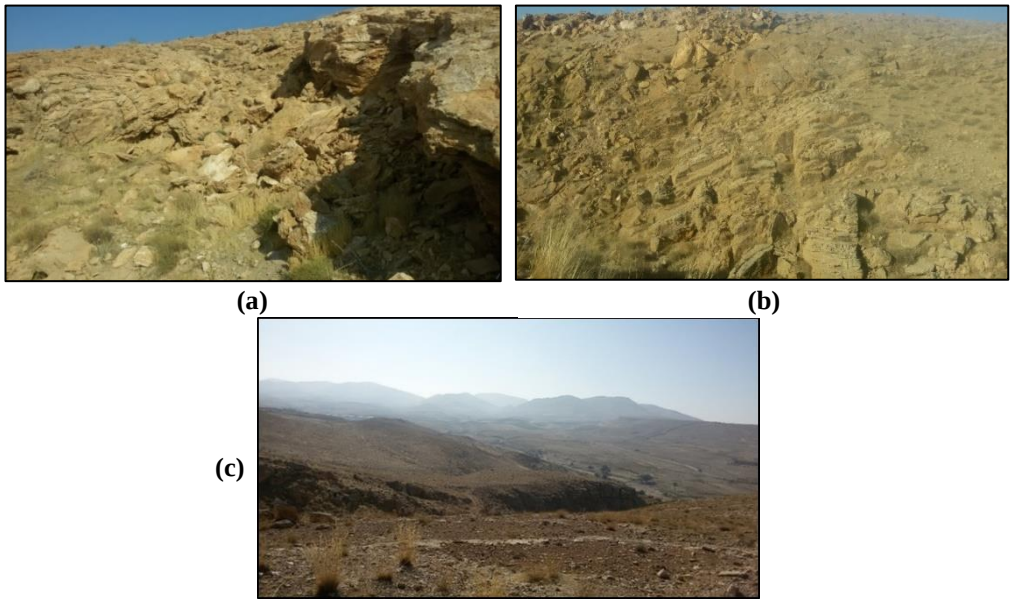
تخریب واحدهای چین‌خورده و تغییر شکل آن‌ها شده است. گسل نرمال به‌صورت متقاطع با گسل و چین نامتقارن داشکسن است.

شکل ۱۲- تونل و راه‌آهن تبریز ـ تهران در انتهای مسیر حرکت گسل نرمال راست‌بر داشکسن همراه با توسعهٔ فرسایش حفره‌ای ناشی از تخریب شیمیایی سنگ‌ها، جهت دید (N75E).

شکل ۱۳- تخریب و تغییر شکل واحدهای چین‌خورده تحت تأثیر گسل نرمال مخفی، جهت دید (N20W).

شکل ١٤- وجود حفرات بزرگ فرسایشی در محل تقاطع گسل نرمال مخفی با چین داشکسن، (37.668611° N, 45.841667° E) و جهت دید (N50E)

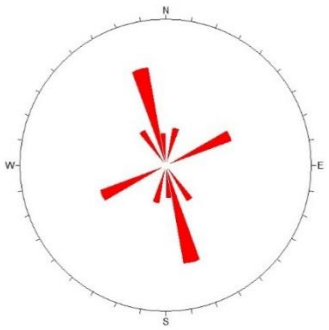
گسل نرمال مخفی با افزایش شیب لایه‌های چین‌خورده منجر به ناپایداری سنگ‌ها و ریزش آن‌ها به پایین دست منطقه شده است. نحوهٔ تشکیل حفرات فرسایشی بزرگ در محل تقطع گسل نرمال مخفی با گسل داشکسن طبق نوشتار (شاکر اردکانی و همکاران، ۱۳۹۲)، احتمالاً بدین صورت است که سنگ‌ها یا صخره‌ها در شب از شبنم مرطوب شده و این رطوبت در روز بر اثر تابش نور خورشید بنا به دلیل خاصیت مویینگی به سطح سنگ صعود می‌نماید و سپس تخریب می‌شود بر اثر تکرار این فرآیند موادی که ذرات سنگ را به یکدیگر متصل می‌کرده‌اند تخریب شده و از بین می‌روند و در نتیجه سنگ از داخل تجزیه شده و حفرات کم و بیش بزرگی در آن ایجاد می‌شوند البته لازم به ذکر است درزه‌ها و شکستگی‌های ناشی از فرآیند تکتونیکی و هوازدگی آبی و بادی در تشکیل این حفرات فرسایشی مؤثر هستند. این حفرات فرسایشی محل زندگی کبک و سایر پرندگان است (شکل ١٤). در جایی که شیب گسل داشکسن زیاد می‌شود و به‌خصوص در محل تقاطع با گسل مخفی منطقه؛ فرسایش و خرد شدگی افزایش می‌یابد و درهٔ کم عمق عمود بر امتداد گسل و چین‌خوردگی داشکسن ایجاد شده است. در درهٔ گلوانق، گسل نرمال انشعاب یافته از گسل گلوانق III با امتداد (N15W) و شیب (75 NE) (شکل ١٥) چین‌خوردگی‌های نامتقارن را تحت تأثیر قرار داده و منجر به خرد شدن و ناپایداری سنگ‌ها در امتداد روند گسل شده است (شکل ١٦).



شکل ۱۵- (a) تشکیل درهٔ کم عمق بر اثر فرسایش و خردشدگی چین، جهت دید (N35W)؛ (b) گسل نرمال احتمالی به امتداد (N65E) و شیب (50NW) که منجر به جابه‌جایی در چین شده است، جهت دید (N25W)؛ (c) درهٔ فرسایشی ناشی از حرکت گسل کلوانق III و ایجاد چین خوردگی در محل تقاطع با گسل نرمال احتمالی، جهت دید (N75E)

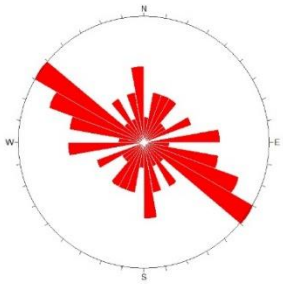
شکل ١٦- ایجاد چین‌خوردگی‌های نامتقارن در جهت امتداد گسل نرمال احتمالی، جهت دید (N10W)

با استفاده از ابزار کمپاس و به‌منظور مطالعهٔ تکتونیک منطقهٔ موردمطالعه؛ تعداد ۹ گسل مؤثر در توسعهٔ شکستگی‌ها شناسایی گردید و با ترسیم نمودار گل‌سرخی گسل‌ها مشخص شده است که راستای اکثر گسل‌ها در منطقهٔ موردمطالعه NW-SE بوده و امتداد آن‌ها N10-20W است و تعدادی نیز با امتداد بین N60-70E عمود بر گسل‌های اصلی منطقه هستند و بر اساس مشاهدات میدانی بیشتر ناپایداری دامنه‌ای در منطقهٔ موردمطالعه در ارتباط با گسل‌های شمال‌غربی است (شکل ۱۷).



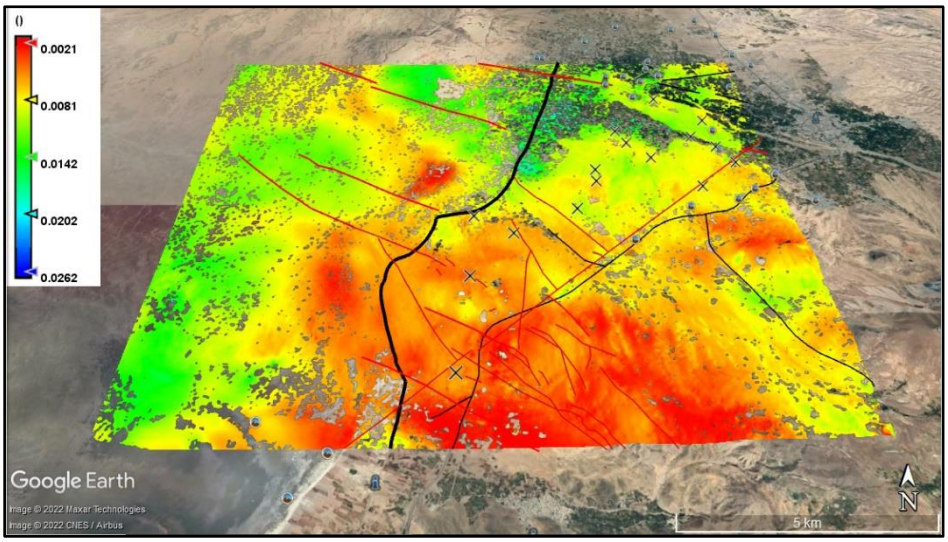
شکل ۱۷- نمودار گل سرخی گسل‌های منطقهٔ موردمطالعه

اغلب درزه‌ها در منطقه درزه‌های برشی هستند که هم راستا با گسل‌خوردگی غالب در منطقهٔ موردمطالعه تشکیل شده‌اند و منجر به افزایش شکستگی و ناپایداری دامنه‌ای شده است ولی درزه‌هایی که در جهت شمال شرق – جنوب غرب توسعه دارند درزه‌های کششی هستند. (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- نمودار گل سرخی درزه‌های منطقهٔ موردمطالعه

با انطباق گسل‌ها با نقشهٔ جابه‌جایی منطقهٔ موردمطالعه می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین جابه‌جایی و به‌موجب آن شکستگی سنگ‌ها در ارتباط با گسل‌های نرمال فرعی با راستای شمال‌غرب – جنوب شرق است؛ بنابراین معادنی که در راستای گسل‌های نرمال فرعی با جهت شمال غرب – جنوب شرق قرار می‌گیرند دارای شکستگی فراوان هستند و استخراج و کاوش در این محدوده صحیح نیست و علاوه بر این راه‌آهن، تونل و بخشی از جادهٔ اصلی در معرض خطر از ناحیهٔ گسلش نرمال فعال منطقه و ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند (شکل ۱۹).

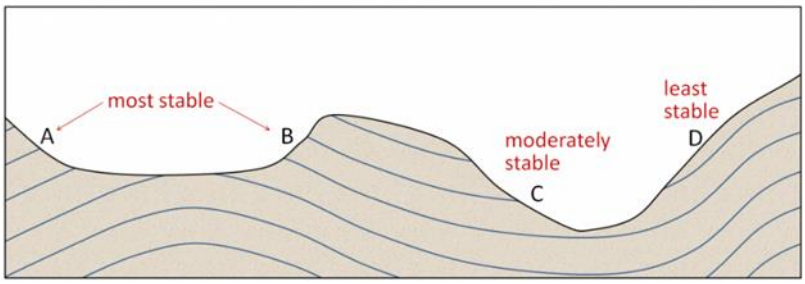


شکل ۱۹- نقشهٔ جابه‌جایی سنجش از راه دور منطقهٔ موردمطالعه

۵- نتیجه‌گیری

ناپایداری دامنه‌ای به دلیل بالا آمدگی بر اثر فرآیندهای تکتونیکی ایجاد شده است. فرسایش، پاسخ به آن همه صعود و فرونشست است و انواع مختلف فرسایش (طبیعی و یا انسانی) شیب‌های متنوعی را در نواحی بالا آمدگی ایجاد می‌کند پایداری شیب درنهایت با دو عامل تعیین می‌شود: زاویهٔ شیب و استحکام مواد روی آن. هم چنان که در (شکل ۲۱) نشان داده شده است ۲ معدن به فاصلهٔ چندین متر از هم در درهٔ گلوانق مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند که باطله‌های سنگی معدنی واقع در یکی از دامنه‌های با شیب زیاد توسط نیروی گرانش به سمت پایین کشیده شده است. نیروی برشی، برای آن که بخواهد بلوک را به سمت پایین شیب بکشد، باید بر قدرت اتصال بین بلوک و شیب غلبه کند؛ و این در صورتی میسر خواهد بود که بلوک از بدنهٔ اصلی دامنه جدا گردد و کاملاً ضعیف شود این در حالی است که اگر بلوک هنوز جزیی از صخره‌های سنگی باشد بسیار قوی خواهد بود و عمل جدایش رخ نمی‌دهد و انسان با معدن‌کاری در محیط و جدایش بلوک‌ها منجر به جابه‌جایی نیروها و فرسایش بیشتر محیط می‌گردد این در

حالی است که معدن دومی که در فاصلهٔ کمتری از معدن اولی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است به دلیل کم بودن شیب دامنه بلوک‌های باطلهٔ معدنی کمتر به سمت پایین شیب متمایل شده‌اند. قدرت مواد روی دامنه می‌تواند خیلی مؤثر باشد سنگ‌های قوی بسیاری مانند سنگ‌های آتشفشانی بازالت و گنیس وجود دارند ولی سنگ‌های دگرگون شده‌ای مانند شیست‌ها قدرت متوسطی از خود نشان می‌دهند سنگ‌های رسوبی قدرت‌های متفاوتی دارند بیشتر دولستون‌ها و لایمستون‌ها بسیار قوی هستند ولی بیشتر ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها قدرت متوسطی دارند ولی بعضی ماسه‌سنگ‌ها و مادستون‌ها بسیار ضعیف هستند شکستگی‌ها، برگوارگی یا لایه بندی‌ها به طور مشخص می‌توانند قدرت سنگ را کاهش دهند به‌خصوص اگر این صفحات ضعیف موازی با شیب باشند بحرانی‌تر خواهد بود و در صورت عمود بودن کمتر بحرانی است این در (شکل ۲۰) به خوبی نشان داده شده است. در محل‌های A و B بستر تقریباً عمود بر شیب و وضعیت نسبتاً پایدار است ولی در محل D بستر تقریباً موازی با شیب و وضعیت کاملاً ناپایدار است. در محل C، بستر تقریباً افقی است و پایداری به عوامل دیگری مانند فاصلهٔ درزه‌ها و شکستگی‌ها وابسته است (ایرلی[1]، ۲۰۱۵).



شکل ۲۰- وضعیت پایداری مواد دامنه‌ای در موقعیت‌های مختلف

شکل ۲۱- دو معدن تراورتن با فاصلهٔ نه چندان دور از هم ولی در شیب‌های متفاوت، جهت دید (N55E)

1(Earle, 2015)

به‌خصوص اینکه در محدودهٔ اطراف معادن با موقعیت شیب زیاد، تأسیسات حمل و نقل و غیره نیز باشد و در موقع رویدادهای تکتونیکی همچون زلزله، ریزش باطله‌ها جان انسان‌ها را تهدید خواهد کرد؛ بنابراین سود آوری نباید منجر به تهدید جان انسان‌ها باشد. در منطقهٔ موردمطالعه وجود خطوط راه‌آهن در کنار دامنه‌های ناپایدار کاملاً قابل مشاهده است (شکل ۲۲)؛ بنابراین در مطالعات امکان سنجی، همهٔ عوامل طبیعی و انسانی در مکان‌یابی معادن به‌خصوص در مناطق در معرض خطر زلزله مورد توجه قرار گیرند. طبیعت بر نحوهٔ برداشت از معادن تأثیر می‌گذارد و معادن بر سلامتی انسان‌ها و حیوانات؛ در مواقع سیل و زلزله و سایر بحران‌های طبیعی تأثیر می‌گذارد.

شکل ۲۲- وجود خطوط راه‌آهن تبریز ـ تهران در مناطق نزدیک به دره‌های فرسایش یافته و نقاط معدنی، جهت دید (N55E)

٦- جمع‌بندی

با مشاهدات میدانی گسل نرمال داشکسن، منجر به جابه‌جایی واحدهای چین‌خورده به اندازهٔ ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع ۱۳۷۳ متر از سطح دریا شده است. لازم به ذکر است که حرکت راست‌بر گسل نرمال داشکسن رسوبات کواترنری جدید مانند اشکال کله قندی و واحدهای توفیتی که دچار فرسایش پوست‌پیازی شده‌اند را نیز تحت تأثیر قرار داده است لذا فعال بودن زمین‌ساخت به لحاظ مشاهدات میدانی کاملاً آشکار است و در جایی که شیب گسل داشکسن زیاد می‌شود و به‌خصوص در محل تقاطع با گسل مخفی منطقه؛ فرسایش و خرد شدگی افزایش می‌یابد و درهٔ کم عمق عمود بر امتداد گسل و چین‌خوردگی داشکسن ایجاد شده است.

اشکال کله قندی و چشمه‌های تراورتن‌ساز منطقه در ارتباط با گسل داشکسن و توسعهٔ شکستگی‌های کششی در چین نامتقارن ایجاد شده‌اند. با استفاده از ابزار کمپاس و به‌منظور مطالعهٔ تکتونیک منطقهٔ موردمطالعه؛ تعداد ۹ گسل مؤثر در توسعهٔ شکستگی‌ها شناسایی گردید و با ترسیم نمودار گل‌سرخی گسل‌ها مشخص شده است که راستای

اکثر گسل‌ها در منطقهٔ موردمطالعه NW-SE بوده و امتداد آن‌ها N10-20W است و تعدادی نیز با امتداد بین N60-70E عمود بر گسل‌های اصلی منطقه هستند و بر اساس مشاهدات میدانی بیشتر ناپایداری دامنه‌ای در منطقهٔ موردمطالعه در ارتباط با گسل‌های شمال‌غربی است و از ۱۲ ایستگاه درزه نگاری مجموعاً ٤۹ درزه اندازه‌گیری شده است و اغلب درزه‌ها در منطقه درزه‌های برشی هستند که هم راستا با گسل‌خوردگی غالب در منطقهٔ موردمطالعه تشکیل شده‌اند و منجر به افزایش شکستگی و ناپایداری دامنه‌ای شده است ولی درزه‌هایی که در جهت شمال شرق – جنوب غرب توسعه دارند درزه‌های کششی هستند. با انطباق گسل‌ها با نقشهٔ جابه‌جایی منطقهٔ موردمطالعه می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین جابه‌جایی و به‌موجب آن شکستگی سنگ‌ها در ارتباط با گسل‌های نرمال فرعی با راستای شمال‌غرب – جنوب شرق است؛ بنابراین معادن نیز باید در بخش‌های مرکزی و جنوب منطقهٔ داشکسن دارای شکستگی فراوان باشند و استخراج و کاوش در این محدوده صحیح نیست و علاوه بر این راه‌آهن، تونل و بخشی از جادهٔ اصلی در معرض خطر از ناحیهٔ گسلش نرمال فعال منطقه و ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند. تراکم فعالیت معدنی در منطقهٔ داشکسن بسیار بالاست و همچنان که در نقشهٔ جابه‌جایی منطقهٔ موردمطالعه دیده می‌شود لازم است در نقاطی که شیب دامنه بسیار زیاد است به‌خصوص در مناطق معدنی دارای درزه و شکستگی فراوان که در مجاورت پروژه‌های مهندسی از قبیل تونل و خطوط راه‌آهن هستند باید اقدامات لازم برای پایدارسازی دامنه‌ای صورت گیرد؛ بنابراین فعالیت استخراج و کاوش معادن در محیط نباید منجر به خطر افتادن جان مردم گردد و لازم است که در دادن مجوز برای فعالیت‌های معدنی؛ مسائل حفاظت از محیط‌زیست انسان و حیوان، حفاظت از پروژه‌های مهندسی نزدیک به نقاط معدنی و حتی بهداشت و ایمنی ساکنان منطقه مورد توجه قرار گیرد.

کتابنامه

احمدزاده، حسن؛ روستائی، شهرام؛ نیکجو، محمدرضا؛ دهقانی، مریم؛ ۱۳۹۷. برآورد مساحت و حجم تودهٔ لغزشی با استفاده از تکنیک‌های InSAR و مشاهدات GPS (مطالعه موردی پهنه لغزشی روستای گوگرد). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، ٤(۲), ۱۸–۲۸.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1394.4.2.2.7

الهی، علی؛ رنجبر، حجت الله؛ شهاب پور، جمشید؛ ۱۳۹۳. کاربرد سنجش از دور در مخاطرات زیست‌محیطی زغال‌سنگ از معدن تا کارخانه در ناحیه زغالی کرمان، کنگره ملی صنایع آهن و فولاد.

https://civilica.com/doc/384495/

افشاری، امیر؛ قهرودی تالی، منیژه؛ صدوق، سیدحسن؛ احتشامی معین آبادی، محسن؛ ۱۳۹۸) ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ناحیه راه‌آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. شماره ۳، صص ۱۸۳–۲۰۲

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_102801.html

پور قاضی، جواد؛ گنجعلی، سعید؛ مؤذن، محسن؛ ستوهیان، فرزاد؛ ۱۳۹۳. بررسی توانمندی‌های محیطی شهرستان آذرشهر به عنوان دومین ژئوپارک ایران، *فصلنامه انسان و محیط‌زیست*، شماره ۳۱، ص ۱ ـ ۱۱

https://he.srbiau.ac.ir/?_action=article&kw=15658&_kw=%D8%A2%D8%B0%D8%B1%D8%A8%D8%A7%DB%8C%D8%AC%D8%A7%D9%86+%D8%B4%D8%B1%D9%82%DB%8C

تقی پور، کریم؛ خطیب، محمدمهدی؛ هیهات، محمودرضا؛ واعظی هیر، عبدالرضا؛ شبانیان، اسماعیل؛ ۱۳۹۸. نقش کنترل کننده‌های ساختاری در هیدروژئوشیمی چشمه‌های تراورتن ساز منطقه آذرشهر، شمالغرب ایران. *زمین شناسی ایران*. شماره ۵۲، صص ۱۰۵-۱۲۱

http://geology.saminatech.ir/fa/Article/9757

حاجی حسینلو، حسن؛ عباسیان ولندر، رضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش‌های سنگی در منطقهٔ بند ارومیه (مسیر جادهٔ ارومیه ـ سیلوانا) با استفاده از روش آنبالاگان، *فصلنامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شمارهٔ ۲۹، صص ۸۳-۱۰۲

https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.77318

حاج علی اوغلی، شراره؛ الماسیان، محمود؛ پورکرمانی، محسن؛ ۱۳۹۱. شاخص‌های مورفومتریک در شناسایی تکتونیک فعال افیولیتهای نواحی تربت‌حیدریه کاشمر با بهره‌گیری از روش‌های سنجش از دور، اولین کنفرانس ملی راه‌کارهای دستیابی به توسعهٔ پایدار (کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست)، تهران.

https://civilica.com/doc/197732

حیدری جوانمردی، مصطفی؛ اسماعیلی، علی؛ ۱۳۹۵. بررسی میزان کارایی سنجش از دور در تشخیص اکسید آهن (مگنتیت)، مطالعهٔ موردی معدن چادرملو- یزد، همایش ملی ژئوماتیک، دورهٔ ۲۳.

https://sid.ir/paper/893305/fa

روستایی، شهرام؛ روستایی، مهاسا؛ شریفی کیا، محمد؛ یاراحمدی، جمشید؛ ۱۳۹۲. کاربرد تداخل سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین‌لغزش‌ها، مطالعهٔ موردی: حوزه آبخیز گرم چای میانه.

https://civilica.com/doc/1361062

سپاسدار، علیرضا؛ زمانی، احمد؛ یزجردی، کوروس، پورکرمانی، محسن؛ قریشی، منوچهر؛ ۱۳۹۸. تأثیر تکتنواستراتیگرافی بر محیط‌زیست در معدن سرب و روی کوه سورمه استان فارس. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۱(۸)، ۸۹-۹۹.

https://jest.srbiau.ac.ir/article_15123.html

شاکر اردکانی، علیرضا؛ درگاهی، سارا؛ امیرپور، حامد؛ ۱۳۹۲. نحوه تکوین هوازدگی کروی و فرسایش پوست پیازی در توده‌های دیوریتی- کوارتز دیوریتی قلعه گنج کرمان. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*; ۳ (۲): ۳۷-۲۷

http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-146-fa.html

علوی پناه، سیدکاظم؛ قربانی، محمدصدیق. (۱۳۸٦. نقش سنجش از دور و بررسی‌های میدانی در تجزیه‌وتحلیل‌های مورفوتکتونیکی: مطالعهٔ موردی زلزلهٔ بم. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۳۹(٦۰)، ۱۵-۲۹.

https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=67049

قربانی، علی؛ هنرمند، مهدی؛ حسنی، محمدجواد؛ شهریاری، هادی؛ ۱۳۹٤. استفاده از فناوری سنجش از دور در ارزیابی زیست‌محیطی معدن روی گوجر، استان کرمان، کنگره بین المللی تخصصی علوم و زمین، دورهٔ ۳٤
https://www.sid.ir/paper/842354/fa

مصطفایی، کامران؛ ۱۳۹۰. *کاربرد سنجش از دور در اکتشاف معدن*
https://civilica.com/doc/603359

ملکی، امجد؛ محمدی، سارا؛ دولتیاری، خدیجه؛ ۱۳۹۱. بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی معدن (مطالعهٔ موردی: تعدادی از معادن شهرستان کرمانشاه)، *فصلنامهٔ پژوهش‌های دانش زمین*، شمارهٔ ۱۰، صص ۹۸–۱۰۸
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088299.1391.3.2.7.2

Dong, J., Liao, M., Xu, Q., Zhang, L., Tang, M., Gong, J., 2018. Detection and displacement characterization of landslides using multitemporal satellite SAR interferometry: A case study of Danba County in the Dadu River Basin. Engineering Geology, No 240, pp95– 109. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.015

Earle, S., 2015. Physical Geology, BCcampus, 641 PP. https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/

Haigh, M.J., 1978. The Evolution of Slopes on Artificial Landforms, Blaenavon, UK. University of Chicago Press, Chicago, IL, 307 pp. ISBN: 978-0-89065-090-5

Holzhausen, G. R., 1989. Origin of sheet fracture, 1. Morphology and boundary conditions. Journal of engineering geology, 27: 225-278. https://doi.org/10.1016/0013-7952(89)90035-5

Infante, D., Confuorto, P., Dimartire, D., Ramondini, M., Calcaterra, D,2016. Use of DInSAR data for multi-level vulnerability assessment of urban settings affected by slow-moving and intermittent landslides. Procedia Engineering, No 158, pp470-475. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.474

Johnson, R. M., 1970. Physical processes in geology. Freeman and Company, San Francisco, 71-98. ISBN: 978-0877353195

Lazecky, M., Canaslan, C., Hlavacova, I., Gurboga, S., 2015. Practical Application of Satellite-Based SAR Interferometry for the Detection of Landslide Activity. procedia Earth and Planetary Science, No 15, pp 613-618. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.113

Moinvaziri, H. and Aminsobhani, I., 1978. Volcanological and volcano-sedimentological study of Sahand Mountain. TheUniversity of Tarbyat Moallim. Tehran. A report in Persian. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:9373413

Suto, L., 2010. Extraction of fossil fuels. In: Szabo´, J., David, L., Loczy, D. (Eds.), Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 131–154 (Chapter 10). http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.23-39 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

CASE STUDY DOI: 10.22067/geoeh.2022.78382.1274 Open access

The Impact of Active Tectonics on the Geomorphological Evidence of Alluvial Fans (Case Study: Alluvial Fans between Bardaskan and Kashmar)

Fateme Najafi[a], Seyed Reza Hosseinzadeh[b*], Shahram Bahrami [c]

[a] *PhD Candidate in Geomorphology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[c] *Associate Professor in Geomorphology, Department of Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

Received: 23 July 2022 ***Revised: 10 September 2022*** ***Accepted: 13 October 2022***

Abstract

This study investigated the impact of active tectonics, specifically the Dorubeh fault and an oblique-slip reverse fault, on the morphology of alluvial fans situated between Kashmar City and Ali Abad Keshmar Village in Bardaskan. The research employed a cartographic-analytical approach, utilizing 1:25,000 topographical maps, 1:100,000 and 1:250,000 geological maps, Landsat satellite images, and Google Earth. Mapping and image processing were conducted using such software as ArcMap, ArcView, Google Earth, and QGIS. The results demonstrated that fault activity plays a crucial role in shaping the predominant geomorphic features within this region, specifically the formation of alluvial fans known as bajada. The oblique-slip reverse fault, specifically, has induced significant modifications in the alluvial fans. It has repositioned the primary channels from central to peripheral and lateral positions, leading to alterations in sediment deposition patterns. Consequently, certain alluvial fans now intersect at three transverse surfaces and two longitudinal and transverse surfaces. The Doruneh fault's activity is characterized by the manifestation of uplifts, pressure ridges, and pressure anticlines occurring at various sections within the alluvial fans, including the upper, lower, and basal regions. This fault caused left-lateral offsets in certain sub-channels on the fan's surface, resulting in the development of single-surface and nested two-surface transverse and longitudinal alluvial fans at the base of the fan and the base of the pressure ridges. Furthermore, it modified the point of intersection of the primary alluvial channels, leading to the formation of segmented fans downstream of Doruneh fault.

Keywords: Active Tectonics, Active Fault, Alluvial Fans, Dorubeh, Morphology

*. Corresponding author: Seyed Reza Hosseinzadeh E-mail: srhosszadeh@um.ac.ir Tel: + 989153117325

How to cite this Article: Najafi, F., Hosseinzadeh, S. R., Bahrami,Sh. (2023). The impact of active tectonics on the geomorphological evidence of alluvial fans (case study: alluvial fans between Bardaskan and Kashmar. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 23-39.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.78382.1274

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78382.1274

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۳۹-۲۳

مطالعهٔ موردی

تأثیر تکتونیک فعال بر شواهد ژئومورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های بین بردسکن و کاشمر)

فاطمه نجفی- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
سید رضا حسین زاده[1] - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
شهرام بهرامی - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۲۱

چکیده

در این پژوهش به بررسی تأثیر تکتونیک فعال (گسل درونه و گسل مایع لغز معکوس) بر مورفولوژی مخروط افکنه‌های واقع در بین شهر کاشمر و روستای علی‌آباد کشمر شهرستان بردسکن پرداخته شده است. روش کار توصیفی- تحلیلی و بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، داده‌های تصاویر ماهواره لندست با سنجنده ETM و Google Earth انجام شده و برای ترسیم نقشه‌ها و تصاویر، نرم‌افزارهای QGIS , Arc map, Arc view, Google Earth مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داده است که تحت تأثیر فعالیت گسل‌ها، مخروط افکنه‌ها به‌صورت باهادا چشم‌انداز غالب ژئومورفیک این منطقه را تشکیل می‌دهند .فعالیت گسل مایع لغز معکوس با عبور از رأس اکثر مخروط افکنه‌ها سبب تغییر موقعیت آبراهه اصلی مخروط افکنه‌ها به قسمت حاشیه‌ای و کناری آن‌ها، تغییر موقعیت رسوب‌گذاری در نتیجه سبب تقطیع بعضی از مخروط افکنه‌ها به‌صورت سه سطحی عرضی و دوسطحی طولی و عرضی شده است. فعالیت گسل درونه با عبور از

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵ Email: Srhosseinzadeh@um.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

نجفی، فاطمه؛ حسین زاده، سیدرضا؛ بهرامی، شهرام. ۱۴۰۲. تأثیر تکتونیک فعال بر شواهد ژئومورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های بین بردسکن و کاشمر). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳) صص ۳۹-۲۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78382.1274

قسمت فوقانی، تحتانی و قاعده مخروط افکنه‌ها به‌صورت ایجاد بالا آمدگی، پشته‌های فشاری، طاقدیس فشاری مشهود است. از آثار دیگر این گسل می‌توان به جابجایی چپ‌گرد بعضی از آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه‌ها و تشکیل مخروط افکنه‌ها تک سطحی، دوسطحی عرضی و طولی (تودرتو) توسط آبراهه‌های فرعی در قاعده مخروط افکنه‌ها و پای طاقدیس‌های فشاری و همچنین تغییر نقطه تقطیع آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌ها و ایجاد مخروط افکنه‌ها تقطیع شده به‌صورت دوسطحی طولی (تودرتو) و عرضی در پایین‌دست گسل درونه اشاره کرد. در اثر فعالیت و ارتباط متقابل هر دو گسل سطوح اکثر مخروط افکنه‌های واقع در بین این دو گسل توسط آبراهه‌های فرعی به‌صورت عمیق و نیمه عمیق حفر شده و به‌شدت فرسایش پیدا کرده‌اند و همچنین آبراهه اصلی اکثر مخروط افکنه‌ها بستر خود را عمیقاً حفر کرده که منجر به ایجاد پادگانه‌های آبرفتی در مسیر خود شده‌اند از دیگر آثار متقابل فعالیت هر دو گسل می‌توان به هم پیوستن آبراهه‌های اصلی و فرعی مخروط افکنه‌ها و به‌تبع آن تشکیل آبراهه‌های واحد و ایجاد مخروط افکنه‌های دو سطحی عرضی و طولی (تودرتو) در پایین‌دست گسل درونه نام برد.

کلیدواژه‌ها: تکتونیک فعال، گسل فعال، مخروط افکنه، درونه، مورفولوژی.

۱- مقدمه

مخروط افکنه‌ها یکی از متداول‌ترین لندفرم‌ها در جبهه کوهستانی نواحی خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آیند. (رهیزوهمکاران[1]،۱۹۹٦؛ آون وهمکاران[2]، ۲۰۱٤). به اشکال بادبزنی یا مخروطی شکلی که از رسوبات رودخانه‌ای یا جریانات پررسوب ناهمگن در یک تغییر شیب توپوگرافی مثل جبهه کوهستان، پرتگاه یا کنار یک دره تشکیل می‌شوند، مخروط افکنه گفته می‌شود (مقصودی و محمد نژادآروق، ۱۳۹۰). ایجاد و توسعه، فرایندهای رسوب‌گذاری، مورفولوژی و مورفومتری مخروط افکنه‌ها توسط عوامل متعددی از قبیل فعالیت‌های تکتونیکی، آب‌وهوا، لیتولوژی، تغییر سطح اساس و ویژگی‌های مورفومتریک حوضه‌ها کنترل می‌شوند (بهرامی، ۲۰۱۳). حرکات تکتونیکی اغلب در اشکال ژئومورفیک بازتاب داشته به‌طوری‌که این اشکال می‌توانند به کمترین تغییرات واکنش نشان دهند. الگوی شبکه زهکشی و عملکرد آن در سطح مخروط افکنه‌ها به‌طور قابل‌توجهی می‌توانند تحت کنترل فعالیت‌های تکتونیکی باشد (یمانی،۱۳۹۱). موقعیت، تقطیع رسوبات مخروط افکنه‌ها، بافت، مورفولوژی و مورفومتریک مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر گسلش و فعالیت تکتونیکی قرار می‌گیرند. (هوک[3] ۱۹۷۲؛ بول[4]، ۱۹۷۷؛ هاروی[5] ،۱۹۸۷؛ کلارک[6]،۱۹۹۸). تغییر مکان آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌ها از بخش میانی به بخش کناری و

1 Reheis et al.
2 Owen et al.
3 Hooke
4 Bull
5 Harvey
6 Clarke

حاشیه‌ای سطح مخروط افکنه موجب تشکیل سطوح فعال و غیرفعال و تقطیع آن‌ها خواهد شد که در این تغییر مکان، سه عامل مؤثر هستند ۱- کج شدگی بلوکی که مخروط افکنه بر روی آن تشکیل شده است ۲- حرکت امتداد لغز جوان گسلی واقع در بین کوه و دشت که موجب جابجایی کوهستان نسبت به مخروط افکنه می‌شود۳- رسوب‌گذاری در مدت‌زمان نسبتاً طولانی و کاهش شیب در بخش میانی سطح مخروط افکنه اتفاق افتاده است (بوربانک و آندرسون[1] ۲۰۰۱). پژوهش‌های متعددی در جهان و ایران در رابطه با تأثیر تکتونیک بر مخروط افکنه‌ها انجام شده که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود بول (۱۹٦٤) با بررسی نیمرخ‌های طولی مخروط افکنه‌های فرزنوی کالیفرنیای آمریکا به این نتیجه رسید که فعالیت‌های تکتونیکی در تقطیع آن‌ها نقش داشته است. هوک (۱۹۷۲) نشان داد که تکتونیک در تشکیل مخروط افکنه‌ها تقطیع شده دره کالیفرنیا مؤثر بوده است. لی وهمکاران[2] (۱۹۹۹) با بررسی مخروط افکنه‌های شمال شرق کوین قالی تبت در شمال غرب چین به این نتیجه رسیدند که فعالیت گسل‌ها در تقطیع مخروط افکنه و همچنین در ایجاد مخروط افکنه‌های جدید نقش داشته است. مالیک وهمکاران[3] (۲۰۰۱) با بررسی مخروط افکنه‌های غرب هند مشخص کردند که بالا آمدگی رشته‌کوه کاچچه مهم‌ترین عامل حفر سطح مخروط افکنه‌های این ناحیه محسوب می‌شود. گواسمی و همکاران[4](۲۰۰۹) با تحقیق بر روی مخروط افکنه‌های دشت گنگ در هند نشان دادند که تغییر موقعیت کانال‌ها، حفر سطح مخروط افکنه‌ها و تغییر مکان رسوب‌گذاری و زاویه جاروب آن‌ها تحت تأثیر تکتونیک به‌ویژه فرونشینی منطقه است. سارپ[5] (۲۰۱۵) با بررسی شاخص‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها و حوضه آبریز آن‌ها در حوضه جدایشی- کششی ارزینکن ترکیه نشان داد که مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و حوضه آبریز آن‌ها توسط فعالیت‌های مداوم تکتونیکی سیستم گسلی آناتولی شمالی کنترل می‌شود. در ایران روستایی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ به این نتیجه رسیدند که فعالیت تکتونیکی بر شکل، دسترسی، جایگزینی، وسعت، ضخامت رسوب‌ها و تکه تکه شدن مخروط افکنه‌های تأثیر داشته است. بهرامی وهمکاران (۱۳۹۱) با بررسی نقش تکتونیک در میزان برش مخروط افکنه‌های طاقدیس دنه خشک به این نتیجه رسیدند که برش مخروط افکنه‌های این ناحیه تحت تأثیر وضعیت تکتونیکی یا شیب ساختمانی پهلوهای طاقدیس بوده است. فتوحی(۱۳۹۲) با بررسی تکتونیک فعال بر مخروط افکنه دوقلوی وزیره در جنوب شهر قطرویه در جنوب شهرستان نیریز فارس به این نتیجه رسید که پایین‌افتادگی چاله‌میدان گل تحت تأثیر فعالیت گسل وزیره، موجب افزایش میزان فرایش نسبت به فرسایش شده که در نتیجه در پیدایش مخروط افکنه دوقلوی وزیره تأثیر داشته است.آروق و اصغری (۱۳۹٤) با بررسی آثار و شواهد گسل‌های فعال بر مورفولوژی مخروط

1 Burbank and Anderson
2 Li et al.
3 Malik et al.
4 Goswami et al.
5 Sarp

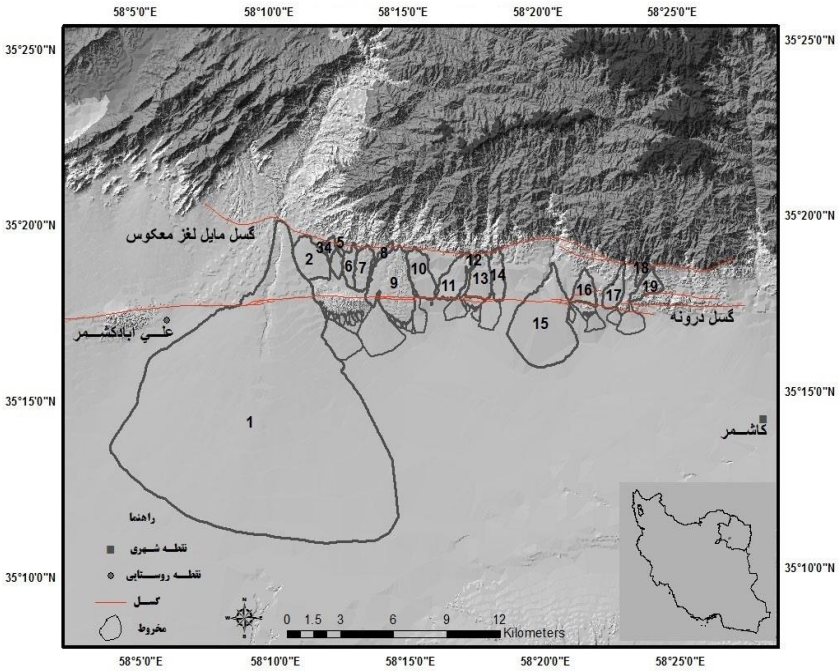
افکنه‌های واقع در بخش شـرقی گرمسـار نشـان دادند که فعالیت گسـل‌های گرمسـار، کلوت و قربیلک در بالا آمدن رسـوب‌های مخروط افکنه ای و رسـوبات الیگوسـن زیرین، تشـکیل سـطوح مختلف بالا آمده، متروک شـدن سـطح مخروط افکنه‌ها، جابجایی افقی شـبکه زهکشـی سـطح مخروط افکنه‌ها، جابجایی نقطه تقطیع آبراهه‌ها و فضـای قابل دسترس مخروط افکنه‌ها تأثیر داشته است. گورابی و محمدنژاد (۱۳۹۷) با بررسی آثار تکتونیک فعال در اطراف کویر طبس به این نتیجه رسـیدند که سـیسـتم گسـلی فعال در این منطقه موجب چین خوردگی رسـوبات کواترنر، رشـد چین‌ها، جابه‌جایی مسیل، تشکیل پرتگاه، پیدایش دره‌های بسیار عمیق کانیونی، تقطیع و جابجایی مخروط افکنه‌ها از جبهه کوهسـتان به سـمت پلا یای طبس شـده اسـت. هدف این پژوهش بررسـی نحوه تأثیر فعالیت گسـل‌های واقع در بین شهر کاشمر و روستای علی‌آباد کشمر بر شواهد مورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها منطقه است.

۲- مواد و روش‌ها

در مرحله اول بر اساس پژوهش‌های تکتونیکی انجام شده در منطقه موردمطالعه وضعیت منطقه از نظر تکتونیکی یعنی موقعیت، نوع گسل‌ها، ویژگی و نحوه جابجایی و فعالیت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله دوم مقالات مربوط به تأثیر تکتونیک بر مورفولوژی مخروط افکنه‌ها به‌ویژه مخروط افکنه‌های تقطیع شده در ایران و جهان مطالعه شـد. در مرحله سـوم با اسـتفاده از نقشـه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشـه‌های زمین‌شـناسـی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و۱:۲۵۰۰۰۰ و تصـاویر ماهواره لندسـت با سـنجنده ETM و google Earth به‌عنوان ابزار اصـلی تحقیق، محدوده مخروط افکنه‌ها و حوزه زهکشی آن‌ها ترسیم شد و سپس با استفاده تفاوت الگوی آبراهه‌ها، الگوی منحنی میزان و رنگ مخروط افکنه‌ها سطح‌بندی مخروط افکنه‌ها استخراج گردید. در مرحله چهارم با تلفیق و تطبیق لایه‌های مختلف رقومی از قبیل مخروط افکنه‌ها، آبراهـه‌ها و گسـل‌ها نقش تکتونیک بر مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و آبراهـه‌هـای آن‌هـا تجزیـه‌وتحلیـل شـد کـه در همـه این مراحـل نرم‌افزارهـای مختلف Arc view, Google Earth,QGIS,Arc map مورد استفاده قرار گرفته شد.

۳- موقعیت و شرایط تکتونیکی منطقه موردمطالعه

مخروط افکنه‌های مورد بررسی در شمال شرق ایران در جنوب غربی استان خراسان رضوی بین شهر کاشمر و روستای علی‌آباد کشمر شهرستان بردسکن قرار گرفته است. کوه سرخ مهم‌ترین ارتفاع این منطقه را تشکیل می‌دهد بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات تکتونیکی پیشین، دو گسل اصلی در این منطقه وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها گسل درونه است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت مخروط افکنه‌های منطقه موردمطالعه

گسل درونه با طول تقریباً ٦٠٠ کیلومتر، طولانی‌ترین و مهم‌ترین ساختار خطی بعد از گسل زاگرس در ایران محسوب می‌شود (تچالنکو[1]،۱۹۷۳). این گسل ترا گذر مرزی در مرز بین کپه داغ در شمال و بلوک یزد و لوت در جنوب واقع شده است (امینی وهمکاران،۱۳۹۳). گسل درونه با جهت شمال غرب- جنوب شرق از مرز ایران و افغانستان شروع شده و با جهت شرقی - غربی در بخش مرکزی گسل تا نزدیکی مرکز ایران با جهت شمال شرق - جنوب غرب امتداد می‌یابد. (زارع، ۱۳۷۹). این گسل با شکل منحنی یا خمیده بر اساس ژئومتری، جهت و عرض به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم می‌شود که هر بخش نسبت به بخش‌های دیگر گسل ویژگی‌های ژئومتری، حرکتی، ساختاری و ژئومورفیک متفاوتی دارد. بخش غربی گسل با مکانیسم چپ گرد معکوس با ژئومتری فراگام چپ گرد، بخش مرکزی گسل امتداد لغزچپ گرد با گسل‌های تقریباً موازی و بخش شرقی گسل با گسلش معکوس و چین خوردگی مرتبط با گسل مشخص می‌شوند. بخش مرکزی گسل از منطقه موردمطالعه عبور کرده که با طول تقریبی ١٤٠ کیلومتر بین طول‌های جغرافیایی ′٥٩°١٥ تا′٥٧°٣٧ شرقی امتداد یافته است این قسمت از گسل شامل ۹ رشته موازی با طول بین ٥ تا ٤٥ کیلومتریک بخش کم‌عرض با پهنای چند متر تا ٤٠٠ متر را تشکیل می‌دهد. مکانیسم جابجایی یا حرکت در بخش مرکزی گسل امتداد لغز است اما پیچیدگی‌های ساختاری از قبیل پله‌ها و خم‌های آزاد و

1 Tchalenko

گرفتار موجب شیوه‌های متفاوت تغییر شکل در این قسمت از گسل شده در نتیجه قلمروهای بزرگ و متنوعی از کوتاه شدگی کوششی در این بخش از گسل ایجاد شده است. به عبارتی موقعیت و جهت قلمرو محلی کششی و فشارشی و اشکال ژئومورفیک مربوطه، به ژئومتری خم و پله زون امتداد لغز و همچنین به درجه تراکششی و ترافشارشی بستگی دارد (فربد،۲۰۱۱)؛ بنابراین در بخش مرکزی گسل هم فعالیت تراکششی وهم ترا فشارشی اتفاق افتاده به عبارتی بر اثر فعالیت ترا فشارشی بالا آمدگی و چین‌خوردگی‌های متعدد و جوانی شامل پشته‌های فشاری و طاقدیس فشاری در رسوبات آبرفتی پلیوسن – پلیستوسن ایجاد شده است که ازجمله این چین‌خوردگی‌ها می‌توان کاج درخت، شمال خلیل‌آباد، شمال محمدیه، کوه تیغ احمد و غیره نام برد و همچنین در اثر فعالیت تراکششی، حوضه‌های کششی- جدایشی ایجاد شده که می‌توان به حوضه‌های کششی- جدایشی ششطراز و فورشه اشاره کرد (جوادی و همکاران۱۳۸۹، فتاحی و همکاران، ۲۰۰۹). گسل مورب لغز یا مایل لغز معکوس در شمال گسل درونه از دیگر گسل‌های است که با عبور از جبهه کوهستان بر منطقه موردمطالعه تأثیر داشته است (شکل ۱). در اثر وجود و ارتباط متقابل گسل چپ گرد درونه و گسل مایل لغز معکوس بین شهر کاشمر و روستای علی‌آباد کشمر یک گوه انقباضی یا فشارشی کم‌عرضی ایجاد شده که منجر به تشکیل قلمروهای بالا آمده نسبتاً وسیعی شده، به‌تبع آن سطوح مخروط افکنه‌ها بالا آمده و به‌شدت دچار فرسایش شده‌اند (فربد،۲۰۱۱).

٤- نتایج و بحث

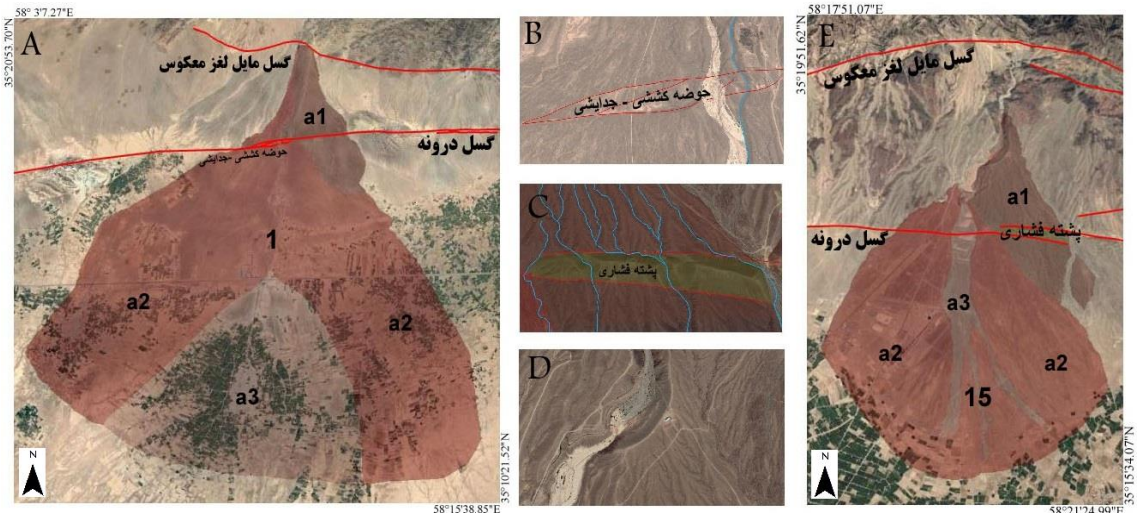
٤-١- تأثیر فعالیت گسل‌ها بر تحول و شواهد مورفولوژی مخروط افکنه‌ها

چشم‌انداز مناطق فعال از نظر تکتونیکی با مخروط افکنه‌های زیادی مشخص می‌شوند اما در مناطقی که از نظر تکتونیکی در شرایط پایدار قرار دارند معمولاً دشت سرها مشاهده می‌شوند (بول، ۱۹۷۷). فعالیت‌های تکتونیکی با ایجاد تغییر در شرایط هیدرولوژیک رودها از طریق تغییر در سطح اساس یا شیب طولی رودها می‌توانند موجب تغییر در فرایندهای فرسایشی رودها شوند بنابراین در چنین وضعیتی موقعیت حفر یا رسوب‌گذاری رودها تغییر پیدا می‌کند که نتیجه تغییر در موقعیت حفر و یا رسوب‌گذاری رودها، جابجایی مراکز بیشینه رسوبی به شکل عرضی در دو طرف مخروط افکنه یا به‌صورت طولی به سمت رأس یا قاعده مخروط افکنه و به دنبال آن تشکیل مخروط افکنه جدید، تقطیع شده، فرسایش و تخریب مخروط افکنه‌های موجود است (بول، ۲۰۰۷)؛ بنابراین مورفولوژی مخروط افکنه‌های تقطیع شده می‌تواند شاخصی برای فعالیت‌های تکتونیکی باشد به دلیل اینکه مخروط افکنه‌ها می‌توانند منعکس کننده نرخ‌های متفاوت فرایندهای تکتونیکی از قبیل گسلش، کج شدگی، چین خوردگی و بالاآمدگی در نزدیکی جبهه کوهستان باشند (کلر و پینتر[1] ۲۰۰۲).

1 Keller and Pinter

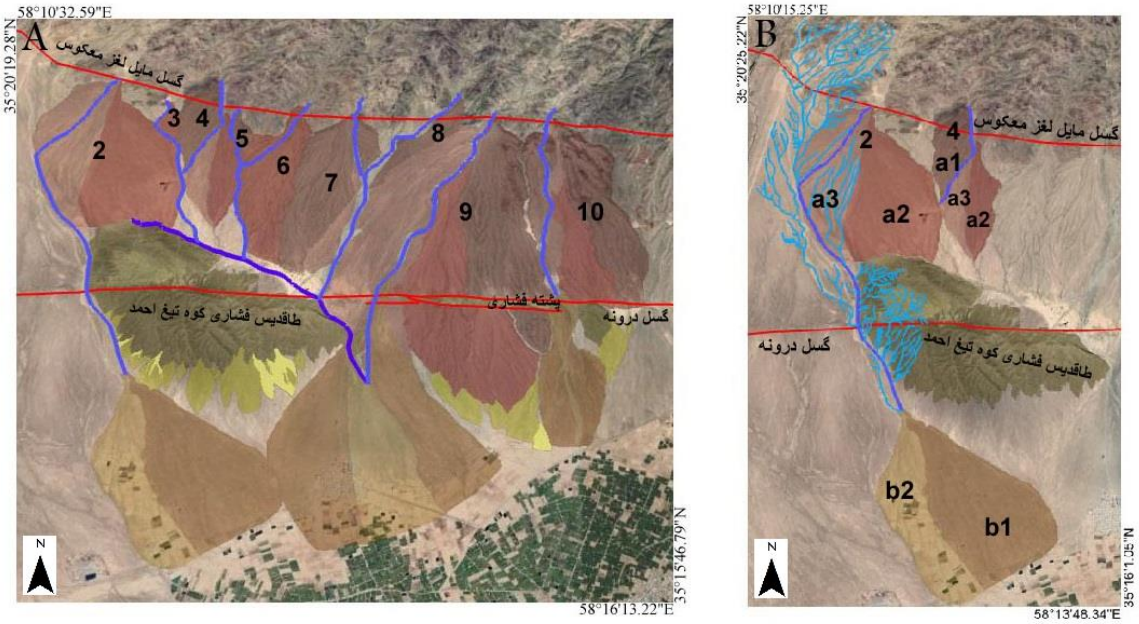
تحت تأثیر فعالیت گسل‌ها، مخروط افکنه‌ها اشکال غالب در جبهه کوهستان و پایکوه های منطقه، محسوب می‌شوند به‌طوری‌که مخروط افکنه‌ها بزرگ و کوچک در کنار هم به‌صورت باهادا چشم‌انداز اصلی ژئومورفیک این منطقه را تشکیل می‌دهند. در منطقه موردمطالعه گسل ملیل لغز معکوس از رأس اکثر مخروط افکنه‌ها واقع بین روستای علی‌آباد کشمر و شهر کاشمر یعنی مخروط افکنه‌های شماره ۱ تا ۱۹ و گسل درونه در این بخش از منطقه موردمطالعه از قسمت رأس، فوقانی، تحتانی و قاعده مخروط افکنه‌ها عبور می‌کند (شکل ۱). با توجه به موقعیت یا نحوه قرارگیری و فعالیت این گسل‌ها تأثیرات متفاوتی بر مورفولوژی مخروط افکنه داشته‌اند. تحت تأثیر فعالیت گسل‌ها، اکثریت مخروط افکنه‌ها تقطیع شده‌اند یا به بیان دیگر اکثر مخروط افکنه‌های به‌صورت چند سطحی عرضی و طولی یا شعاعی با سطوح رسوب‌گذاری متفاوت شکل گرفته‌اند و توالی مخروط افکنه‌ها هم در این منطقه مشاهده می‌شود که در ادامه بحث به آن پرداخته خواهد شد.

گسل درونه با عبور از قسمت فوقانی مخروط افکنه‌های شماره ۱ و ۱۵ موجب تقطیع آن‌ها شده است به‌طوری‌که این مخروط افکنه‌ها از سه سطح بسیار قدیمی، قدیمی و جدید به‌صورت طولی یا شعاعی تشکیل شده اندکه سطوح قدیمی وجدید این مخروط افکنه‌ها به‌صورت تودرتو شکل گرفته‌اند. در اثر حفر شدید ناشی از فعالیت گسل در مسیر آبراهه اصلی هر دو مخروط افکنه پادگان‌های آبرفتی دیده می‌شود. سطح بسیار قدیمی مخروط افکنه شماره ۱۵ تحت تأثیر فعالیت ترا فشارشی گسل دچار بالا آمدگی شده و در آن پشته‌های فشاری ایجاد شده است و جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی در سطح بسیار قدیمی آن مشاهده می‌شود. فتاحی و همکاران (۲۰۰۹) به ایجاد یک حوضه کششی- جدایشی کوچک اما با انحنای زیاد بر اثر فعالیت ترا کششی گسل در سطح قدیمی مخروط افکنه شماره ۱ یا مخروط افکنه رود ششطراز و به جابه‌جایی چپ گرد حدود ۲۵ متر در سطح قدیمی مخروط افکنه در امتداد رود ششطراز تحت تاثیرفعالیت گسل اشاره کرده‌اند (شکل ۲).



شکل۲-A وE تقطیع مخروط افکنه‌های شماره ۱ (A) و شماره ۱۵ (E) به‌صورت طولی (تودرتو) تحت تاثیر فعالیت گسل درونهa1 سطح بسیار قدیمی a2 سطح قدیمی a3 سطح جدید. (B) حوضه کششی- جدایشی در سطح قدیمی، جابجایی آبراهه به میزان ۲۵ متر در سطح قدیمی و پادگانه آبرفتی در مسیر آبراهه اصلی مخروطه افکنه شماره ۱ تحت تاثیرفعالیت گسل درونه. (C) پشته فشاری ناشی از فعالیت ترا فشارشی گسل درونه وجابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی در سطح بسیار قدیمی مخروط افکنه شماره ۱۵. (D) پادگانه آبرفتی در مسیر آبراهه اصلی مخروط افکنه شماره ۱۵ تحت تاثیرفعالیت گسل درونه.

گسل مایل لغز معکوس در رأس مخروط افکنه شماره ۲ با تغییر موقعیت آبراهه اصلی آن به سمت غرب سبب ایجاد یک سطح جدید در کنار سطح قدیمی به‌صورت عرضی شده است. فعالیت هر دو گسل مایل لغز معکوس و درونه، موجب به هم پیوستن آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح جدید مخروط افکنه شماره۲ با آبراهه‌های فرعی بین دو مخروط افکنه ۱ و ۲ شده است که بعد از عبور از خط گسل درونه و غرب طاقدیس فشاری کوه تیغ احمد ودریافت آبراهه‌هایش با تشکیل آبراهه واحد، نقطه تقطیع و محل رسوب گذاری آن تغییر یافته و مخروط افکنه جدیدی ایجاد نموده که ادامه فعالیت گسل درونه سبب تغییر موقعیت آبراهه اصلی آن به سمت غرب و به‌تبع آن سبب تشکیل سطح جدیدی به‌صورت عرضی در کنارسطح قدیمی شده است. اثر گسل مایل لغز معکوس درقسمت فوقانی مخروط افکنه شماره ٤ به‌صورت تغییر موقعیت آبراهه اصلی مخروط افکنه و محل رسوب گذاری آن و در نتیجه تشکیل یک مخروط افکنه دو سطحی عرضی در کنار این مخروط افکنه در ارتفاع پایین‌تر و تغییر مکان آبراهه اصلی به قسمت کناری این مخروط افکنه دو سطحی بوده است (شکل ۳).

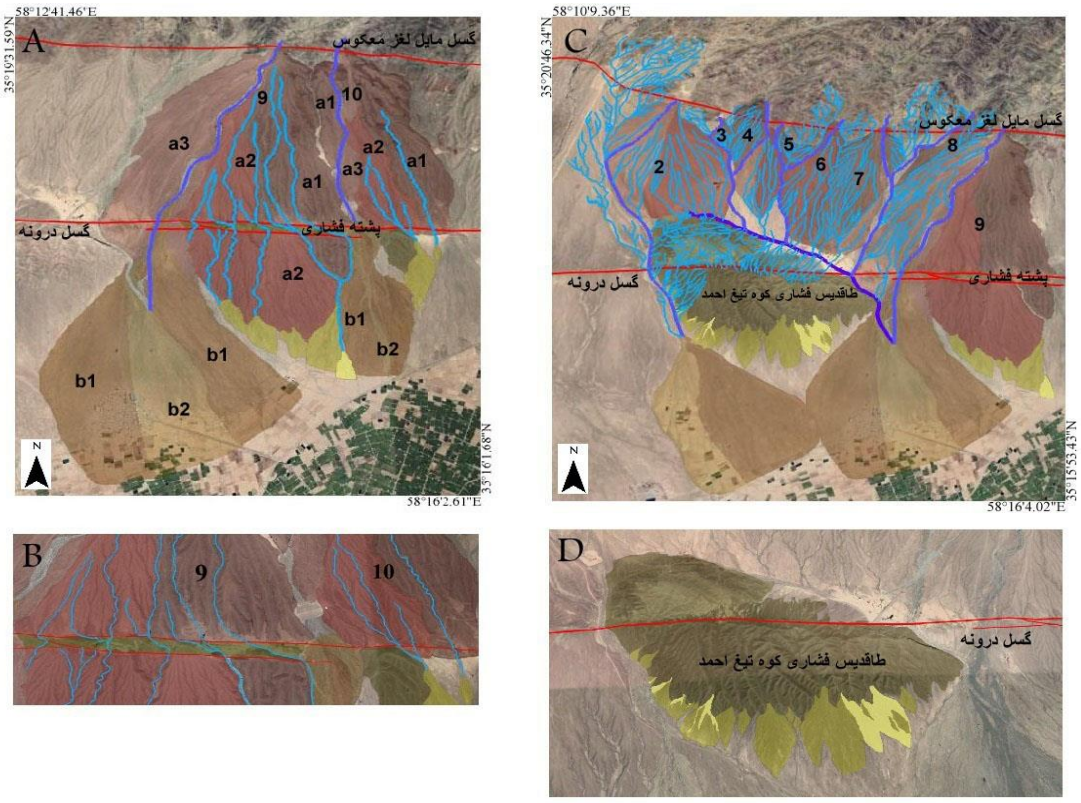


شکل۳-(A) نمای کلی موقعیت مخروط افکنه‌ها شماره۱۰ تا۲ و تغییر موقعیت آبراهه‌های اصلی آن‌ها.B تقطیع مخروط افکنه شماره ۲ به‌صورت عرضی دو سطحی تحت تأثیر گسل مایل لغز معکوس، به هم پیوستن آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح جدید مخروط افکنه شماره۲ با آبراهه‌های فرعی بین دو مخروط افکنه ۱ و ۲ تحت تاثیرفعالیت گسل مایل لغز معکوس و گسل درونه وتغییر نقطه تقطیع بعد از عبور از گسل درونه و ایجاد مخروط افکنه تقطیع شده عرضی دو سطحی در پایین دست گسل درونه. ایجاد مخروط افکنه جدید دو سطحی عرضی در کنار مخروطه افکنه بسیار قدیمی شماره٤ وتغییر موقعیت آبراهه اصلی به قسمت کناری در مخروطه افکنه دو سطحی تحت تأثیر گسل مایل لغز معکوس. a1 سطح بسیار قدیمی a2 سطح قدیمی a3 سطح جدید و b1 سطح قدیمیb2 سطح جدید.

فعالیت گسل مایل لغز معکوس در رأس مخروط افکنه شماره ۸،۵،۳ موجب تغییر آبراهه اصلی این مخروط افکنه‌ها به قسمت کناری و مخرو ط افکنه‌ها٦ و۷ شده به قسمت حاشیه‌ای و دو سطحی شدن مخرو ط افکنه شماره ۷ شده است. تحت تاثیر هر دو گسل مایل لغز معکوس و گسل درونه سطح مخرو ط افکنه‌ها توسط آبراهه‌ها فرعی به‌صورت عمیق و نیمه عمیق حفر شده است (شکل ۳).

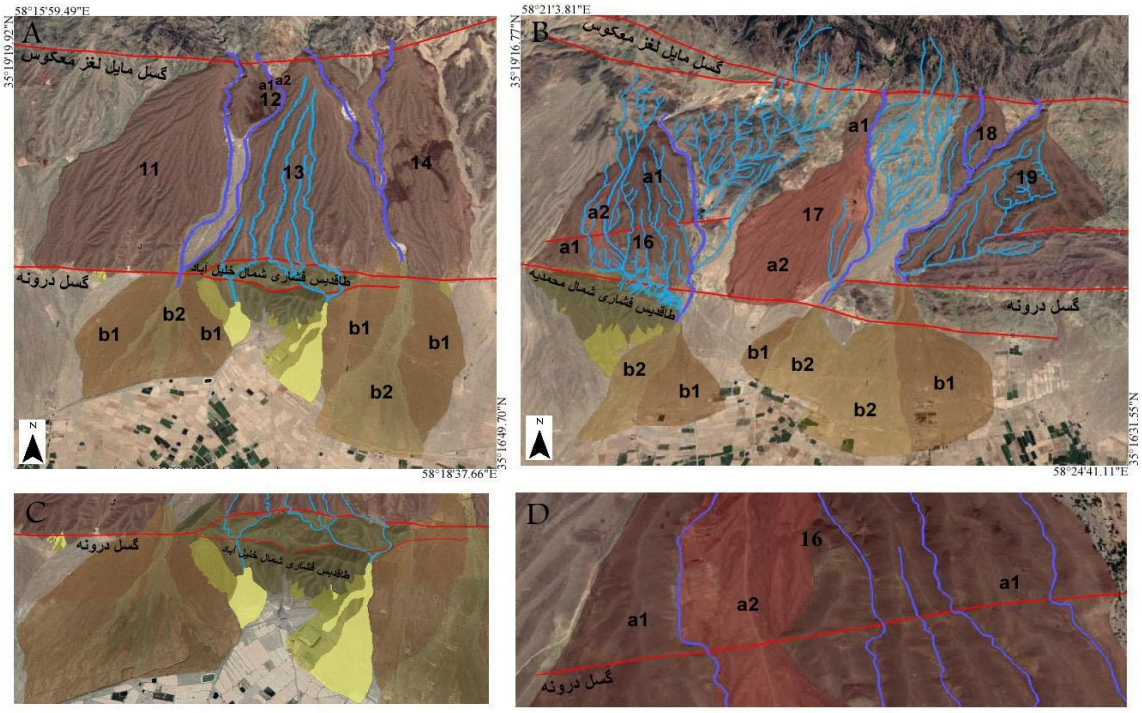
گسل مایل لغز معکوس در رأس مخروط افکنه‌های شماره ۱۰ و ۹ با تغییر موقعیت آبراهه اصلی مخروط افکنه‌ها به سمت غرب موجب تقطیع مخروط افکنه به سه سطح بسیار قدیمی، قدیمی و جدید به‌صورت عرضی شده است. گسل درونه به ترتیب با عبور از قسمت تحتانی و قاعده مخروط افکنه‌های ۱۰ و۹ این مخروط افکنه‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده است. فعالیت ترافشارشی گسل در سطوح بسیار قدیمی و قدیمی، به‌صورت بالا آمدگی و پشته فشاری

مشهود است و در آبراهه‌های فرعی واقع بر روی این سطوح در محل عبورگسل درونه جابجایی چپ گرد و حفر عمیق صورت گرفته که بعضی ازاین آبراهه‌های فرعی در مخروط افکنه شماره ۹ به‌صورت بی سرمشاهده می‌شود و تعدادی از آبراهه‌های فرعی پس از عبور از گسل درونه و پشته‌های فشاری در قسمت قاعده سطوح بسیار قدیمی و قدیمی مخروط افکنه‌ها، مخروط افکنه‌های تک سطحی تشکیل داده‌اند البته در اثر فعالیت گسل درونه نیز چند آبراهه فرعی به هم پیوسته ودرقاعده مخروط افکنه شماره۹ در کنار مخروط افکنه قدیمی یک مخروط افکنه جدیدتر ایجاد نموده‌اند. تحت تأثیر فعالیت هر دو گسل سطوح بسیار قدیمی و قدیمی مخروط افکنه‌ها به‌شدت حفرو فرسایش پیدا کرده‌اند و آبراهه‌های اصلی هر دو مخروط افکنه با حفر عمیق ناشی از فعالیت هر دو گسل با ایجاد پادگانه آبرفتی در مسیر خود بعد از عبورازگسل درونه و با تغییر نقطه تقطیع و محل رسوب گذاری، مخروط افکنه‌های دو سطحی طولی (تودرتو) در پایین دست خط گسل درونه ایجاد کرده‌اند .علاوه بر این به سطح جدید مخروط افکنه تودرتوی که آبراهه اصلی شماره ۹ در پایین دست گسل درونه ایجاد کرده است جریانی از سمت غرب وارد شده به‌طوریکه بالا آمدگی سطوح مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر فعالیت هر دو گسل و طاقدیس فشاری کوه تیغ احمد ناشی از فعالیت ترا فشارشی گسل درونه در جنوب مخروط افکنه‌های شماره ۲،۳،٤،٥،٦،۷،۸ وسطح جدید مخروط افکنه شماره۹ به‌عنوان یک مانع مسدودکننده، موجب به هم پیوستن آبراهه‌های فرعی مخروط افکنه شماره ۲، آبراهه‌های فرعی و اصلی مخروط افکنه‌های شماره۳،٤،٥،٦،۷،۸ و آبراهه‌های یال شمالی طاقدیس فشاری تیغ احمدشده که در نهایت با تشکیل یک آبراهه واحد و پس از عبور از پای یال شمالی طاقدیس فشاری تیغ احمد وارد مخروط افکنه تودرتو شده است. آبراهه‌هایی که از یال شمالی به‌ویژه یال جنوبی طاقدیس فشاری تیغ احمد سرچشمه می‌گیرند در پای آن مخروط افکنه‌های متعددی ایجاد نموده‌اند که ناشی از فعالیت گسل درونه است. از دیگر آثار این گسل می‌توان به دوسطحی شدن عرضی و طولی یا شعاعی و تغییر مسیر آبراهه‌های اصلی به قسمت کناری و حاشیه‌ای بعضی از این مخروطه افکنه‌ها در پای یال جنوبی طاقدیس فشاری تیغ احمد اشاره کرد (شکل ٤).



شکل ٤- (A) تقطیع مخروط افکنه‌های شماره ۱۰ و۹ به‌صورت عرضی سه سطحی به دلیل فعالیت گسل مایل لغز معکوس a1 سطح بسیار قدیمی a2 سطح قدیمی a3 سطح جدید و تغییر نقطه تقطیع تحت تأثیر فعالیت گسل درونه و ایجاد مخروط افکنه دو سطحی طولی (تو در تو) در پایین دست گسل درونه توسط آ براهه های اصلی مخروط افکنه‌های شماره۱۰ وb19 سطح قدیمیb2 سطح جدید. پشته فشاری و بالا آمدگی ناشی از فعالیت ترافشارشی گسل درونه در قسمت تحتانی و قاعده مخروطه افکنه‌های شماره ۱۰ و۹ وایجاد مخروط افکنه تک سطحی و تشکیل مخروط افکنه قدیم و جدید در کنار هم در قاعده مخروط افکنه‌های شماره ۱۰ و۹ توسط آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر فعالیت گسل درونه. (B) جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی در سطوح بسیار قدیمی و قدیمی مخروط افکنه‌ها شماره ۱۰ و۹ و آبراهه‌های بی سر مخروط افکنه شماره ۹ تحت تأثیر فعالیت گسل درونه. (C) به هم پیوستن آبراهه‌های فرعی مخروط افکنه‌های شماره ۲ و آبراهه‌های فرعی و اصلی مخروط افکنه شماره ۸،۷،٦،٥،٤،۳ و آبراهه‌های یال شمالی طاقدیس فشاری کوه تیغ احمد تحت تأثیر فعالیت هر دو گسل مایل لغز معکوس و درونه وتشکیل آبراهه واحد و ورود به مخروط افکنه تودر تودر پایین دست گسل درونه. (D) ایجاد مخروطه افکنه‌های تک سطحی، دو سطحی عرضی و طولی (رنگ سدری سطوح قدیمی و رنگ زرد سطوح جدید مخروط افکنه‌ها) در پای طاقدیس فشاری کوه تیغ احمدتحت تأثیر فعالیت گسل درونه.

گسل مایل لغز معکوس با عبور ازراس وگسل درونه با عبور از قاعده مخروط افکنه‌های شماره ۱۱،۱۲،۱۳،۱٤،۱٦،۱۷،۱۸،۱۹ این مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. گسل مایل لغز معکوس موجب تغییر مسیر آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌های شماره۱۱،۱۲،۱۳،۱٤ به قسمت حاشیه‌ای و مخروط افکنه‌های شماره۱٦،۱۷،۱۹ به قسمت کناری مخروط افکنه‌ها شده است. تحت تأثیر فعالیت گسل مایل لغزمعکوس مخروط افکنه‌های شماره ۱۲ به‌صورت دوسطحی عرضی، شماره ۱٦ دوسطحی طولی (تودرتو) و شماره۱۷ دوسطحی طولی شکل گرفته‌اند که سطح قدیمی مخروط افکنه تودرتو شماره ۱٦ نتیجه رسوب‌گذاری آبراهه‌های فرعی است که خارج از مخروط از شمال غرب مخروط افکنه واردسطح بسیار قدیمی شده است. آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌های شماره ۱۱ با۱۲ وشماره۱۳ با۱٤، آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه شماره ۱٦ با آبراهه‌های واقع در بین مخروط افکنه‌های شماره ۱٦ و ۱۷، آبراهه اصلی مخروط افکنه شماره ۱۷ و تعداد معدودی از آبراهه‌های فرعی آن با آبراهه‌های چند مخروط افکنه به‌شدت فرسایش و تخریب یافته و آبراهه‌های اصلی و فرعی مخروط افکنه‌های شماره ۱۸،۱۹ تحت تأثیر فعالیت هر دوگسل به هم پیوسته و با تشکیل آبراهه واحد بعد از عبور از گسل درونه و تغییر نقطه تقطیع به ترتیب مخروط افکنه‌های دوسطحی تودرتو، تو درتو، دوسطحی عرضی، عرضی و عرضی در پایین دست خط گسل درونه ایجاد کرده‌اند. تحت تأثیر فعالیت هر دو گسل آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه‌های ۱۱،۱۲،۱۳،۱٤،۱٦،۱۷،۱۸،۱۹ را به‌شدت حفر نموده‌اند و در آبراهه‌های فرعی واقع بر روی سطوح مخروط افکنه‌های۱٦ و۱۳ در محل عبورگسل درونه جابجایی چپ گرد رخ داده است. درقاعده اکثر این مخروط افکنه‌ها بر اثر فعالیت ترافشارشی گسل درونه بالا آمدگی و چین خوردگی ایجاد شده که به‌ویژه در مخروط افکنه ۱٦ و ۱۳ با نمود بیشتری مشاهده می‌شود. بعضی از این آبراهه‌های فرعی پس از عبور از بالا آمدگی وطاقدیس فشاری مخروط افکنه‌های را ایجاد کرده‌اند که اکثر این مخروط افکنه‌ها، مانند مخروط افکنه‌های پای طاقدیس فشاری شمال محمدیه درقاعده مخروط افکنه ۱٦ به‌صورت تک سطحی بوده ولی در قاعده مخروط افکنه شماره ۱۱ مخروط افکنه‌های دو سطحی طولی یا شعاعی تشکیل شده و درپای طاقدیس فشاری شمال خلیل آباد درقاعده مخروط افکنه شماره۱۳ مخروط افکنه دو سطحی عرضی ومخروط افکنه جدید در کنار مخروط افکنه قدیمی مشاهده می‌شود شکل (۵).



شکل۵- (A) و (B) تغییر مسیر آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌های شماره۱۱،۱۳،۱۲،۱٤ به قسمت حاشیه‌ای و مخروط افکنه‌های شماره ۱٦،۱۷،۱۹ به قسمت کناری مخروط افکنه و تقطیع مخروط افکنه‌های شماره ۱۲ به‌صورت دوسطحی عرضی، شماره۱٦ دوسطحی طولی (تودرتو) وشماره۱۷ دوسطحی طولی یا شعاعی تحت تأثیر گسل مایل لغز معکوس a1 سطح بسیار قدیمی a2 سطح قدیمی. تشکیل آبراهه واحد تحت تأثیر فعالیت گسل‌های مایل لغز معکوس و درونه با به هم پیوستن آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌های شماره ۱۲ با۱۱، شماره۱٤ با۱۳، آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه شماره ۱٦ با آبراهه‌های واقع در بین مخروط افکنه‌های شماره ۱٦ و ۱۷، آبراهه اصلی مخروط افکنه شماره ۱۷ و تعداد معدودی از آبراهه‌های فرعی آن با آبراهه‌های چند مخروط افکنه به‌شدت فرسایش و تخریب یافته و آبراهه‌های اصلی و فرعی مخروط افکنه‌های شماره ۱۹ با۱۸، تغییر نقطه تقطیع ایجاد مخروط افکنه‌های دوسطحی تودرتو و عرضی در پایین‌دست گسل درونه b1 سطح قدیمی b2 سطح جدید. (C) جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی مخروط افکنه شماره۱۳، ایجاد مخروطه افکنه‌های تک سطحی، دو سطحی عرضی و ایجاد مخروط افکنه جدید در کنار مخروط افکنه قدیمی توسط آبراهه‌های فرعی در پای طاقدیس فشاری خلیل آباد در قاعده مخروط افکنه شماره ۱۳ و دو سطحی طولی در قاعده مخروط افکنه شماره مخروط افکنه ۱۱ تحت تأثیر فعالیت گسل درونه. (رنگ سدری سطوح قدیمی و رنگ زرد سطوح جدید مخروط افکنه‌ها) (D) جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی مخروط افکنه شماره۱٦ تحت تأثیر فعالیت گسل درونه.

۵- جمع‌بندی

شبکه‌های زهکشی، رودها و مخروط افکنه‌ها نسبت به تغییرات تکتونیکی بسیار حساس هستند به همین دلیل مخروط افکنه‌ها یکی از بهترین چشم‌اندازهایی هستند که می‌توان شواهد مورفوتکتونیک را در سطح آن‌ها مورد بررسی قرار داد (پارسونز و آبراهامز[1]، ۲۰۰۹). گسل مایع لغز معکوس با عبور از رأس اکثر مخروط افکنه‌ها و گسل درونه با مکانیسم چپ گرد باترا فشارش و ترا کشش محلی با عبور از قسمت رأس، فوقانی، تحتانی و قاعده مخروط افکنه‌ها منطقه موردمطالعه، آن‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند البته با توجه به موقعیت، نحوه قرارگیری و نحوه فعالیت این گسل‌ها تأثیرات متفاوتی بر مخروط افکنه‌ها داشتند که به‌طور خلاصه با آن اشاره می‌شود.

۱- گسل مایل لغز معکوس با عبور از رأس اکثر مخروط افکنه‌ها موجب تغییر موقعیت آبراهه اصلی مخروط افکنه‌های شماره ۳،۵،۸،۱٦،۱۷،۱۹ به قسمت کناری و مخروط افکنه‌های شماره ٦،۷،۱۱،۱۲،۱۳،۱٤ به قسمت حاشیه‌ای مخروط افکنه‌ها شده است. همچنین فعالیت این گسل موجب تقطیع و در نتیجه سه سطحی شدن عرضی مخروط افکنه‌های شماره ۹ و۱۰ دوسطحی شدن عرضی مخروط افکنه شماره ۲،۷،۱۲ و دوسطحی شدن طولی (تودرتو) شماره۱٦ دوسطحی شدن طولی ۱۷ شده است علاوه بر این یک مخروط افکنه دوسطحی عرضی در کنار مخروط افکنه بسیار قدیمی شماره٤ ایجاد نموده است.

۲- گسل درونه با عبور از قسمت فوقانی مخروط افکنه‌های شماره ۱۵ و۱ سبب تقطیع آن‌ها به‌صورت سه سطحی طولی (تودرتو) و فعالیت ترا کششی و ترا فشارشی گسل به ترتیب موجب ایجاد حوضه کششی- جدایشی در مخروط افکنه شماره ۱ و پشته فشاری در مخروط افکنه شماره ۱۵ شده است. همچنین جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی در سطح هر دو مخروط افکنه در محل عبور گسل رخ داده است. اثر فعالیت ترا فشارشی گسل درونه در قسمت تحتانی و قاعده اکثرمخروط افکنه‌ها به‌صورت ایجاد بالا آمدگی، پشته‌های فشاری و طاقدیس فشاری مشهود است. از دیگر آثار این گسل می‌توان به ایجاد مخروط افکنه‌ها تک سطحی، دوسطحی عرضی و طولی توسط آبراهه‌های فرعی در قاعده اکثرمخروط افکنه‌ها و پای طاقدیس‌های فشاری و جابجایی چپ گرد آبراهه‌های فرعی در سطح مخروط افکنه‌ها شماره ۱٦، ۹،۱۰،۱۳ و همچنین تغییر نقطه تقطیع آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌ها و ایجاد مخروط افکنه‌ها تقطیع شده به‌صورت دوسطحی عرضی و طولی (تودرتو) در پایین‌دست گسل درونه اشاره کرد.

۳- تحت تأثیر فعالیت متقابل هر دو گسل مایل لغز معکوس و گسل درونه گوه انقباضی یا فشارشی کم‌عرض در منطقه ایجاد شده که به‌تبع آن یک قلمرو یا ناحیه بالا آمده نسبتاً وسیعی را در آن تشکیل شده است به همین دلیل سطوح مخروط افکنه‌ها بین این دو گسل بالا آمده در نتیجه سطوح اکثر مخروط افکنه‌ها توسط آبراهه‌های فرعی

1 Parsons and Abrahams

به‌صورت عمیق و نیمه عمیق حفر شده و تحت تأثیر فعالیت هر دو گسل آبراهه اصلی اکثر مخروط افکنه‌ها بستر خود را عمیقاً حفر کرده که منجر به ایجاد پادگانه‌های آبرفتی در مسیر خود شده‌اند همچنین فعالیت هر دو گسل موجب شده آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح جدید مخروط افکنه شماره۲ با آبراهه‌های فرعی بین دو مخروط افکنه ۱ و ۲، آبراهه‌های اصلی مخروط افکنه‌های شماره ۱۲ با۱۱ و شماره۱٤ با۱۳، آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی سطح مخروط افکنه شماره ۱٦ با آبراهه‌های واقع در بین مخروط افکنه‌های شماره ۱٦ و ۱۷، آبراهه‌های اصلی شماره ۱۷ و تعداد معدودی از آبراهه‌های فرعی آن با آبراهه‌های چند مخروط افکنه به‌شدت فرسایش و تخریب یافته و آبراهه‌های اصلی و فرعی مخروط افکنه‌های ۱۹ با۱۸ به‌هم‌پیوسته و با تشکیل آبراهه واحد با تغییر نقطه تقطیع، تشکیل مخروط افکنه‌های دوسطحی عرضی و طولی (تودرتو) را در پایین‌دست گسل درونه داده‌اند. از دیگر آثار متقابل فعالیت هر دو گسل می‌توان به هم پیوستن آبراهه‌های فرعی سطح قدیمی مخروط افکنه‌های شماره ۲ و آبراهه‌های فرعی و اصلی مخروط افکنه شماره ۸،۷،٦،٥،٤،۳ و آبراهه‌های یال شمالی طاقدیس فشاری کوه تیغ احمد به‌تبع آن تشکیل آبراهه واحد و ورود آن به مخروط افکنه تودرتو در پایین دست گسل درونه اشاره کرد.

کتابنامه

امینی، حمیده؛ فتاحی، مرتضی؛ قاسمی، محمدرضا؛ ۱۳۹۳. کنکاشی بر جابجایی آبراهه‌ها در بخش‌های از گستره گسل درونه. *فصل نامه علوم زمین*، شماره ۹۲، ۲۱۸-۲۰۹.

https://doi.org/10.22071/gsj.2014.43704

بهرامی، شهرام؛ مقصودی، مهران؛ بهرامی، کاظم؛ ۱۳۹٤. ارزیابی نقش تکتونیک در میزان برش رأس مخروط افکنه‌های واقع در حاشیه طاقدیس دنه خشک. *جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۸، ٤۰-۲۳.

https://gdij.usb.ac.ir/article_319.html

جوادی، حمیدرضا؛ قاسمی، محمدرضا؛ شاه پسند زاده، مجید؛ استرابی آشتیانی، مرضیه؛ چین خوردگی فعال ناشی ازجنبش جوان سامانه گسل درونه، *فصل نامه علوم زمین*، شماره ۷۷، ۱۰۸ - ۹۹.

https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55344

روستایی، شهرام؛ رجبی، معصومه؛ زمردیان، محمدجعفر؛ مقامی مقیم، غلامرضا؛ ۱۳۸۸. نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل گیری و گسترش مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ. *جغرافیا و توسعه*، شماره۱۳، ۱٥٦-۱۳۷.

https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1233

زارع، مهدی؛ ۱۳۷۹. تحلیل لرزه زمین ساختی سیستم گسل درونه وبررسی زلزله‌های زمستان ۱۳۷۸– بهار ۱۳۷۹ کاشمر. *پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله*، شماره ۱، صص٤۰-۳۲.

http://www.iiees.ac.ir/fa/1379-4/8

فتوحی، صمد؛ ۱۳۹۲. تاثیرتکتونیک فعال در شرق حوضه زاگرس در تشکیل مخروط افکنه دوقلوی وزیره. *جغرافیا و توسعه*، شماره ۳۲، صص۱٦۳-۱۷٦.

https://doi.org/10.22111/gdij.2013.1170

گورابی، ابوالقاسم؛ محمدنژاد، وحید؛ ۱۳۹۷. تکامل لندفرم های اواخر کواترنری در پاسخ به تغییرات تکتونیکی فعال سطح اساس در منطقه طبس، ایران مرکزی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۲، صص ۲۹۱-۲۷۱.
https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.236825.1007078

محمد نژادآروق، وحید؛ اصغری، صیاد؛ ۱۳۹٤. واکنش مخروط افکنه‌های شرق گرمسار بر جابجایی‌های عمودی و امتداد گسل‌ها با تاکید بر مخروط افکنه‌های ده نمک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره۲، صص ۱-۱۷.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1394.4.2.1.6

مقصودی، مهران؛ محمد نژاد آروق، وحید؛ ۱۳۹۰. *ژئومورفولوزی مخروط افکنه‌ها*. انتشارات دانشگاه تهران.

یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران؛ قاسمی، محمد رضا محمد نژاد، وحید؛ ۱۳۹۱. شواهد ژئومورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان. شماره ۲، صص۱۸ -۱.
https://doi.org/10.22059/jphgr.2012.29203

Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, *180*, 217-230. https:// doi.org/ 10.1016/ j.geomorph. 2012.10.012

Bull, W. B., 1964. Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California. US Government Printing Office. https://doi.org/10.3133/pp352E

Bull, W. B., 1977. The alluvial-fan environment. Progress in Physical geography, 1(2), 222-270. https://doi.org/10.1177/030913337700100202

Bull, W.B., 2007. Tectonic Geomorphology of Muontians, Black well. Publishing Ltd., Oxford, 316 p. https://doi.org/10.1002/9780470692318

Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Oxford. https://www.irsm.cas.cz/ext/ethiopia/materials/papers/tectonic_geomorphology/Tectonic_Geomorphology_Burbank.pdf

Clarke, J., & Noin, D., 1998. Population and environment in arid regions .UNESCO; Pearl River, N.Y.: Parthenon Pub. Group. http://pi.lib.uchicago.edu/1001/cat/bib/3002122

Farbod, Y., Bellier, O., Shabanian, E., & Abbassi, M. R., 2011. Geomorphic and structural variations along the Doruneh Fault System (central Iran. Tectonics, 30(6). https:// doi.org/ 10.1029/2011TC002889

Fattahi, M., Walker, R. T., Khatib, M. M., Dolati, A., & Bahroudi, A., 2007. Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran. Geophysical Journal International, 168(2), 691-709. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03248.x

Goswami, P. K., Pant, C. C., & Pandey, S., 2009. Tectonic controls on the geomorphic evolution of alluvial fans in the Piedmont Zone of Ganga Plain, Uttarakhand, India. Journal of Earth System Science, 118(3), 245-259. https://link.springer.com/article/10.1007/s12040-009-0012-y

Harvey, A. M., 1987. Alluvial fan dissection: relationships between morphology and sedimentation. Geological Society, London, Special Publications, 35(1), 87-103. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.035.01.07

Hooke, R. L., 1972. Geomorphic evidence for late-Wisconsin and Holocene tectonic deformation, Death Valley, California. Geological Society of America Bulletin, 83(7), 2073-2098. http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[2073:GEFLAH]2.0.CO;2

Ke, ller E.A. and Pinter, N., 2002. Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River. https://searchworks.stanford.edu/view/4764839

Li, Y., Yang, J., Tan, L., & Duan, F., 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in the Hexi Corridor, Northwest China. Geomorphology, 28(3-4), 299-308. https:// doi.org/ 10.1016/ S0169-555X(98)00114-7

Malik, J. N., Sohoni, P. S., Merh, S. S., & Karanth, R. V., 2001. Active tectonic control on alluvial fan architecture along Kachchh mainland Hill Range, Western India. Zeitschrift für Geomorphologie, 81-100. http://dx.doi.org/10.1127/zfg/45/2001/81

Owen, L. A., Clemmens, S. J., Finkel, R. C., & Gray, H., 2014. Late Quaternary alluvial fans at the eastern end of the San Bernardino Mountains, Southern California. Quaternary Science Reviews, 87, 114-134. http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.01.003

Parsons, A. J., & Abrahams, A. D., 2009. Geomorphology of desert environments. In Geomorphology of desert environments (pp. 3-7). Springer, Dordrecht. https:// link. springer. com/ chapter/ 10.1007/978-1-4020-5719-9_1

Reheis, M. C., Slate, J. L., Throckmorton, C. K., McGeehin, J. P., Sarna-Wojcicki, A. M., & Dengler, L., 1996. Late Quaternary sedimentation on the Leidy Creek fan, Nevada–California: geomorphic responses to climate change. Basin Research, 8(3), 279-299. https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1996.00205.x

Sarp, G., 2015. Tectonic controls of the North Anatolian Fault System (NAFS) on the geomorphic evolution of the alluvial fans and fan catchments in Erzincan pull-apart basin; Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 98, 116-125. https:// doi.org/ 10.1016/ j.jseaes.2014.11.017

Tchalenko, J. S., Berberian, M., & Behzadi, H., 1973. Geomorph1c and seismic evidence for recent activity on the Doruneh Fault, Iran. Tectonophysics, 19(4), 333-341. https://doi.org/10.1016/0040-1951(73)90027-9

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.41-59 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78329.1269 Open access

The Relationship between Erosion Intensity and Geologic Units using Two Models with Different Structures (Case Study: Akhtarabad Watershed)

Baharak Motamedvaziri[a*], Sadegh Valeh[b], Hassan Ahmadi[c]

[a] *Associate Professor, Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
[b] *PhD Graduated in Watershed Management, Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
[c] *Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.*

Received: 20 July 2022 ***Revised: 11 September 2022*** ***Accepted: 27 September 2022***

Abstract

Erosion is primarily caused by precipitation and runoff, while erodibility results from the type of the formations at the catchment scale, which is subject of this study. The objective of this study was to investigate the relationship between geologic units and erosion intensity. Initially, two models of MPSIAC and Fargas were used to study erosion intensity. The Fargas model was presented based on the theoretical principles of two erosion and the erodibility factors, while MPSIAC model was based on 9 factors. BLM method was used to separate the intensities of a type of erosion according to the S.S.F table. RUSLE model was used to estimate soil erosion in the studied sub-basins. To determine the risk of erosion using the value coefficient, Fargas model was used. In the MPSIAC model, coefficients were considered for each of the nine factors. Based on the results of MPSIAC model, 79% of the basin surface had high erosion intensity and 21% had very high erosion intensity, while according to Fargas model, 0.3% had moderate erosion intensity, 10% had high erosion intensity, and 4.7% and 85% were characterized with severe erosion and very severe erosion, respectively. Moreover, in both models, 18% corresponded to very high erosion intensity (very severe), while 7.2% had high erosion intensity. In Fargas model, E1t1, E1t2, E2ig3, Q2f, Qt1, and Qt2 had very strong erosion intensity, whereas, in MPSIAC model, E1t1, Qt1, and Qt2 had high erosion intensity on their surfaces. One reason for this phenomenon could be the erodibility of the formations. Most of E1t2 and Q2t are highly eroded, which contributes to a large amount of drainage in addition to the erodibility of the formations.

Keywords: Erodibility, Erosion, Runoff, Formation, Catchment

*.Corresponding author: Baharak Motamedvaziri Email: bmvaziri@gmail.com Tel:+989124836636

How to cite this Article: Motamedvaziri, B., Valeh, S., & Ahmadi, H. (2023). The relationship between erosion intensity and geologic units using two models with different structures (Case study: Akhtarabad watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 41-59.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.78329.1269

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78329.1269

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۵۹-۴۱

مقاله پژوهشی

بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش به کمک دو مدل با ساختار متفاوت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اخترآباد)

بهارک معتمدوزیری[1]- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
صادق واله- دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
حسن احمدی- استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۵

چکیده

فرآیند فرسایش شامل دو بخش اصلی فرسایندگی و فرسایش‌پذیری است. عامل اصلی فرسایندگی، شدت بارش و رواناب بوده و عامل اصلی فرسایش‌پذیری، نوع سازندهای موجود در سطح حوضه است که موضوع مورد تحقیق در منطقه مورد مطالعه است. هدف از مطالعه حاضر بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش است. لذا جهت نیل به این هدف در ابتدا به بررسی شدت فرسایش با استفاده از دو مدل پسیاک اصلاح شده و فارگاس پرداخته شد. مدل فارگاس بر پایه اصول نظری دو عامل فرسایندگی و عامل فرسایش‌پذیری ارائه شده است؛ درصورتی‌که مدل پسیاک اصلاح‌شده بر اساس ۹ عامل است. در این تحقیق برای تفکیک شدت‌های یک نوع فرسایش با توجه به جدول S.S.F روش BLM انجام گرفت. برای برآورد فرسایش خاک در زیرحوضه‌های مورد مطالعه از مدل RUSLE استفاده گردید. برای تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارائه شده از مدل فارگاس به دست

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۴۸۳۶۶۳۶ Email: bmvaziri@gmail.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

معتمدوزیری، بهارک؛ واله، صادق؛ احمدی، حسن؛ ۱۴۰۲. بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش به کمک دو مدل با ساختار متفاوت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اخترآباد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۵۹-۴۱
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78329.1269

آمد. و در مدل پسیاک اصلاح شده، برای هریک از عوامل نه‌گانه ضرایبی در نظر گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که در مدل پسیاک اصلاح شده ۷۹٪ از سطح حوضه دارای شدت فرسایش زیاد و ۲۱٪ دارای شدت فرسایش خیلی زیاد بوده است و در مدل فارگاس ۰/۳٪ شدت فرسایش متوسط، ۱۰٪ زیاد، ۴/۷٪ شدید و ۸۵٪ بسیار شدید بوده است که ازاین‌بین ۱۸٪ دارای تطابق با شدت فرسایش بسیار زیاد (بسیار شدید) و ۷/۲٪ دارای تطابق با شدت فرسایش زیاد در هر دو مدل بوده است. بررسی سازندها در مدل فارگاس نشان داده است که واحدهای سنگ چینه‌ای E1t1, E1t2, E2ig3, Q2f, Qt1 و Qt2 دارای شدت فرسایش بسیار شدید بوده‌اند؛ درحالی‌که در مدل پسیاک اصلاح شده واحدهای سنگ چینه‌ای Qt1, E1t1 و Qt2 دارای شدت فرسایش زیاد هستند که دلیل آن فرسایش‌پذیری سازندها است، همچنین واحدهای سنگ چینه‌ای E1t2 و Q2t دارای شدت فرسایش خیلی زیاد هستند که دلیل آن علاوه بر فرسایش‌پذیر بودن سازندها، تراکم بالای زهکشی در آن‌ها نیز هست.

کلیدواژه‌ها: فرسایندگی، فرسایش، رواناب، سازند، حوزه‌آبخیز.

۱-مقدمه

فرسایش، به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۹). فرسایش خاک به عوامل مختلفی ازجمله جنس سنگ‌بستر، نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، میزان بارندگی، شیب و ... بستگی دارد (احمدی، ۱۳۸۵). فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر نه‌تنها در محل وقوع خود، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به‌صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌کند، بلکه در محل خارج از وقوع آن نیز به‌صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری بیش از هر زمان دیگر مشهود است (لیا[1]، ۱۹۹۸). برآورد و بررسی قابل‌اطمینان مقدار و پتانسیل تخریب خاک به علت افزایش نیاز روزافزون بشر به منابع خاک جهت تولید غذا و همچنین افزایش آگاهی عمومی از عوامل تخریب و افزایش خاک روزبه‌روز درحال‌توسعه است. اطلاعات در مورد حمل و انتقال رسوب و مواد مغذی از حوزه آبخیز و فرآیندهای فرسایش دهنده آن ازجمله ضروریاتی است که جهت مدیریت آبخیز نیاز است. برای کنترل فرسایش خاک عملیات انتزاعی و مقطعی جوابگو نبوده و لازم است که استراتژی و عزم ملی آحاد مردم را در اجرای برنامه‌های آبخیزداری و حفاظت خاک مدنظر قرار داد. شناخت منابع موجود در عرصه‌های آبخیز توسط مسئولین و تعیین مناطق بحرانی از دیدگاه منابع آب‌وخاک برای کنترل فرسایش خاک در کشور به‌عنوان یک اصل بشمار می‌آید

1 Lai

و ترغیب نمودن مردم به اجرای برنامه‌های حفاظت خاک به‌عنوان یک امر مهم تلقی می‌شود. با توجه به چنین نگرش و تفکری بوده است که لزوم آگاهی از مقدار و شدت فرسایش برای تعیین استراتژی‌های کارآمد و بهینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و تولید رسوب موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته تا بر اساس آن بتوان موقعیت مکانی و میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی نمود (مورگان[1]، ۱۹۹۵). فارگاس[2] و همکاران (۱۹۹۷) روشی را ارائه نمودند که در آن با استفاده از دو عامل فرسایش‌پذیری نوع سنگ و تراکم زهکشی سعی در شناخت منابع منطقه‌ای رسوبزا (شدت فرسایش) در سطح منطقه‌ای نمودند. محققین مذکور روش خود را در حوزه آبخیز Joaquin Costa در شمال شرقی اسپانیا آزمودند که دارای درست نمایی ۷۸/۵ ٪ بود. استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینه در زمینه بررسی فرسایش، تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود (رضازاده و همکاران،۱۳۹۷). در مدل‌های مختلف فرسایش خاک، شاخص‌های متفاوتی برای فرسایش‌پذیری توسعه داده شده است. استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینه در زمینه بررسی فرسایش، تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود. مدل‌های فرسایشی می‌توانند به‌عنوان ابزارهای پیش‌بینی برای ارزیابی هدررفت خاک، برنامه‌ریزی حفاظت، موجودی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای درک فرآیندهای فرسایش و تأثیر آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند (موشه[3] و همکاران،۲۰۱۳). تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه فرسایش با مدل‌های مختلف در داخل و خارج کشور انجام گردیده است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد (پژوهش و همکاران،۱۳۹۰). اثر کاربری اراضی مختلف در فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS را در حوضه سد زاینده‌رود علیا مطالعه نمودند، نتایج نشان داد بیشترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب در کاربری‌های مرتع متراکم و بوته‌زارها صورت گرفته است. (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵) مقدار میانگین سالانه فرسایش حوزه آبخیز کن سولقان را ۲۰/۲۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند و نشان دادند عامل LS با ضریب همبستگی ۰/٦٨ درصد بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالیانه خاک داشته است. (فیضی زاده، ۱۳۹٦) تغییرات کاربری اراضی و نقش آن را در حوضه علویان بررسی کرد که نشان داد تبدیل اراضی مرتعی پرتراکم به مراتع کم تراکم و زراعت دیم، مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از مدل RUSLE میانگین فرسایش در مقیاس کشور ایران ٢٤ تن در هکتار در سال برآورد نمود و نقش عامل توپوگرافی را بیش از سایر عوامل مشخص نمودند. (مختاری و همکاران،۱۳۹۷) با استفاده از مدل RUSLE میزان فرسایش خاک در سطح حوضه آبریز نورآباد ممسنی از ۸ تا ۷۵ تن در هکتار در سال برآورد کردند و نشان دادند که عامل LS نقش بیشتری در فرسایش نسبت به سایر عوامل دارد. (مزبانی و همکاران،١٤٠٠) به ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های

1 Morgan
2 Fargas
3 Mushe

اراضی در حوضه آبریز سیکان پرداختند، که نتایج نشان داد در بین کاربری‌ها، مراتع متوسط با میانگین فرسایش ۲۷/۹۸ تن در هکتار در سال بیشترین و مناطق کشاورزی آبی و مسکونی به ترتیب با میانگین فرسایش ۰/٤۳ و ۰/٤٤ تن در هکتار در سال، کمترین فرسایش را نشان دادند. (زنگنه اسدی و همکاران،۱٤۰۰) به بررسی پتانسیل مناطق مستعد فرسایش با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در حوضه گناباد پرداختند، نتایج نشان داد پارامترهای شیب، سازند زمین‌شناسی، کاربری اراضی، خاک، فاصله از آبراهه‌ها و شاخص رطوبت توپوگرافی حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیشتری دارند. (سانتوس[1] و همکاران،۲۰۱۷) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش خاک پرداختند، نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع در این مناطق کاهش‌یافته و میزان فرسایش ۱۰ برابر افزایش‌یافته است. (کومار[2] و همکاران،۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان بررسی مقایسه‌ای مدل‌های مختلف فرسایش خاک و عملکرد رسوب در حوضه چاتیسگر هند به این نتایج دست یافتند که مدل RUSLE برای فرسایش خاک و مدل MUSLE برای عملکرد رسوب قابل‌اطمینان‌تر است. (آرشاد اشرف[3]،۲۰۲۰) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی خطر فرسایش خاک در شرایط مختلف کاربری اراضی و بارندگی در حوضه رودخانه سان به این نتایج دست یافت که عوامل تأثیرگذار منجر به نرخ فرسایش بالاتر تحت سناریوهای متغیر تغییر محیطی است. حوزه آبخیز اخترآباد دارای عرصه‌ای پهناور و گسترده است که به لحاظ بافت طبیعی و جغرافیایی عمدتاً از بیابان پوشیده شده است. طبق مطالعات کارشناسی انجام شده، یکی از کانون‌های اصلی فرسایش خاک و تولید گردوغبار و ریزگرد، معطوف به منطقه مذکور است و این منطقه از مناطق اصلی بروز ریزگرد در شهر تهران به شمار آمده است.

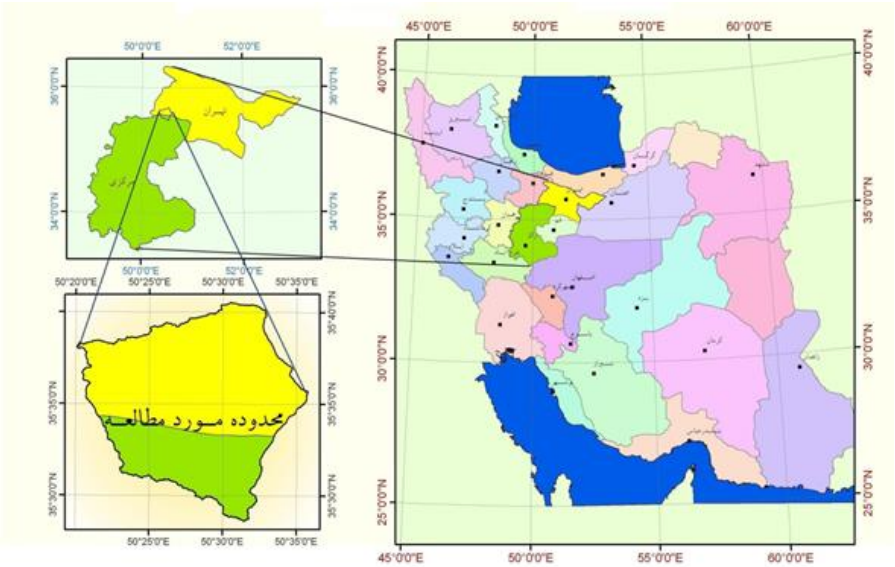
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز اخترآباد با مساحت ۳۰۷۸٦/۸۹ هکتار در بخش جنوب غربی استان تهران و شمال استان مرکزی (حدوداً ٦۹ درصد در استان تهران و۳۱ درصد در استان مرکزی) قرار گرفته است و در محدوده جغرافیایی″۳۸ ′۲۸ °۳۵ الی ″۳۱ ′٤۰ °۳۵ عرض شمالی و ″۰۵ ′۲۰ °۵۰ الی ″٤٤ ′۳۵ °۵۰ طول شرقی واقع شده است. حوزه‌آبخیز اخترآباد از شمال توسط حوزه‌آبخیز اشتهارد، از شرق به حوزه‌آبخیز تهران – کرج و از غرب و جنوب به حوزه‌آبخیز زرند ساوه محصور شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۱۱٦۹متر و حداقل ارتفاع ۱۱۵۲ متر است. متوسط بارندگی سالیانه حوضه ۱۹۰ میلی‌متر در سال است و اقلیم منطقه، آب‌وهوای مدیترانه‌ای با تابستان گرم

1 Santos
2 Kumar
3 Ashraf

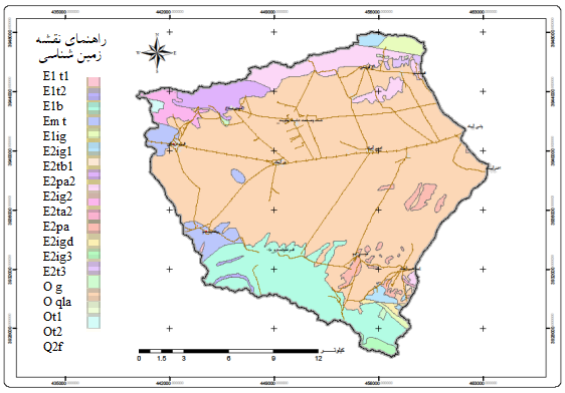
است. میانگین درجه حرارت حوضه ٢٦ درجه سانتی‌گراد است. شکل۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نسبت به استان، شهرستان و کشور را نشان می‌دهد.



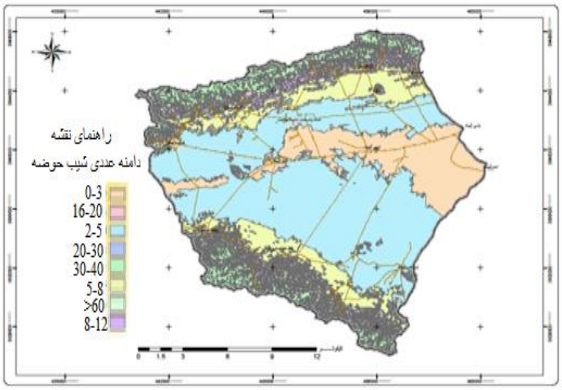
شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

مراحل جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در سه مرحله، ستادی، پیمایش صحرایی و نتیجه‌گیری صورت گرفت. جهت اجرای مدل پسیاک اصلاح شده، با استفاده از نقشه نهایی اشکال فرسایش خاک و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، نقشه‌های زمین‌شناسی، فرسایش‌پذیری خاک، فرسایندگی باران، میزان رواناب، شیب حوضه، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای تهیه گردید. همچنین تهیه نقشه زمین‌شناسی، آبراهه‌های حوضه و تراکم زهکشی جهت اجرای مدل فارگاس تهیه گردید. شکل ۲ و ۳ زمین‌شناسی حوضه و شیب حوضه را نشان می‌دهد.



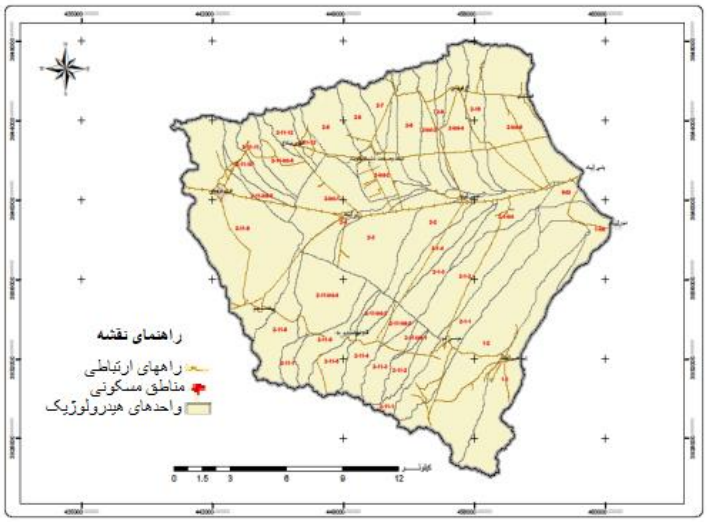
شکل۲- زمین‌شناسی حوضه



شکل۳- شیب حوضه

۲-۲-۱- تقسیم‌بندی محدوده مطالعاتی به واحدهای هیدرولوژیکی

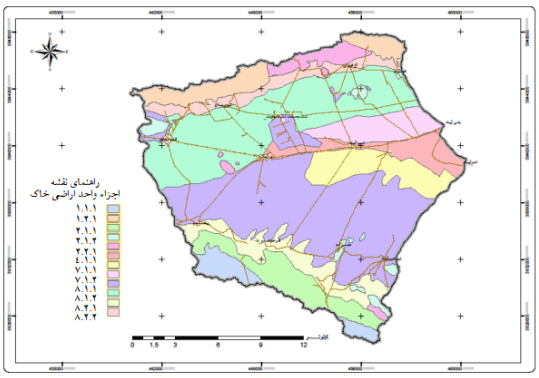
بدون شک یکی از مراحل اساسی در انجام مطالعات آبخیزداری، تقسیم‌بندی پهنه مطالعاتی به زیرحوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیک (کاری) است. واحد هیدرولوژیک عبارت است از«محدوده‌ای از سطح حوزه آبخیز که زهکش بالقوه طبیعی آن را یک رودخانه یا آبراهه مشخص، تشکیل می‌دهد ». در شناخت واحدهای فیزیوگرافی یک حوزه آبخیز، ابتدا محدوده حوضه را باید تعیین نمود و خط تقسیم آب را مشخص کرد. سپس می‌توان بر اساس شبکه آبراهه‌ها و تراکم آن‌ها واحدهای فیزیوگرافی را از یکدیگر تفکیک نمود. برای این منظور از نقشه‌های نتایج حاصله در مطالعات بزرگ‌مقیاس، با کارمیدانی، کنترل و اصلاح نهایی صورت می‌گیرد. توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده با ترسیم مرز جداکننده واحدهای فیزیوگرافی محل ورودی‌های شبکه آبراهه و خروجی هر واحد در نقشه مشخص می‌گردد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به دو زیر حوضه با شماره ۱ و ۲ تقسیم گردید. زیرحوضه شماره ۱ به ۲ واحد هیدرولوژیک و زیر حوضه شماره ۲ به ۱۱ واحد هیدرولوژیکی تقسیم گردیده است. شکل ٤ تقسیم‌بندی واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اخترآباد را نشان می‌دهد.



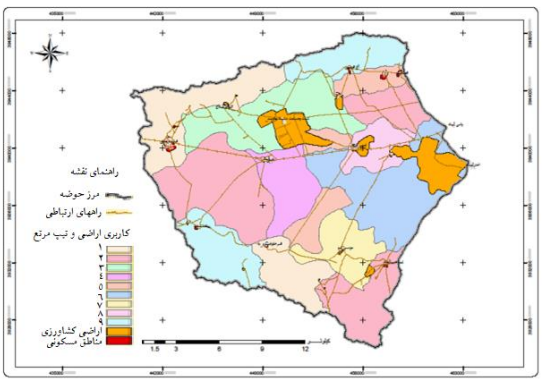
شکل ٤- واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اخترآباد

۲-۲-۲- خاک

خاک به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک موردبررسی قرار می‌گیرد. و به فاکتورهایی همچون ساختمان، بافت، درصد مواد آلی، قابلیت نفوذپذیری و غیره بستگی دارد. هرچه ذرات خاک از حد معینی ریزتر باشند میزان نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد و میزان بارندگی بر روی اراضی به‌صورت جریانات گل‌آلود مقدار قابل‌توجهی از خاک را کنده و با خود حمل می‌کند. درصد مواد آلی خاک نیز فاکتور مهمی است که در انسجام خاکدانه‌ها مؤثر است و باعث می‌شود که ذرات پایداری بیشتری در برابر فرسایش داشته باشند. منظور از فرسایش‌پذیری خاک، حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است که برای تعیین مقدار این حساسیت از عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) استفاده می‌گردد. شکل ٥ و ٦ اجزاء واحد اراضی خاک و کاربری اراضی را نشان می‌دهد.



شکل٥- اجزاء واحد اراضی خاک



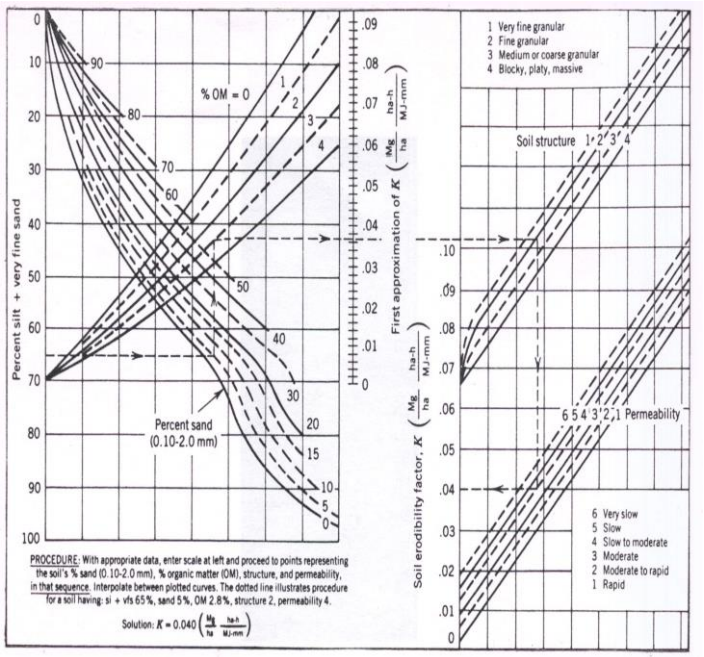
شکل٦- کاربری اراضی و تیپ‌های پوشش گیاهی

از دید خاک‌شناسان، فرسایش فرآیندی است که موجب از بین رفتن پوشش سطح زمین یعنی خاک و کاهش حاصلخیزی آن می‌گردد. با این دیدگاه بعد وسیع‌تری به واژه فرسایش داده شده و کاهش حاصلخیزی خاک نیز جزء پدیده فرسایش قلمداد می‌گردد.

دقیق‌ترین مقدار K در کرت استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. کرت استاندارد کرتی است به مساحت ۰/۰۱ ایکر، با طول ۲۲.۱ متر، عرض ۱۸۳ متر، شیب یکنواخت ۹ درصد که در جهت شیب شخم‌خورده و همیشه بدون پوشش‌گیاهی و علف هرز بوده و زیر آیش قرار داشته باشد. در این حالت مقدار K برابر نسبت میزان فرسایش به عامل بارندگی است.

$$K = \frac{A}{R}$$

اما این روش تعیین K همیشه عملی نیست و باید بر اساس عوامل مؤثر بر آن تخمین زده شود. خصوصیات مختلفی از خاک در میزان فرسایش‌پذیری آن تأثیر می‌گذارد. اندازه و نوع خاکدانه‌ها در فرسایش‌پذیری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. رس به دلیل چسبندگی زیاد و شن به علت سنگینی ذرات و نفوذپذیری زیاد، در مقابل فرسایش‌مقاومت دارند. بین مقدار سیلت خاک و میزان فرسایش، رابطه‌ای وجود دارد که هر چه مقدار سیلت بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری بالاتر است. همچنین هر چه ساختمان خاک با ثبات‌تر و درشت‌تر باشد، مقاومت آن در مقابل فرسایش افزایش می‌یابد. با افزایش نفوذپذیری خاک میزان فرسایش‌پذیری آن کاهش می‌یابد. افزایش مقدار ماده آلی خاک، مقاومت آن در مقابل فرسایش را افزایش می‌دهد. از نظر کانی‌شناسی نیز کانی‌های ۲:۱ مناطق سردسیر مانند کانی مونت موریلونیت، کمترین مقاومت و کانی‌های ۱:۱ مناطق حاره مانند کائولینیت، بیشترین مقاومت را در مقابل فرسایش دارند و کانی‌هایی مانند ایلیت از مقاومت متوسطی برخوردار هستند. یک روش تخمین عامل فرسایش‌پذیری (K)، روش ترسیمی برای محاسبه K است. در این روش فرسایش‌پذیری خاک به عواملی چون، درصد سیلت (ذرات با قطر ۰.۰۵ – ۰.۰۰۲ میلی‌متر) + شن خیلی ریز (ذرات با قطر ۰.۱–۰.۰۵ میلی‌متر)، درصد شن (ذرات با قطر ۲–۱ میلی‌متر)، مقدار ماده آلی خاک، ساختمان خاک، نفوذپذیری خاک بستگی دارد. براین اساس نموداری از این ۵ خاصیت عرضه شد که در شکل ۷ نشان داده شده است. برای استفاده از این شکل، ابتدا باید ضرایب پنجگانه مذکور در بالا را تعیین نمود و سپس عامل فرسایش‌پذیری خاک را تخمین زد. بین این ۵ عامل، درصد سیلت، شن خیلی ریز، درصد شن، مقدار ماده آلی و ساختمان خاک در لایه سطحی(۲۰–۱۵ سانتی‌متری) و مقدار نفوذپذیری در تمامی نیمرخ خاک اندازه‌گیری می‌شود.



شکل۷- تعیین ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)

۲-۲-۳-روش تهیه نقشه اشکال فرسایش موجود در حوضه و تشریح تیپ‌های فرسایشی

برای تفکیک شدت‌های یک نوع فرسایش روش استانداردی وجود ندارد و تنها با تقسیم‌بندی و در نظر گرفتن یکسری فاکتورها این عمل در مناطق مختلف به صورت‌های متفاوت انجام می‌گیرد. در این تحقیق سعی گردیده تا این تقسیم‌بندی با توجه به جدول S.S.F روش BLM انجام پذیرد.

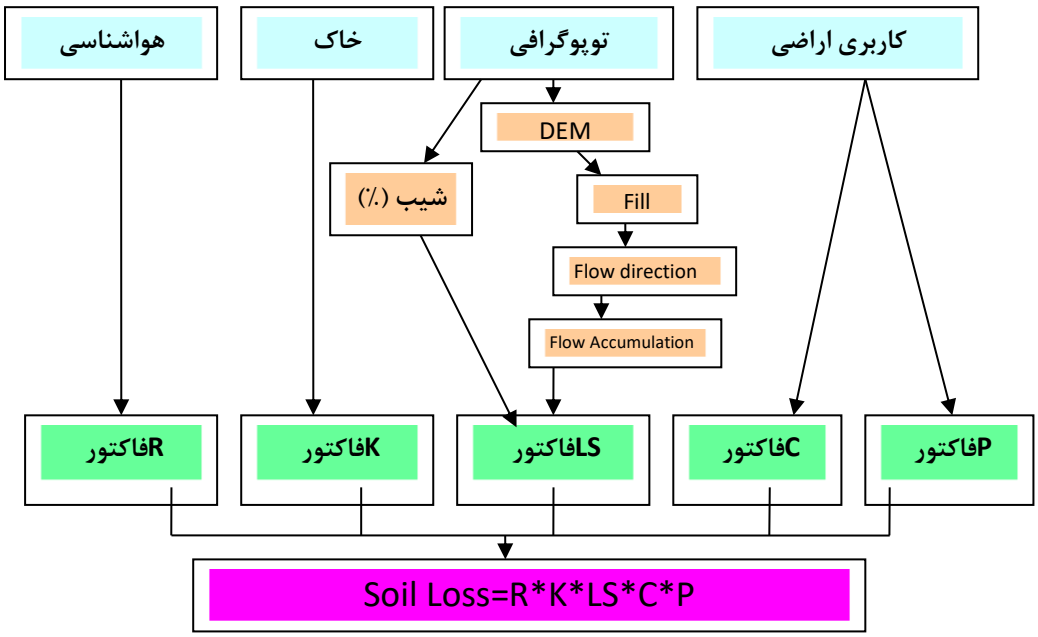
۲-۲-٤-اندازه‌گیری فرسایش در واحدهای منتخب پهنه‌های همگن با استفاده از مدل کمی RUSLE

اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش و رسوب در هر واحد مطالعاتی به دلیل پرهزینه بودن احداث ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، وقت‌گیر بودن و فقدان افراد کارآزموده در همه‌ی واحدهای مطالعاتی امکان‌پذیر نیست و استفاده از روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب مناطق فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی رایج شده است. این مدل‌ها قادرند میزان فرسایش و رسوب را به‌صورت کمّی برآورد نمایند. در این مطالعه فاکتورهای مؤثر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های اقلیمی، خاک، کاربری و عملیات صحرایی به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS و ARCHYDRO، نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آن‌ها تهیه گردید. در شکل۸ گردش اطلاعات روش فرسایشی به کار رفته در این مطالعه نشان داده شده است. برای برآورد فرسایش خاک در زیر حوضه‌های مورد مطالعه می‌توان از مدل RUSLE مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک، برای برآورد فرسایش خاک از اراضی دست‌نخورده، اراضی دست‌خورده و ارزیابی میزان موفقیت عملیات حفاظت آب‌وخاک استفاده کرد .لذا معادله اصلی

همان معادلـه جهـانی فرسـایش خـاک اسـت و بایـد عوامـل مـورد اسـتفاده در آن معادلـه بـرای محـدوده مطالعـاتی موردمحاسبه قرار گیرد. معادله RUSLE به‌صورت زیر است:

$$A=R\times K\times (L\times S)\times (C\times P)$$

A: مقدار متوسط فرسایش خاک برحسب تن بر هکتار در سال، R: عامل فرسایندگی بـاران و روان آب برحسـب (کیلو ژول بر متر مربع ضربدر میلی‌متر بر ساعت)یا نیوتن بر ساعت، K: عامل فرسـایش‌پذیری خـاک، L: عامـل طـول شیب، S: تندی شیب، C: عامل زراعی، P: عامل حفاظت خاک



شکل۸ -گردش اطلاعات مدل فرسایشی RUSLE

۲-۳-مدل B.L.M

این روش توسط دفتر مدیریت اراضی آمریکا ابداع شده است و مراحل اجرای آن به شرح زیر اسـت. تهیـه نقشـه تیپ فرسایش با استفاده از عکس‌های هوائی و بازدیدهای صـحرائی، تعیـین امتیـاز عامـل فرسـایش سـطحی، وجـود لاشبرگ سطحی در خاک، پوشش سنگی سطح زمین، آثار تخریب در سطح زمین، فرسایش شـیاری، بـا دامنـه عـددی (۰-۱٤) و عامل آثار رسوب‌گذاری حاصل از جریان و فرسایش خندقی بـا دامنـه عـددی (۱۵-۰). سـازمان مـدیریت اراضی آمریکا(B.L.M) وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمرات عوامل هفتگانـه بـدین ترتیـب، (فرسـایش جزئـی ۰-۲۰، کم ٤۰-۲۱، متوسط ٦۰-٤۱، زیاد ۸۰-٦۱ و فرسایش خیلی زیاد ۱۰۰-۸۱) عرضه کرده است.

۲-٤- مدل فارگاس

این روش در سال ۱۹۹۷ توسط فارگاس و همکاران ابداع شده است. اجـرای ایـن مـدل شـامل، تعیـین شـاخص فرسایش‌پذیری، رویهم‌اندازی نقشه آبراهه‌ها و نقشه واحدهای سنگی و ارزش‌گـذاری میـزان تـراکم زهکشـی در هـر واحد سنگی، و درنهایت تعیین خطـر فرسـایش بـا اسـتفاده از ضـریب ارزشـی ارائـه شـده بـر اسـاس حاصلضـرب ارزش‌گذاری شده برای مقاومت سنگ به فرسایش و تراکم زهکشی در هر واحد سنگی به دست آمده است.

۲-۵- مدل MPSIAC

این روش در سال ۱۹٦۸ توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا جهت محاسبه فرسایش خـاک مـورد اسـتفاده قـرار گرفت، این روش در سال ۱۹۸۲ توسط پژوهشگران این کمیته (جانسون و گمبهارت[1]) مورد بـازنگری قـرار گرفـت و برای هر یک از عوامل نه‌گانه در این روش ضرایبی در نظر گرفته شده است. این روش در حـال حاضـر مناسـب‌ترین روش مطالعه برای حوزه‌های آبخیز کشور شناخته شده و در این مطالعه نیز بـرای انـدازه‌گیری فرسـایش و رسـوب از همین روش استفاده شده است.

در سال ۱۹۸۲ در فاکتورهای مورد ارزیابی در روش پسیاک تغییراتی صـورت گرفـت کـه آن را بیشـتر و بهتـر بـا شرایط فیزیک زمین منطبق می‌سازد. همچنین معادلاتی نیز جهت برآورد هر یک از فاکتورهای مـورد ارزیـابی پیشـنهاد شده است که برآورد کمی هر یک از فاکتورها را آسان‌تر می‌سازد.

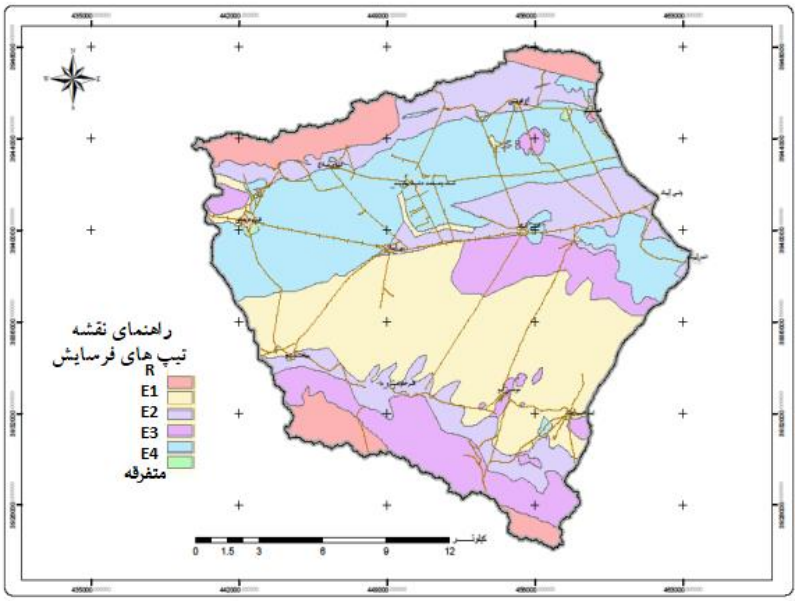
۳- نتایج و بحث

۳-۱-تیپ های فرسایش موجود در منطقه

با توجه به بازدیدهای صحرایی در این حوضـه ۵ تیـپ فرسایشـی شناسـایی و تفکیـک گردیـد (شـکل۹)، تیـپ فرسایشیR شامل مناطقی است که به‌صورت توده سنگی بوده (منـاطقی کـه بـیش از۷۵ درصـد سـطح آن را سـطوح سنگی و فاقد خاک در برگرفته و مناطق خاکـدار به‌صـورت پراکنـده و کمتـر از ۲۵ درصـد سـطح آن را پوشـش داده باشد)، در شکل با علامت R تفکیک شده اسـت و بـا توجـه بـه اینکـه غالبـاً فاقـد خـاک اسـت، درنتیجـه فرسـایش قابل‌ملاحظه‌ای ندارد، و فقط قسمتی از آن تحت تأثیر پدیده انحلال قرار دارد، همچنین در بخش‌هایی از ایـن محـدوده واریزه‌هایی مشاهده می‌شود که نتیجه تخریب مکانیکی سنگ‌هاست. حدود ۲٦٤۷/۸ هکتار معـادل ۸/٦ درصـد سـطح حوزه اخترآباد را مناطق توده سنگی در برگرفته که غالباً از ارتفاعات فوقانی و خط الراس‌های حوضه و منـاطق صـعب العبور حوضه را تشکیل داده است. تیپ فرسایشی(E1(S2R1، مساحت این تیپ۹۱۲۰/٦ هکتار برابر ۲۹/٦ درصـد از سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی (E2(S3R2G1، مساحت این تیپ۵۸۹٦ هکتـار برابـر ۱۵/۱۹ درصـد از

1 Johnson & Gembhart

سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی E3(S4R3CH1)، مساحت این تیپ هکتـار برابـر ٤٦١٢ درصـد ١٤/٩٨ از سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی:E4(S4R3CH2)، مساحت این تیپ ٨٣٣٤/٧ هکتار برابـر ٢٧ درصـد از سطح حوضه را در برگرفته است. سازندهای تشکیل دهنده سطح حوضه در جدول ١ قابل مشاهده است.



شکل۹- تیپ‌های فرسایشی حوزه آبخیز

جدول ١- سازندهای تشکیل دهنده سطح حوضه

سطح(هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۳۷۱۶.۱۹۳	کریستال توف، کریستال ویتریک و لینیک کریستال توف	E1 t1	مجموعه ائوسن میانی	ائوسن میانی	سنوزوئیک(سوم)
۹۱۶.۱۳۱	ریولیت و کریستال توف ریولیتی	E1t2			
۱۲.۴۶۶	بازالت	E1b			
۱۸۷.۷۷	توف با ترکیب اسیدی همراه با میان لایه گدازه‌ای	Em t			
۸۳.۲۴۴	ایگنمبریت ریولیتی تا داسیتی و داسیت	E1ig			

سطح(هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۳۹۱.۹۳	ایگنمبریت و برش ریوداسیتی	E2ig1	بخش پایینی ائوسن فوقانی	ائوسن فوقانی	سنوزوئیک(سوم)
۸۴.۲۷۲	تراکی بازالت مگاپورفیری و تراکی آندزیت پیروکسن دار	E2tb1			

سطح(هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۵۰۲.۲۰۲	پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، توف و داسیت	E2pa2	بخش میانی ائوسن فوقانی		
۳۰۲.۱۲۵	توف ریولیتی تا تراکیتی، برش و ایگنمبریت تراکیتی	E2ig2			
۵۳۶.۴۶۳	تراکی آندزیت، آفانتیک تا مگاپورفیری و آندزیت	E2ta2			
۱۵۷۲.۸۸۵	پیروکسن آندزیت پورفیری، بازالت، ماسه سنگ ولکانولوژیک	E2pa	بخش بالایی ائوسن فوقانی		
۸۵۱.۸۴۶	ایگنمبریت داسیتی	E2igd			
۱۸.۷۴۶	ایگنمبریت های ریولیتی تا کوارتز تراکیتی	E2ig3			
۱۵.۱۲۴	کریستال توف داسیتی سفید	E2t3			
۶۵.۴۸۱	گرانیت(تا اندازه‌ای دگرگون شده)	O g	مجموعه الیگوسن	الیگوسن	
۱۴.۴۴۶	کوارتز لاتیت	O qla			
۴۷.۹۱۶	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	Ot1	مجموعه کواترنری	عهد حاضر	کواترنر(چهارم)
۲۱۳۶۸.۱۶	رسوبات و پادگانه‌های آبرفتی جوان	Ot2			
۹۸.۲۶۱	مخروط افکنه های جوان	Q2f			

۳-۲-تعیین میزان رسوب در حوضه و واحدهای هیدرولوژیک

پس از بررسی عوامل ۹ گانه مؤثر در تولید رسوب در روش پسیاک. از جمع این ۹ لایه برای هر پیکسل عدد رسوب‌دهی R به دست می‌آید که با توجه به آن عدد، میزان فرسایش کیفی برای هر زیر حوضه و پس از کلاسبندی آن‌ها با توجه به رنج اعداد جدول ۲، تهیه گردید. پس از تعیین درجه رسوب‌دهی (R) با استفاده از رابطه زیر، میزان رسوب ویژه برحسب m3.ha.year تعیین و نقشه کلاس بندی شده تهیه گردید.

جدول ۲- تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش MPSIAC

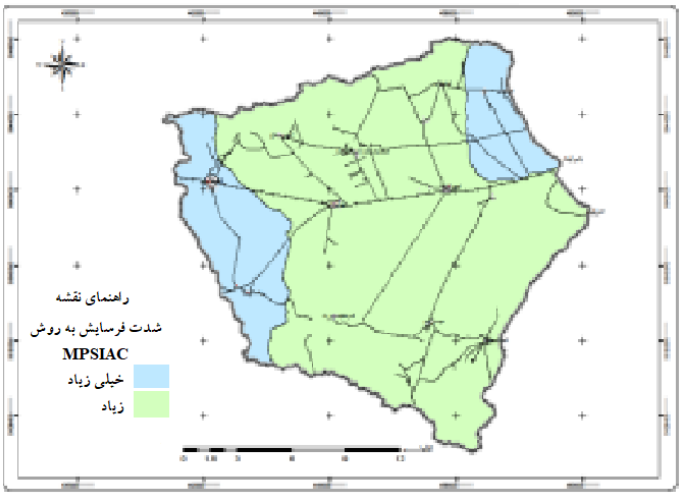
کلاس رسوب‌دهی و فرسایش	شدت رسوب‌دهی	مترمکعب در کیلومتر مربع	نمرات نشان دهنده شدت رسوب‌دهی
V	خیلی زیاد	>٦٥٠	>١٠٠
IV	زیاد	٦٥٠-٢٧٦	١٠٠-٧٥
III	متوسط	١١٢-٢٧٦	٧٥-٥٠
II	کم	٤٥-١١٢	٥٠-٢٥
I	خیلی کم یا جزئی	<٤٥	٢٥-٠

در روش‌های مختلف تجربی، پارامترهای خاصی بکار رفته است و به همین علت یک مدل کامل را نمی‌توان برای آن در نظر گرفت. برای حوضه مورد مطالعه با توجه به مساحت کم حوضه‌ها، از فرمول زیر استفاده شد.

$$SDR= 43.4\ A- 0.1753$$

$$\%SDR = \frac{\text{رسوب ویژه}}{\text{فرسایش ویژه}} \times ۱۰۰$$

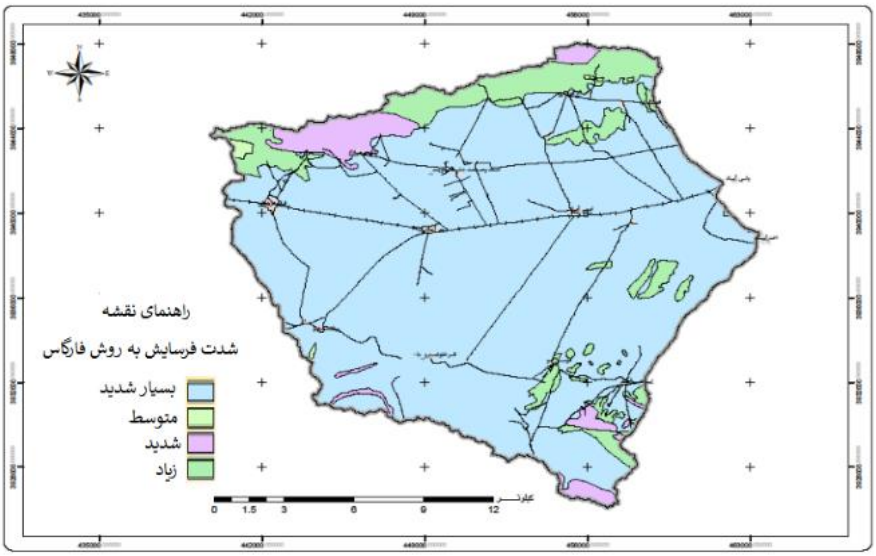
حوزه آبخیز اخترآباد دارای۲ کلاس رسوب‌دهی است، کلاس رسوب‌دهی متوسط (III)، این کلاس شامل بخش‌هایی از حوضه است که رسوب تولیدی آن در حد متوسط می‌باشد (۱/۱۲ -۲/۷۶m^3/hec) عوامل مؤثر تولید رسوب در این تیپ به ترتیب، کاربری نادرست، عامل پوشش زمین و فرسایش در مناطق بالادست حوضه می‌باشند. این کلاس۷۸۹۲۸/۹ هکتار مساحت معادل ۳۳/۹۵ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده است. کلاس رسوب‌دهی زیاد (IV) این کلاس شامل بخش‌هایی از حوضه است که رسوب زیادی تولید می‌نماید. (۲/۷٦ -٦/٥m^3/hec) این کلاس دارای۵۲۲۹۵/۲ هکتار مساحت معادل ٦٥/٥١ درصد است. میزان انتقال خاک زیاد بوده و استفاده از اراضی کاملاً محدود می‌شود. فاکتورهای توپوگرافی، کاربری زمین و آب‌وهوا، فرسایش در مناطق بالادست، کاربری اراضی و فرسایش آبراهه‌ای مؤثرترین عوامل رسوبزا در این کلاس می‌باشند. اجرای عملیات حفاظت خاک و اصلاح اراضی معمولاً هزینه زیادی دارد. کنترل فرسایش خاک و اقداماتی برای حفاظت آب در چارچوب طرح‌های حفاظتی اولویت داشته و ضروری است. شکل۱۰ شدت فرسایش در مدل MPSIAC را نشان می‌دهد.



شکل۱۰- شدت فرسایش مدل MPSIAC

۳-۳- فرسایش در روش فارگاس

درنهایت تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارائه شده توسط فارگاس و همکاران بر اساس حاصلضرب ارزش‌گذاری شده برای مقاومت سنگ به فرسایش، تراکم زهکشی و نتایج حاصله از شدت فرسایش در هر واحد سنگی به دست آمده است (شکل۱۱). جهت تعیین سطح شدت فرسایش مدل‌های پسیاک اصلاح شده و فارگاس نسبت به همدیگر، جدول ۳ به دست آمد.



شکل۱۱- شدت فرسایش مدل فارگاس

جدول ۳- توزیع سطح شدت فرسایش مدل‌های پسیاک اصلاح شده و فارگاس نسبت به همدیگر (به هکتار)

تلفیق شدت فرسایش از دو روش مورد مطالعه		شدت فرسایش به روش فارگاس				
		بسیار شدید	متوسط	شدید	زیاد	سطح(هکتار)
شدت فرسایش به روش پسیاک اصلاح شده	خیلی زیاد	۵۵۶۳.۲۷۵	۸۵.۷۵۱	۴۲.۹۱۲	۸۶۸.۵۰۸	۶۵۶۰.۴۴۷
	زیاد	۲۰۶۰۲.۰۶۷	۶.۶۴۱	۱۳۹۷.۱۹۶	۲۲۱۹.۲۳۴	۲۴۲۲۵.۱۳۸
	سطح(هکتار)	۲۶۱۶۵.۳۴۲	۹۲.۳۹۳	۱۴۴۰.۱۰۹	۳۰۸۷.۷۴۲	۳۰۷۸۵.۵۸۵

با توجه به موارد ذکر شده، مدل فارگاس و همکاران بر پایه اصول نظری دو عامل فرسایندگی (عامل تراکم زهکشی) و عامل فرسایش‌پذیری (عامل حساسیت سنگ به فرسایش) ارائه شده است؛ درصورتی‌که مدل پسیاک اصلاح شده بر اساس ۹ عامل، زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از اراضی، فرسایش مناطق بالادست، فرسایش رودخانه‌ای می‌باشد. لذا در تحقیق حاضر با به دست آوردن شدت

فرسایش از طریق دو مدل فوق (فارگاس و پسیاک اصلاح شده) به بررسی رفتار سازندها از نظر شدت فرسایش پرداخته شد. نتایج به دست آمده از مدل فارگاس بدین صورت بوده است که حدود ٢٦١٦٥/٣٤ هکتار (٨٤/٩٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش بسیار شدید، در حدود ١٤٤٠/١١ هکتار (٤/٦٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش شدید، حدود ٣٠٨٧/٧٤ هکتار (١٠/٠٢٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش زیاد و در حدود ٩٢/٣٩ هکتار (٣٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش متوسط بوده است. این در حالی است که بر اساس تحقیق فرسایش صورت گرفته به روش MPSIAC حدود ٦٥٦٠/٤٤ هکتار (٢١/٣٪) از سطح حوضه دارای شدت فرسایش خیلی زیاد و حدود ٢٤٢٢٥/١٣ هکتار (٧٨/٧٪) از سطح حوضه دارای شدت فرسایش‌زیاد بوده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در حدود ٧٧٨٢/٥٠ هکتار (٢٥/٢٧٪) از اراضی در این دو مدل از نظر شدت فرسایش باهم همخوانی دارند بدین ترتیب که دو مدل در حدود ٥٥٦٣/٢٧ هکتار (١٨/٠٧٪) از اراضی دارای شدت فرسایش بسیارشدید (یا خیلی‌زیاد)، دو مدل در حدود ٢٢١٩/٢٣ هکتار (٧/٢٪) از اراضی دارای شدت فرسایش زیاد است. در تحقیقات انجام شده در زمینه فرسایش‌پذیری می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط فیض‌نیا (١٣٧٤) اشاره کرد که بر اساس اقلیم‌های مختلف ایران، روشی را به منظور تعیین حساسیت سنگ‌ها به فرسایش ارائه نموده است. دامنه عددی که در این تحقیق برای مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته‌اند ١٥ –٠/٧بوده است. احمدی و همکاران (١٣٨٩) برای اجرای مدل‌های EPM و PSIAC به این نتیجه رسیدند که در ابتدا باید حوزه آبخیز به واحد، تیپ، رخساره و واحدکاری تقسیم شود و عوامل مدل‌ها را نیز در زیر حوضه‌های هیدرولوژی یک حوزه آبخیز ارزیابی نمود ومیزان فرسایش و ضریب فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌ها و کل حوزه‌آبخیز را محاسبه نمود تا دقت و اطمینان کار در استفاده از مدل‌های تجربی به‌دست آید. در تحقیق حاضر از دو مدل Fargas و MPSIAC به‌صورت مقایسه‌ای در کشور استفاده شده است. از مزایای مدل فارگاس، می‌توان به کم بودن عوامل و در دسترس بودن نقشه‌های مورد نیاز اشاره کرد. بنابراین درصورتی‌که مطالعات در مرحله مقدماتی و توجیهی باشد می‌توان از روش فارگاس استفاده نمود، اما در مراحل تفضیلی و دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های MPSIAC و BLM استفاده نمود.

٤- جمع‌بندی

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت با اجرای مدل فارگاس نتایج بهتری حاصل شده و شناخت بهتری از منطقه مورد مطالعه جهت اجرای عملیات مختلف حاصل می‌گردد. با توجه به جداول و موارد ذکر شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در سازندهای E2tb1, E2pa و E2ta2 در هر دو مدل موردبررسی دارای شدت فرسایش زیاد می‌باشند. سازندهای E1t2 و Q2f دارای شدت فرسایش بسیار شدید (در مدل فارگاس) و خیلی زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) هستند. سازندهای Qt1 و Qt2 دارای شدت فرسایش بسیار شدید (در مدل فارگاس) و زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند. سازند E2pa2 دارای شدت فرسایش زیاد (در مدل فارگاس) و خیلی زیاد (در

مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند، و سازند Emt دارای شدت فرسایش شدید (در مدل فارگاس، که دلیل آن علاوه بر فرسایش‌پذیری سازند، وجود تراکم بالای زهکشی و عدم پوشش گیاهی مناسب بوده است) و زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند و در سایر سازندهای موجود در حوزه آبخیز تطابق شدت فرسایش مشاهده نشده است. ازآنجاکه اولین مرحله در فرسایش، ضربه قطرات باران (فرسایندگی) به سطح زمین (فرسایش‌پذیری) است، شناخت دقیق هریک از این عوامل در جهت کاهش از شدت تخریب فرسایش بسیار مهم است. در تحقیق حاضر به بخش فرسایش‌پذیری (سازندهای زمین‌شناسی) در شدت فرسایش پرداخته شد. لذا با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهاد می‌شود از مدل‌های دیگری به بررسی شدت فرسایش‌پذیری سازندها پرداخته شود. عوامل خاص در هر سازند زمین‌شناسی (ازجمله: درز و شکاف، گسل و...) نیز در نظر گرفته شود. ازآنجایی‌که با توجه به شرایط طبیعی موجود در کشور مدل خاصی برای برآورد فرسایش و رسوب به‌صورت کمی وجود ندارد و اگر هم از مدلی استفاده شود، یا بیشتر جنبه کیفی داشته و یا جزء مدل‌های وارداتی محسوب می‌شود، لذا لازم است و پیشنهاد می‌شود با مطالعه مدل‌های مختلف و با در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر در فرسایش به دنبال ایجاد مدل‌های متناسب با شرایط طبیعی کشور باشیم. همچنین در رابطه با مشکلات مربوط به کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز مدل‌های موردبررسی، در پژوهش‌های صورت گرفته که به ارزیابی مدل‌های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی داشته‌اند، با توجه به کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز از روش MPSIACاستفاده نشده است و در مقابل با تهیه نقشه ژئومورفولوژی و تعیین رخساره‌های ژئومورفولوژی برای تکمیل مدل PSIAC بهره گرفته شد. لذا تحقیق حاضر مجدداً دلیلی بر اهمیت مدل‌های کمکی چون فارگاس و عوامل ژئومورفولوژی جهت تکمیل کمبودهای موجود، در رابطه با عوامل مورد نیاز مدل‌هاست.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ محمدی، علی اصغر؛ ۱۳۸۹. بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهنمک).*تحقیقات مرتع و بیابان*. شماره ۳ جلد۱۷. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_102929.html

احمدی، حسن. ۱۳۸۵. *ژئومرفولوژی کاربردی*، جلد۱ (فرسایش آبی). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.

بابایی، مهنار؛ حسینی، سید زین العابدین؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ المدرسی، سیدعلی؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل3D RUSLE، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۸ (۲):۱۶۵-۱۸ https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106454

پژوهش، مهدی؛ گرجی، منوچهر؛ طاهری، محمود؛ سرمدیان، فریدون؛ محمدی، جهانگرد؛ صمدی، حسین؛۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *نشریه پژوهش آب ایران*، ۸، صص۱۵۲-۱۴۳. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10835.html

رضازاده، محمد سهیل؛ بختیاری، بهرام؛ عباس پور، کریم؛ احمدی، محمد؛ ۱۳۹۷.شبیه سازی رواناب، رسوب و تبخیر تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. شماره ۴۱. ۵۱-۴۰ http://jwmsei.ir/article-1-492-fa.html

رفاهی، حسینقلی. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.

زنگنه اسدی، محمد علی؛ ناعمی تبار، مهناز؛ زندی، رحمان؛ ۱۴۰۰.بررسی پتانسیل مناطق مستعد با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه گناباد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره۴۰. ۱۱۲-۹۳. https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.71162.1080

فیض نیا، سادات. ۱۳۷۴.مقاومت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقالیم مختلف ایران. منابع طبیعی ایران. شماره۴۷. https://www.sid.ir/paper/421172/fa

فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹۶. مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و GIS. *هیدروژئومورفولوژی*. ۳ (۱۱) : ۳۸-۲۱GIS. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6712.html

محمدی، شاهین؛ کریم زاده، حمیدرضا؛ علیزاده، میثم؛ ۱۳۹۷.بررآورد مکانی فرسایش خاک ایران با استفاده از مدل RUSLE. *اکوهیدرولوژی*، ۵(۲):۵۶۹-۵۵۱. https://doi.org/10.22059/IJE.2018.239777.706

مختاری، لیلا گلی؛ شفیعی، نجمه؛ رحمانی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۷. برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RESLE:مطالعه موردی حوضه آبریز نورآباد ممسنی. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۷،صص ۲۱-۱. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_8601_bdcae205e0711afa44105744d1bf14fc.pdf

مزبانی، مهدی؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ ۱۴۰۰.ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۷. ۶۳-۴۱. https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67238.0

Ashraf, A., 2020. Risk modeling of soil erosion under different land use and rainfall conditions in Soan river basin. Sub -Himalayan region and mitigation options. Modeling Earth Systems and Environment, 6: 417–428.https://doi.org/10.1007/s40808-019-00689-6

Fargas ,D., Martinez, J.A., Poch, R.M., 1997. Identification Of Critical Sediment Sourse Area At Regional Level. Physics & Chemistry of the earth, 22 (3-4). https://doi.org/10.1016/S0079-1946(97)00158-4

Kumar, T., jahria ,D.C., Pandey, H.K., 2019. Comparative study of different models for soil erosion and sediment yield in Pairi watershed, Chhattisgarh, India. Journal Geocarto internathinal , 9:112- 124.https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1576779

Lai,R.,Bium.W.H.,Valentie,C.,and Stewart,B.A., 1998. Methods for assessment of soil degradation.Advances in soil Sciences.558PP 42. https://www.routledge.com/Methods-for-Assessment-of-Soil-Degradation/Lal-Blum-Valentin-Stewart/p/book/9780367448097

Morgan, R.P.C., 1995. "Soil erosion and conservation". Second edition. Silsoe College, Cranfield University. 198pp. https://www.amazon.co.uk/Soil-Erosion-Conservation-R-Morgan/dp/0582244927

Muche ,H., Temesgen ,M., Yimer ,F., 2013. Soil loss prediction using USLE and MUSLE under conservation tillage integrated with 'fanya juus' in Choke Mountain, Ethiopia. International ournal of Agricultural Sciences 3: 046-052.
https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/soil-loss-prediction-using-usle-and-musle-under-conservation-tillage-integrated-with-fanya-juus-in-choke-mountain-ethiop.pdf

Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Medeiros, P. H. A., Joao, M., 2017. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. Revista Ciencia Agronomica. 48(2): 251-260.https://www.scielo.br/j/rca/a/kYpYkhdmPvbX6VvFXHGLnTF/?lang=en

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.61-80 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77450.1256 Open access

The Impact of Solifluctions in Daronagar River basin on Physical and Chemical Properties of Soil

Maliheh Batajrobeh[a], Neda Mohseni[b*], Seyyed Reza Hossienzadeh[c], Amir Lakzian[d]

[a] *PhD Candidate in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[c] *Associate Professor in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[d] *Professor in Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 11 July 2022 ***Revised: 19 October 2022*** ***Accepted: 31 October 2022***

Abstract

Solifluction is the displacement of mud crust on surface of fixed foundation that occurs in areas near glaciers and mountains, which is underestimated as a natural disturbance factor and its ecological role in maintaining biodiversity is ignored. This process affects the denudation of mountains less than fast processes (landslides) and geochemical transitions, but due to its extent, has a great impact on the evolution of mountain landscapes. In order to investigate the physical and chemical properties of different solifluction soils, 4 sites were selected in the Daronagar River basin, located in the north-east Iran, based on the lobe or terrace type. Then, sampling was done from different microtopography, including the riser, tread and ridge parts. Texture, organic carbon, available phosphorus and potassium, pH, electrical conductivity, equivalent calcium carbonate, saturated moisture, soil stability, and porosity were then measured. The results showed that the impact of investigated factors on soil porosity and available phosphorus was not significant. In other studied characteristics, only the simple effect of the type of the studied site was significant. The values of pH, electrical conductivity, saturated moisture, and available potassium in Sites 1 and 2 were lower compared to the other two sites and there was a significant difference. This trend was the opposite in terms of organic carbon, soil stability and equivalent calcium carbonate. The highest value of these parameters was observed in terrace-type solifluctions. It seems that the impact of soil displacement in all types of solifluctions, as well as mutual relationship of some soil characteristics and their effect on each other caused the emergence of different characteristics in the investigated solifluctions.

Keywords: Thawing-freezing Cycle, Daronagar River Basin, Soil Properties, Microtopography

[*] Corresponding author: Neda Mohseni Email: nedamohseni@um.ac.ir Tel:+989112916943

How to cite this Article: Batajrobe, M., Mohseni, N., Hossein Zadeh, S. R., & Lakzian, A. (2023).. The effect of solifluctions in Daronagar River basin on physical and chemical properties of soil. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 61-80.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.77450.1256

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77450.1256

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۸۰-۶۱

مقاله پژوهشی

تأثیر سولیفلکسیون‌های حوضه آبریز درونگر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ملیحه باتجربه- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
ندا محسنی[1] - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
سید رضا حسین زاده - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
امیر لکزیان- استاد بیولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۸/۹

چکیده

سولیفلکسیون عبارت است از جابجایی قشر گلی بر سطح زیربنای ثابت که در مناطق مجاور یخچالی و کوهستان‌ها رخ می‌دهد. این فرآیند کمتر از فرآیندهای سریع (زمین‌لغزش) و انتقالات ژئوشیمیایی بر برهنه شدن کوه‌ها تأثیر می‌گذارد، ولی به دلیل گستردگی، تأثیر زیادی بر تکامل مناظر کوهستانی دارد. این در حالی است که به‌عنوان عامل اختلال طبیعی دست‌کم گرفته شده و نقش اکولوژیکی آن در حفظ تنوع زیستی نادیده گرفته می‌شود. به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سولیفلکسیون‌های مختلف، ٤ سایت در حوضه آبریز رودخانه درونگر، واقع در شمال شرق کشور، براساس نوع پله‌ای یا زبانه‌ای انتخاب شدند. سپس از میکروتوپوگرافی مختلف شامل قسمت‌های پیشانی، کف و حاشیه نمونه‌گیری (درمجموع ٢٤ نمونه) انجام و بافت، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس، pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، رطوبت اشباع، پایداری خاکدانه و تخلخل اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تأثیر نوع سایت و میکرومورفولوژی بر تخلخل و فسفر قابل‌دسترس خاک معنی‌دار نبود. در سایر

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۹۱۶۹۴۳ Email: nedamohseni@um.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

باتجربه، ملیحه؛ محسنی، ندا؛ حسین زاده، سیدرضا؛ لکزیان، امیر؛ ۱۴۰۲. تأثیر سولیفلکسیون‌های حوضه آبریز درونگر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۸۰-۶۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77450.1256

خصوصیات موردمطالعه تنها اثر ساده نوع سایت موردمطالعه معنی‌دار بود. مقادیر pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس در سایت ۱ و ۲ در مقایسه با دو سایت دیگر کمتر بوده و اختلاف معنی‌داری داشت. این روند در مورد کربن آلی، پایداری خاکدانه و کربنات کلسیم معادل برعکس بود و بیشترین مقدار این فاکتورها در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد تأثیر جابجایی خاک و ارتباط متقابل برخی خصوصیات خاک و اثرگذاری آن‌ها بر روی هم می‌تواند باعث به وجود آمدن خصوصیات مختلف در خاک سولیفلکسیون‌های موردبررسی باشد.

کلیدواژه‌ها: چرخه ذوب- انجماد، حوضه آبریز درونگر، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک، میکروتوپوگرافی.

۱- مقدمه

جامعه علمی ژئومورفولوژی تا دهه ۱۹۹۰ تعاملات بیوژئومورفولوژی را جدی نگرفته بودند و در مورد اینکه بیوژئومورفولوژی چیست؟ چه فوایدی دارد؟ به کجا می‌رود؟ توافق و اجماعی وجود نداشت. دانش بیوژئومورفولوژی که ظهور واقعی آن به اواخر دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد به‌عنوان یک حوزه نسبتاً جوان در ژئومورفولوژی به تعامل و بازخورد بین اکولوژی، چشم‌اندازهای فیزیکی و فرایندهای سازنده آن‌ها می‌پردازد. فرآیندهای بیولوژیکی/اکولوژیکی (هوازدگی زیستی، فرسایش زیستی، آشفتگی زیستی) می‌توانند فرآیندهای پایه ژئومورفولوژیکی مانند (فرسایش و رسوب) را تحت تأثیر قرار دهند. هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها را خرد کرده و باعث افزایش سطوح تماس می‌شوند که در ادامه فرآیندهای پدوژنیک با تأثیر بر روی مواد مادری باعث به وجود آمدن خصوصیات مختلف خاک می‌شوند. به عبارتی تغییرات ژئومورفولوژی باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده، بنابراین می‌توان گفت که ژئومورفولوژی ازجمله علومی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در بررسی‌های مربوط به خاک از جنبه‌های مختلف دارد. نتیجه اینکه فرآیندها با تغییر الگوهای متداول خاک در مقیاس‌های کوچک می‌توانند زمینه ظهور دینامیک‌های بزرگ‌مقیاسی را در ساختار چشم‌انداز فراهم آورند. شایان ذکر است علی‌رغم اینکه سابقه تحقیق در مورد اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در اکثر کتب ژئومورفولوژی در ایران موجود است (محمودی، ۱۳۷٤، احمدی، ۱۳۷۹، رفاهی، ۱۳۹٤)، اما پژوهش‌های موردی در خصوص تعیین روابط بین نوع اشکال فرسایش و عوامل محیطی مؤثر بر آن لندک بوده است. به‌طورکلی سولیفلکسیون‌ها یکی از گسترده‌ترین چشم‌اندازها و حرکات دامنه‌ای در مناطق کوهستانی و نواحی تپه‌ماهوری ایران هستند و به‌عنوان عوامل مهم اختلال طبیعی نادیده یا دست‌کم گرفته شده‌اند؛ تشکیل سولیفلکسیون‌ها منجر به تشکیل رسوبات شیب‌داری می‌شوند که از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت هستند و با فرآیندهای رسوبی و فرسایشی باعث توزیع مجدد مواد و تغییر حالت سطح می‌شوند و بر فرآیندهای بعدی مانند تشکیل خاک، نفوذ آب

و ریشه تأثیر می‌گذارند (وکل و همکاران[1]، ۲۰۱۱). سولیفلکسیون تنها به خصوصیاتی از خاک مانند بافت و رطوبت خاک مربوط نبوده؛ بلکه به‌طورکلی چندین عامل محیطی دیگر در شکل‌گیری و تحول فرم‌های سولیفلکسیون معرفی شده است، این عوامل شامل: (الف) متغیرهای توپوگرافی، مانند زاویه شیب، (ب) متغیرهای آب و هوایی ازجمله دمای هوا، خاک، پوشش برفی و (پ) وقوع یخبندان دائمی می‌باشند (ردفیلت[2] و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین تحقیقات مختلف نقش پوشش گیاهی را در تأثیرگذاری بر سولی فلوکسیون برجسته کرده است. تأثیر عوامل فوق باعث می‌شود ویژگی‌های متمایزی از انواع سولیفلکسیون شامل غده‌ای یا پشته‌ای[3]، زبانه‌ای[4]، صفحه‌ای[5] و پله‌ای[6] به وجود می‌آید (ماتسوکا[7]، ۲۰۰۱، بندیکت، ۲۰۱۰).

هر سولیفلکسیون به‌طور هم‌زمان سایت‌های رسوبی و فرسایشی ایجاد می‌کند و با توزیع مجدد مواد باعث ایجاد تغییرات در سطح شده و بر مکان‌ها تأثیر می‌گذارد که نتیجه این امر باعث کنترل ترکیب گونه‌های گیاهی و الگوهای توزیع در ابعاد میکرو می‌شود. نرخ حرکت در سولیفلکسیون حتی در ابعاد میکرو و به‌صورت محلی بسیار متغیر است (بندیکت،۱۹۷۰) که باعث به وجود آمدن میکروتوپوگرافی‌های پیچیده‌ای (در مقیاس سانتی‌متر تا دسی‌متر و میلی‌متر) و تنوع زیستگاه‌های کوچک می‌شود. این میکروتوپوگرافی‌ها شامل قسمت‌های پیشانی[8] – کف[9] –حاشیه[10] می‌باشند (روسی و مالنسون[11] ، ۲۰۱۲. کاننون و گوگلیلمی[12]، ۲۰۱۰. کلرر-پیرکلبائر[13]، ۲۰۱۸). در این رابطه می‌توان به کار ایشل و همکاران[14] در سال ۲۰۲۰ ، اشاره کرد که با استفاده از پهپاد به بررسی الگوی حرکتی پیشانی و کف در سولیفلکسیون زبانه‌ای پرداختند و درنهایت ارتباط بین الگوهای حرکتی و عواملی مانند متغیرهای ژئومورفومتریک، مواد مادری، دما و پوشش گیاهی را به دست آوردند. به‌طور مشابه کلرر–پیرکلبائر در سال ۲۰۱۸ با مطالعه نرخ سولیفلکسیون و کنترل‌های زیست‌محیطی تأثیر ویژگی‌های محیطی شامل لیتولوژی، رسوب‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و توپوگرافی را بر انواع مختلف سولیفلکسیون مانند پیپ کراک، ژلیفلوکسیون، خزش یخزدگی (شامل خزش یکساله و خزش روزانه است) بررسی کردند.

1 Völkel
2 Ridefelt
3 hummock
4 Lobe
5 sheet
6 terrace
7 Matsuoka
8 Riser
9 Tread
10 Ridge
11 Rose and Malanson
12 Cannone and Guglielmi
13 Kellerer-Pirklbauer
14 Eichel

تاکنون مطالعات چشم‌گیری بخصوص در ایران در رابطه با تأثیر سولیفلکسیون بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام نشده است اما اخیراً در رابطه با سایر حرکات دامنه‌ای مانند زمین‌لغزش مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. گزارش‌ها در مورد تأثیر فرآیندهایی مانند زمین‌لغزه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مقایسه با نمونه‌های شاهد نتایج مختلف و متناقض را نشان می‌دهند. به‌عنوان‌مثال ردی و سینگ[1] (۱۹۹۳) و زرین و جانسون[2] (۱۹۹۵) افزایش کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس و کاتیون‌های محلول و (لاندگرن[3]، ۱۹۷۸، ماسیجینا و همکاران[4]، ۲۰۱۹) کاهش کربن آلی، رس و عناصر غذایی را در خاک‌های سطحی مناطق دارای زمین‌لغزه در مقایسه با شاهد در طی زمان گزارش داده‌اند. در مورد علت این نتایج والکر و شیلز[5] سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که ناهمگونی مکانی زیاد مواد مادری در یک زمین‌لغزش ممکن است مانع مهمی برای تغییرات بعدی باشد. وان انده و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر زمین‌لغزش بر عناصر خاک مانند: پتاسیم قابل‌دسترس، سدیم و کلسیم و منیزیم محلول، بافت، pH و کربن آلی خاک پرداختند. نتایج نشان داد که لغزش‌های جدید دارای مقادیر کم کربن آلی و پتاسیم قابل‌دسترس و مقادیر بیشتر سنگریزه و سدیم محلول نسبت به خاک‌های مجاور بوده است. مقدار کربن آلی خاک با گذشت زمان به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته به عبارتی زمین‌لغزش‌های قدیمی‌تر دارای مقادیر بالاتری از کربن آلی نسبت به خاک‌های مجاور بودند.

همچنین ماسیاگینا و همکاران[6] (۲۰۱۹) با بررسی توالی اکوسیستم در زمین‌لغزش‌هایی با سنین متفاوت به این نتیجه رسیدند که این تغییرات سبب تغییر چشم‌انداز، خاک و زیست‌بوم‌ها می‌شود. به‌طورکلی بعد از گذشت یک سال از این رخداد افت میزان تنفس خاک و ذرات معدنی کربن و نیتروژن خاک چهار برابر کمتر در قسمت میانی خاک لخت در مقایسه با نقاط کنترل و بدون تأثیر زمین‌لغزش را نشان داد. علاوه بر این، تخریب یخبندان دائمی به دلیل رانش زمین به‌وضوح مانع تجمع مواد آلی خاک می‌شود.

کولن و همکاران[7] سال ۲۰۲۲ ، با بررسی اثرات و نقش سه نوع زمین‌لغزش (با توجه به نوع مواد و شکل جابجایی) در سه سطح از تنوع بیوفیزیکی (اکولوژیکی) شامل تنوع خاک، تنوع سایت، تنوع اکوسیستم‌ها به تصدیق نقش زمین‌لغزش در تغییرات محیطی و سایت‌ها پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که زمین‌لغزش‌ها نه‌تنها سبب تشکیل مراحل ابتدایی خاک در منطقه فرسایش[8] یا به عبارتی رخنمون مواد مادری و افق C شده بلکه بر باز توزیع بافت خاک و افق A در مناطق رسوبی[9] نیز تأثیر گذاشته، همچنین زمین‌لغزش با تأثیر بر ترکیبات مختلف

1 Reddy and Singh
2 Zarin and Johnson
3 Lundgren
4 Masyagina et al
5 Walker and Shiels
6 Masyagina et al
7 Cullen et al
8 depletion zones
9 accumulation zones

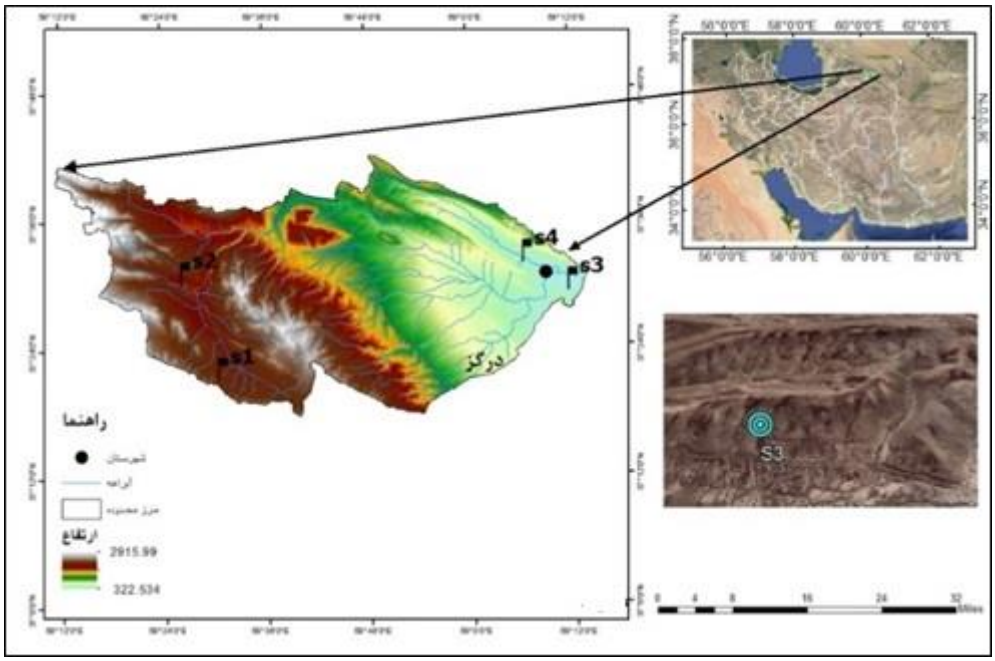
میکروتوپوگرافی، بستر، خاک (شیمی مواد ، بافت، تخلخل و...)، رطوبت و پوشش گیاهی منجر به تشکیل و تغییر انواع زیستگاه‌ها برای گونه‌های مختلف می‌شود.

با توجه به مطالب بیان شده پیرامون پیدایش و تأثیر محیط بر تشکیل سولیفلکسیون، در این تحقیق هدف بر این بوده که تأثیر تشکیل دو نوع سولیفلکسیون زبانه‌ای و پله‌ای و همچنین میکرومورفولوژی‌های مختلف آن‌ها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردبررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده موردمطالعه

منطقه موردمطالعه حوضه آبریز رودخانه درونگر است که در رشته‌کوه‌های کپه داغ در شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان رضوی واقع گردیده است. محدوده موردمطالعه، بخشی از حوضه آبریز قره قوم بوده که با وسعت ٣٢٦٤ کیلومترمربع، بین ″ ٥٥ ′ ١١ °٣٧ تا ″ ١٨ ′ ٤٢ °٣٧ عرض شمالی و ″ ٣٠ ′ ١١ °٥٨ تا ″ ٢٤ ′ ٢٧ °٥٩ طول شرقی واقع شده است که در بخش شمالی با کشور ترکمنستان هم مرز است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و پراکندگی سایت‌های مطالعاتی

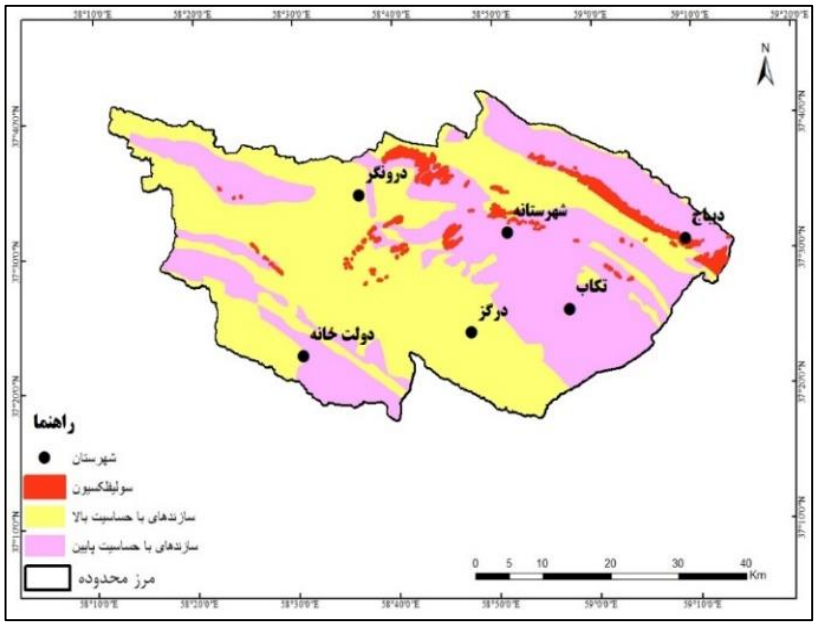
۲-۲-ویژگی‌های زمین‌شناسی سایت‌های مطالعاتی

قسمت وسیعی از این حوضه را کوهستان‌ها و اراضی غیر مسطح تپه ماهوری به خود اختصاص می‌دهند، سازندهای ریزدانه‌ای که با توجه به ساختار خاص خود، مقاومت کافی و لازم در برابر فرآیندهای فرسایشی را نداشته و با سرعتی بیشتر از سایر سازندهای زمین‌شناسی تخریب می‌شوند. در این حوضه سازندهای زمین‌شناسی مستعد سولیفلکسیون حدود ۵۱/۳ ٪ از وسعت منطقه را در برگرفته و این خود مبین حساسیت خاص این حوضه به عوامل فرسایش است. سایت‌های ۳ و ٤ در سازند خانگیران (ماسه‌سنگ و شیل سبز)، سایت ۲ در سازند سرچشمه (شیل آمونیت دار با میان لایه‌های سنگ‌آهک اربیتولین دار) و سایت ٤ واقع در ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع بوده است (جدول ۱، شکل ۲).

جدول ۱- حساسیت سازندهای زمین‌شناسی منطقه نسبت به فرسایش آبی(سولیفلکسیون)

ردیف	واحد	مواد مادری	وسعت (هکتار)	وسعت درصد	وضعیت سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش آبی (سولیفلکسیون)			وضعیت سولی‌فلکسیون	درصد
					حساسیت	امتیاز کیفی	امتیاز کمی		
۱	Kab	مارن و شیل (سازند آب تلخ)	٦۰۱	۰/۲	منفصل	بسیار نامناسب	۹	تراکم بالای سولیفلکسیون	۵۱/۳
۲	Qft2	ذخایر پله‌ای و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع	٦۰۱٥٤	۲٤/٥	منفصل	بسیار نامناسب	۹		
۳	Qft1	ذخایر پله‌ای و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی کم ارتفاع	۲۰۷۷	۰/۸	منفصل	بسیار نامناسب	۹		
٤	PeEck	سنگ‌آهک، مارن و مارن گچی	٦٥۷٦	٤/۷	منفصل-منفصل-یکپارچه	مناسب	۷		
٥	Ksn	شیل خاکستری تا تیره و لایه‌های نازکی از سیاتستون و ماسه	٤۸۹۹	٥	منفصل-منفصل-یکپارچه	مناسب	۷		
٦	Ksr	شیل آمونیت دار با میان لایه‌های سنگ‌آهک اربیتولین دارس	۱۸۲۹۹	۷/٥	منفصل-یکپارچه	متوسط	٥		
۷	Ekh	ماسه‌سنگ و شیل سبز (سازند خانگیران)	۱۱۷۱٤	٤/۸	منفصل-یکپارچه	متوسط	٥		
۸	Kat	ماسه‌سنگ و گلوکونیتی و شیل (سازند آتامیر)	۲۱۸۲	۰/۹	منفصل-یکپارچه	متوسط	٥		

ردیف	واحد	مواد مادری	وسعت (هکتار)	وسعت درصد	وضعیت سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش آبی (سولیفلکسیون)			وضعیت سولی‌فلکسیون	درصد
					حساسیت	امتیاز کیفی	امتیاز کمی		
٩	Kad	چرت اینوسراموس دار و سنگ‌آهک گلوکونیتی آرژیلی (سازند آب)	٤٨٧٥	٢	منفصل- یکپارچه	متوسط	٥		
١٠	PeEps-ck	واحد تفکیک نشده شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک و مارن	٤٧٧	٠/٢	منفصل یکپارچه- یکپارچه	نامناسب	٣	تراکم پایین یا فاقد سولیفلکسیون	٤٨/٧
١١	Ktr	سنگ‌آهک الیتیک و اربیتولیندار بیوکلاستی (سازند تیرگان)	١٠٧٧٤٧	٤٠/٩	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		
١٢	PlQc	کنگلومرای پلی ژنیک سست	١٧٣٧	٠/٧	منفصل	بسیار نامناسب	١		
١٣	Jmz	سنگ‌آهک و دولومیت (سازند مزدوران)	٧١٨	٠/٣	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		
١٤	Knz	ماسه‌سنگ گلوکونیتی (سازند نی زار)	٢٣٥٦٥	٦/٦	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		



شکل ٢- پراکندگی پهنه‌های سولیفلکسیون بر روی انواع سازندها با حساسیت‌های متفاوت

۲-۳- سایت‌های موردمطالعه و نمونه‌برداری خاک

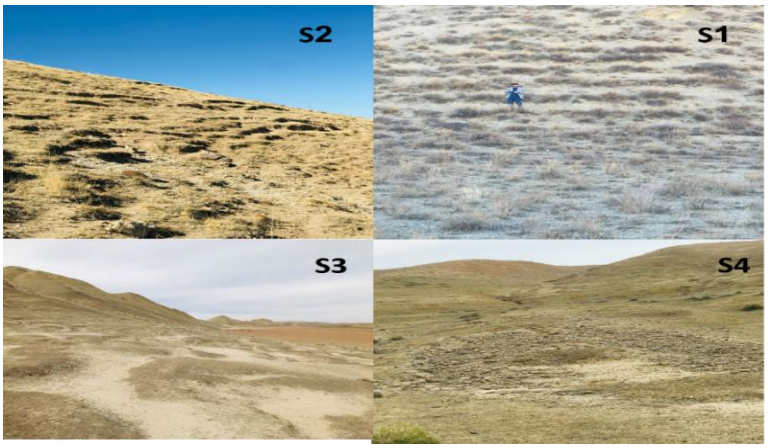
در این تحقیق دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای (جریانی) که هریک فرم‌های متنوعی از نظر ویژگی‌های مورفومتری و الگوهای پراکنش داشته انتخاب شدند. دو سایت مطالعاتی به‌عنوان معرف تیپ پله‌ای و دو سایت دیگر معرف تیپ زبانه‌ای در سطح منطقه انتخاب گردیده است (جدول ۲). هر دو تیپ یاد شده از سه بخش مشخص پیشانی، کف و حاشیه تشکیل شده‌اند که از این بخش‌ها تحت عنوان میکروتوپوگرافی‌های سولیفلکسیون یاد شده است. انواع میکروتوپوگرافی‌ها، سیستم‌هایی پویایی هستند که عوامل زیستی و فیزیکی-شیمیایی دائماً در آن‌ها در حال تغییر است. به همین دلیل بیشتر از لندفرم‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر می‌توانند تغییرات محیطی را ثبت کنند (قهرودی و همکاران، ۱٤۰۰).

بنابراین در هرکدام از سایت‌ها سه نوع میکرومورفولوژی انتخاب شده و از هر بخش ۲ نمونه برداشت شد (شکل ۳). طبق گفته فرنچ (۱۹۹٦)، نوع زبانه‌ای اغلب در زمین‌هایی با زوایای ۲-٤ درجه ظاهر می‌شوند. ولی نوع پله‌ای در مناطق با شیب بیشتر به بهترین شکل توسعه می‌یابند. همان‌طور که در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شود و با توجه به مطالب گفته شده میزان شیب و ارتفاع در سایت‌های زبانه‌ای کمتر از سایت‌های پله‌ای است. در بازدید و مشاهدات میدانی سایت‌های ۱ و ۲ از نوع پله‌ای به همراه پوشش غالب بوته‌ای و ریشه‌های عمیق، در دامنه‌ای نامنظم، پرشیب و مقعر با ضخامت خاک بالای دو متر قرار گرفته بودند. سولی فلوکسیون‌های سایت‌های ۳ و ٤ از نوع زبانه‌ای و در حال از بین رفتن بودند که در این سایت‌ها ضخامت خاک پایین، دامنه محدب و رو به شمال بوده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیوگرافی سایت‌های موردمطالعه

جهت شیب	شیب (درصد)	ارتفاع (متر)	نوع سولیفلکسیون	سایت
جنوبی	٤۳/۳	۱۸۹۳	پله‌ای	S1
شمال شرقی	٤۲/۸	۱۵۹۲	پله‌ای	S2
شرقی	٤	۳۸۷	زبانه‌ای	S3
جنوبی	۷	۳۹۰	زبانه‌ای	S4

.



شکل ۳- سایت‌های موردمطالعه شامل S1 و S2 پله‌ای- S3 و S4 زبانه‌ای

درمجموع تعداد ٢٤ نمونه‌ی انتخاب شـــده از عمق صـــفر تا ۳۰ ســـانتی‌متر جمع‌آوری و جهت حفظ رطوبت، کلوخه‌های خاک در ظروف پلاستیکی در بسته قرار داده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و حذف سنگ‌ریزه‌های درشت و ریشه‌ها، در هوای آزاد خشک شدند. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ابتدا نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و سپس خصوصیاتی شامل pH (استفان و همکاران[1] ، ۲۰۱۳)، هدایت الکتریکی (کاتر و گریگوریچ[2] ، ۲۰۰۷)، کربن آلی خاک (والکی و بلک[3]، ١٩٣٤)، فسفر قابل‌دسترس (السن و سومر[4] ،١٩٨٢)، پتاسیم قابل‌دسترس (پانسو و گوتیرو[5] ، ۲۰۰۷)، تخلخل، کربنات کلسیم معادل (لوپیرت و سوارز[6]، ١٩٩٦)، درصد پایداری خاکدانه (کامپیر و روسنا، ١٩٨٦)، بافت به روش هیدرومتری (بویوکس[7]، ١٩٦٢) و رطوبت اشباع خاک اندازه‌گیری شدند.

برای مقایسه سایت‌های مختلف از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از آنالیز واریانس استفاده شد. در صورت رؤیت تفاوت معنی‌دار در نتایج تجزیه واریانس، از آزمون تکمیلی توکی[8] برای مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد. برای تعیین رابطه بین ویژگی‌های خاک در بخش‌های مختلف از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

1 Estefan et al
2 Carter and Gregorich
3 Walkley and Black
4 Olsen and Sommers
5 Pansu and Gautheyrou
6 Loeppert and Suarez
7 Bouyoucos
8 Tukey

۳- نتایج

نتایج اندازه‌گیری بافت نمونه خاک‌های موردمطالعه نشان داد که در سایت‌های دارای سولیفلکسیون پله‌ای دامنه مقدار رس بین ۱۷ تا ۲۷، شن بین ۱۸ تا ٤۷ و سیلت بین ٤۹ تا ٦۳ درصد بود این در حالی است که در سولیفلکسیون‌های نوع زبانه‌ای مقدار رس بین ۲۲ تا ٤٤، شن بین ١٦ تا ۲۸، و سیلت بین ۳٦ تا ٥٦ درصد بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که از بین فاکتورهای موردمطالعه، تنها اثر ساده سایت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس خاک معنی‌دار بود و اثر ساده نوع میکرومورفولوژی و همچنین اثر متقابل این دو بر خصوصیات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. لازم به ذکر است که تأثیر انواع سولی‌فلکسیون بر میزان تخلخل و فسفر قابل‌دسترس خاک نیز معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر انواع سولیفلکسیون، میکروتوپوگرافی‌ها و اثر متقابل این دو بر خصوصیات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت اشباع	تخلخل	پتاسیم	فسفر	درصد پایداری خاکدانه
		میانگین مربعات								
سایت	۳	۰/۲٤**	۱۷/۱۳**	۰/۵۲**	۳۱۲/٤**	۳۳۲/٤**	۹/۰۹ns	۱۵۷۸۸**	۱۸/۵٤ns	۷۷۱/۹**
میکرومورفولوژی	۱	۰/۰۳ns	۳/٤۵ns	۰/۰۰۷ns	۰/۵۲ns	٦٦/۱۷ns	۱۲/٤۹ns	۸۱۹ns	۰/۹۹ ns	۳۷/۲ ns
سایت*میکرومورفولوژی	۳	۰/۰۰۰۵ns	۲/٦۳ns	۰/۱۲ns	۰/۷۵ns	۷/۸٤ns	۵/۰۵ns	۷۸۲ns	۱۱/۲۸ns	۸/۹۸ns
خطا	۸	۰/۰۱۱	۲/٤٦	۰/۰۵٤	۹/۷۹	۱۳/۹۱	۸/٤۱	۳٤۱	۱۵/٤۳	۲۲/۷٦
کل	۱۵									

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشند.

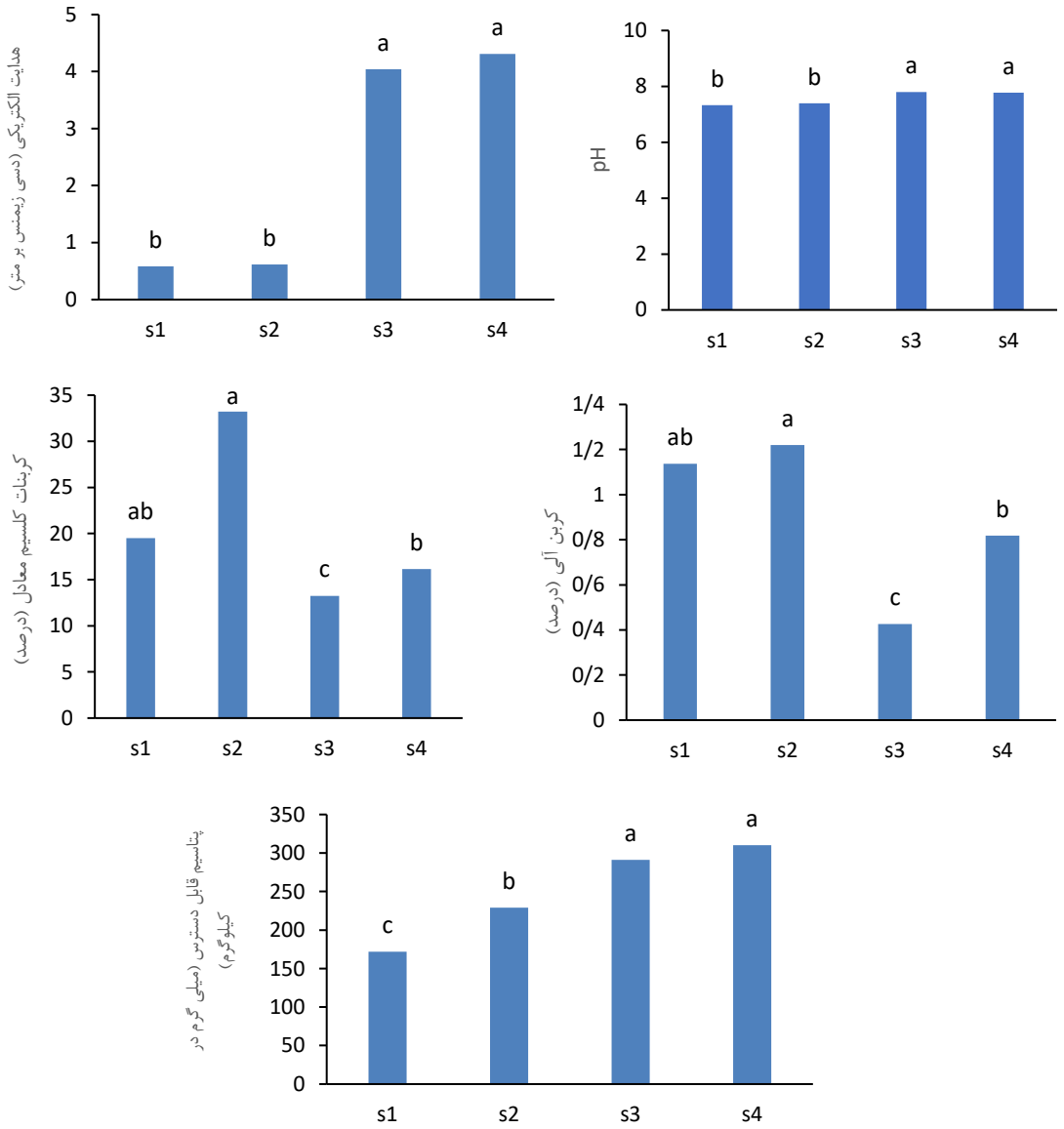
نتایج بررسی اثر ساده سایت‌های موردمطالعه بر میزان pH خاک گواه این مطلب بود که در دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای موردمطالعه میزان متغیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری داشت. به‌طورکلی دامنه تغییرات این متغیر کم بوده و محدوده pH اندازه‌گیری شده در این چهار سایت بین ۷/۳۳ تا ۷/۸۰ بود. بیشترین و کمترین میزان pH خاک اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو سایت ٤ و ۱ مشاهده شد. لازم به ذکر است در هر یک از دو سایت پله‌ای (۱ و ۲) و زبانه‌ای(۳ و ٤) از نظر میزان pH خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ٤).

نتایج بررسی اثر ساده سایت‌های موردمطالعه بر میزان هدایت الکتریکی خاک نشان داد که همانند متغیر قبلی در دو نوع سولیفلکسیون موردمطالعه میزان هدایت الکتریکی خاک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت. دامنه تغییرات هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در این چهار سایت بین ۰/۵۸ تا ٤/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی خاک اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو منطقه ۳ و ۱ مشاهده شد. لازم به ذکر است که در هر یک از دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای از نظر میزان هدایت الکتریکی خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ٤).

روند مشاهده شده در مورد میزان کربنات کلسیم معادل خاک‌های موردمطالعه بدین‌صورت بود که به‌طورکلی میزان این متغیر در سایت‌های از نوع پله‌ای بیشتر از نوع زبانه‌ای بود. بااین‌وجود بیشترین و کمترین میزان کربنات کلسیم اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو سایت ۲ و ٤ بود. بین دو سایت ۳ و ٤ (سولیفلکسیون زبانه‌ای) اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد و این در حالی بود که در بین انواع پله‌ای این حالت وجود نداشت (شکل ٤).

اختلاف مشاهده شده بین مقادیر پتاسیم قابل‌دسترس خاک سایت‌های موردمطالعه معنی‌دار بوده و در مورد این متغیر هم نیز روند مشاهده شده مانند سایر فاکتورهای موردبررسی بوده و درمجموع دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند و لازم به ذکر است که اختلاف بین دو سایت ٤ و ۳ (نوع زبانه‌ای) معنی‌دار نبود (شکل ٤).

بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی به ترتیب در دو سایت ۲ و ۳ با مقادیر ۱/۲۲ و ۰/٤۲ درصد بود. تفاوت بین کربن آلی و کربنات کلسیم معادل در این بود که در این بخش بین دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و این اختلاف در دو نوع سولیفلکسیون زبانه‌ای معنی‌دار بود. زیرا در نوع زبانه‌ای گاهی اوقات در این نوع سولیفلکسیون بیش از یک لایه وجود دارد و چندین لوب بر یکدیگر غلبه کرده و روی هم قرار گرفته‌اند؛ بنابراین باعث تفاوت مقدار کربن در دو نوع زبانه‌ای شده است(شکل ٤).

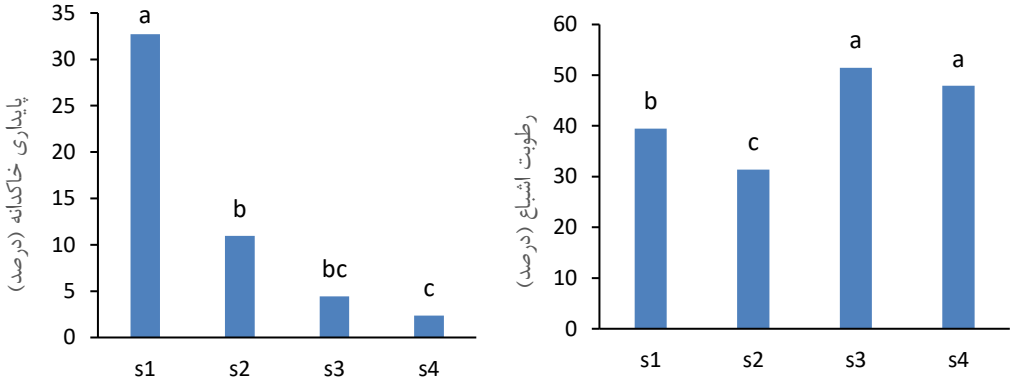


شکل ٤- مقایسه آماری خصوصیات شیمیایی خاک بین سولی فلکسیون‌های زبانه‌ای و پله‌ای

شکل ٥ نشان‌دهنده اثر سایت‌های موردمطالعه بر میزان رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده در خاک است. طبق نتایج این متغیر هم اختلاف معناداری بین دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای داشت.

محدوده رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده بین ۳۱/۳ تا ٥١/٤ درصد بود (شکل ٥). بررسی میزان پایداری خاکدانه سایت‌های موردمطالعه نشان داد که میزان این متغیر در سولی‌فلکوسیون‌های نوع پله‌ای به‌مراتب بیشتر از نوع زبانه‌ای بود. بیشترین و کمترین درصد پایداری خاکدانه به ترتیب در دو سایت ۱ و ۳ با مقادیر ۳۲/۷ و ۲/۳۸ درصد بود

(شـــکل ۵). دامنه تغییرات پایداری خاکدانه زیاد بوده و بین دو ســـایت ۳ و ٤ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد.



شکل ۵- مقایسه آماری سایت‌های موردمطالعه بر خصوصیات فیزیکی خاک

بررسی نتایج همبستگی فاکتورهای موردمطالعه نشان داد که در بین داده‌های موردمطالعه بیشترین میزان همبستگی بین هدایت الکتریکی و پایداری خاکدانه (۰/۸۷**-) وجود داشت (جدول ٤). ازجمله همبستگی‌های قابل‌ملاحظه در بین خصوصیات اندازه‌گیری شده می‌توان به همبستگی بین کربن آلی و پایداری خاکدانه (۰/۷۳) اشاره کرد.

جدول ٤- نتایج همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک در سایت‌های موردمطالعه

	pH	هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	رطوبت اشباع	تخلخل	فسفر	پتاسیم	پایداری خاکدانه
pH	۱	۰/۸۴**	-۰/۷۶**	-۰/۶۲**	۰/۷۸**	-۰/۳۳ns	-۰/۳۷ns	۰/۸۴**	-۰/۸۲**
هدایت الکتریکی		۱	-۰/۷۰**	-۰/۷۲**	۰/۷۵**	-۰/۴۹*	-۰/۳۴ns	۰/۷۹**	-۰/۸۷**
کربنات کلسیم معادل			۱	۰/۷۳**	-۰/۹۰**	۰/۳۸ns	۰/۵۱*	-۰/۶۳**	۰/۵۸*
کربن آلی				۱	-۰/۶۸**	۰/۵۱*	۰/۰۸ns	-۰/۵۳*	۰/۷۳**
رطوبت اشباع					۱	-۰/۳۷ns	-۰/۵۴*	۰/۶۵**	-۰/۶۶**
تخلخل						۱	۰/۱۰ns	-۰/۲۲ns	۰/۳۸ns
فسفر							۱	-۰/۲۱ns	۰/۰۱ns
پتاسیم								۱	-۰/۸۰**
پایداری خاکدانه									۱

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

٤-روابط بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک

در این مطالعه میزان رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده در سولیفلکسیون زبانه‌ای بیشتر از نوع پله‌ای بود. در این زمینه ورپالست و همکاران[1] در سال ۲۰۱۷ گزارش کردند که در سولیفلکسیون زبانه‌ای میزان رطوبت اشباع حاصل از چرخه‌های متعدد ذوب و انجماد در بخش میانی آن بیشتر از لبه‌ها بود. لازم به ذکر است که در این نوع سولیفلکسیون در مقایسه با نوع پله‌ای میزان رس بیشتر و شن کمتر بوده و این دلیل دیگری بر افزایش میزان رطوبت اشباع در سولیفلکسیون زبانه‌ای در مقایسه با پله‌ای بود.

در ارتباط با میزان هدایت الکتریکی و رطوبت نیز این‌گونه می‌توان گفت که افزایش میزان رطوبت خاک باعث افزایش حلالیت نمک‌ها در محلول خاک شده است. مطالعات نشان داده که هدایت الکتریکی به‌شدت با رطوبت و بافت خاک مرتبط است. نکته موردبحث دیگر ارتباط بین هدایت الکتریکی و بافت خاک بوده و مطالعات نشان داد که هدایت الکتریکی بالاتر معمولاً به معنای مقدار بیشتر رس و مقدار کمتر شن است که در مطالعات مختلف ثابت شده است (نوایس و همکاران[2]، ۲۰۱۹. هیلی و ا اشمیدهالتر[3]، ۲۰۱۷. لاجلی و همکاران[4]، ۲۰۲۱). همچنین اکوو و بارتولومه[5] در سال ۲۰۱۱ در آزمایش‌های خود یک همبستگی مثبت قوی بین هدایت الکتریکی و میزان رطوبت خاک برای سه نوع خاک ارزیابی شده در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه را مشاهده کردند که با نتایج به دست آمده در این مطالعه نیز همخوانی دارد.

تأثیر رطوبت بر میزان کربن آلی خاک نیز بررسی و گزارش شده است که رطوبت خاک، محیط و فعالیت میکروبی خاک را تعیین می‌کند و ذخیره کربن خاک را کاهش می‌دهد (بروکت و همکاران ، ۲۰۱۲. کیو و همکاران[6]، ۲۰۲۱). در این مطالعه نیز بین رطوبت اشباع و میزان کربن آلی همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۹) مشاهده شد. به‌بیان‌دیگر افزایش میزان رطوبت در خاک سولیفلکسیون‌های زبانه‌ای باعث افزایش تجزیه ماده آلی و بالطبع کاهش میزان کربن آلی در این نوع سولیفلکسیون در مقایسه با نوع پله‌ای بود. وجود کربن آلی بالاتر نشان‌دهنده پوشش گیاهی بیشتر در نوع پله‌ای بوده که مشاهدات صحرایی نیز گواه این مطلب بود.

براساس نتایج همبستگی داده‌ها، پایداری خاکدانه با دو متغیر کربن آلی و کربنات کلسیم معادل همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. میزان این سه متغیر اندازه‌گیری شده در سولیفلکسیون‌های پله‌ای به‌مراتب بیشتر از زبانه‌ای بود. در مورد رابطه بین مقدار کربن آلی با پایداری خاکدانه‌ها تحقیقات جنسن و همکاران[7] در سال های ۲۰۱٦ و ۲۰۱۹ نشان

1 Verpaelst et al
2 Novais et al
3 Heil and Schmidhalter
4 Lajili et al
5 Ekwue and Bartholomew
6 Qu et al
7 Jensen et al

داد که با افزایش میزان ماده آلی در خاک، پایداری خاکدانه نیز افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در این تحقیق نیز همخوانی دارد.

۵- بحث

بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده در این تحقیق نشان داد که بین دو نوع سولیفلکسیون موردمطالعه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بین سایت‌های دارای سولیفلکسیون زبانه‌ای و پله‌ای مشاهده شد به‌طوری‌که سولیفلکسیون‌های زبانه‌ای دارای بیشترین مقدار pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس بودند، درحالی‌که میزان کربنات کلسیم معادل، پایداری خاکدانه و کربن آلی خاک در سولیفلکسیون‌های پله‌ای بیشترین مقدار بود.

روند مشاهده شده در بافت خاک انواع سایت‌ها بیانگر این مطلب بود که بافت‌های قرائت شده در خاک‌های سولیفلکسیون زبانه‌ای سنگین‌تر و دارای رس بیشتر و شن کمتری در مقایسه با نوع پله‌ای بود. وجود رس بیشتر در نوع زبانه‌ای و نقش آن در جذب آب‌های ناشی از بارندگی مانعی در برابر وقوع پدیده گسیختگی است (امامی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین وجود رس می‌تواند عامل روان کننده و تشکیل‌دهنده سطوح و زبانه‌های لغزشی محسوب شود.

مطالعات (هجرت و همکاران[1]، ۲۰۱٤. بیلیچ[2]، ۲۰۰۸) حاکی از تأثیر بارز زاویه شیب بر الگوی خواص خاک در امتداد شیب بود؛ به‌طوری‌که مناطقی با شیب ملایم دارای pH بالاتر بوده است و بالعکس. با توجه به مطالب گفته شده و جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که میزان شیب در سایت‌های زبانه‌ای کمتر از سایت‌های پله‌ای است که در انطباق با روند تغییرات pH بوده است.

در رابطه با روند مشاهده شده رطوبت خاک بندیکت در سال ۱۹۷٦ گزارش کرد که عدم وجود رطوبت در شیب‌های تندتر به دلیل تخلیه سریع رطوبت است. ازآنجایی‌که رطوبت خاک حرکت را در لوب‌های سولیفلوکسیون کنترل می‌کند، تنوع فضایی آن بر توزیع حرکت تأثیر می‌گذارد. بنابراین دو سایت ۳ و ٤ که نوع زبانه‌ای بودند به دلیل شیب کمتر مقدار رطوبت اشباع بیشتری در مقایسه با نوع پله‌ای داشتند. همچنین تجزیه‌وتحلیل خاک محتوای بالای سیلت را در نوع پله‌ای نشان می‌دهد بنابراین نوع پله‌ای بسیار نفوذپذیر بوده و منجر به تخلیه سریع باران و کاهش رطوبت می‌شود.

روند کربن آلی سایت‌های موردمطالعه نیز مانند کربنات کلسیم معادل بوده و میزان این متغیر در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای به‌مراتب بیشتر از نوع زبانه‌ای بود، به‌طورکلی تغییرات میکروتوپوگرافی ایجاد شده توسط سولیفلکسیون

1 Hjort et al
2 Beylich

مکان‌های مناسبی بخصوص به‌صورت نقب زدن در اطراف رایزرها برای فعالیت جوندگان ایجاد می‌کنند (پرایس[1]، ۱۹۷۱؛ لی روکس و همکاران[2]، ۲۰۱۱). بالطبع به دلیل مواد مغذی ناشی از این جانداران و همچنین کود دامی در این مناطق پوشش گیاهی بیشتر است. همچنین الگوهای فضایی نرخ جابجایی و توزیع رسوب نیز تحت تأثیر جزایر پوشش گیاهی پایدار قرار می‌گیرد (هیوسمان و همکاران[3]، a۲۰۰۹). پوشش گیاهی خود دلیلی برای تغییرات ریز اقلیمی است که منجر به ناهمگونی فضایی در شدت یخبندان خاک و درنتیجه نرخ خزش می‌شود (هیوسمان و همکاران، b۲۰۰). همچنین نوع پله‌ای در جایی که سرعت حرکت در یک منطقه بزرگ یکنواخت است توسعه می‌یابد، درحالی‌که زبانه‌ای در جایی که حرکت کانالیزه می‌شود، توسعه می‌یابند (بندیکت[4]، ۱۹۷٦). بنابراین چون در نوع زبانه‌ای حرکت جریان مواد مرتب تجدید می‌شود اجازه رشد گیاهان درشت را نمی‌دهد و تنها یک لایه پوشش گیاهی مدفون در بیرونی‌ترین قسمت لوب وجود دارد که معمولاً گیاهان از نوع چمنی بوده ولذا کربن آلی در آن نسبت به نوع پله‌ای کمتر بوده است.

بررسی‌ها همچنین حاکی از این بود که در سولیفلکسیون‌های موردمطالعه، تأثیر میکرومورفولوژی‌ها بر خصوصیات اندازه‌گیری شده از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در مورد تأثیر میکروتوپوگرافی‌های مختلف هر سولیفلکسیون بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پریکوشکن و همکاران[5] سال ۲۰۱۰ گزارش داد که تمایز واضحی بین هتروژنتی‌های موجود در هر سولیفلکسیون وجود دارد: (۱) منطقه حذف (بخش بالایی شیب)، (۲) منطقه عبور (قسمت میانی شیب)، (۳) منطقه تجمع جزئی مواد و عناصر بیوژنیک وجود دارد. این در حالی بود که در این مطالعه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین این قسمت‌ها نبود و بنابراین در تضاد با مطالعه ذکر شده بوده است.

به‌طورکلی بحث در مورد تفاوت فاکتورهای اندازه‌گیری شده باید در ابتدا به تأثیر فرآیند تشکیل سولیفلکسیون‌ها بر خصوصیات خاک اشاره کرد و در ادامه به ارتباط و تأثیر هر یک از خصوصیات اندازه‌گیری شده پرداخت.

٦- جمع‌بندی

در این مطالعه نتایج حاکی از تأثیرگذاری نوع سولیفلکسیون بر خصوصیات خاک بود. مطالعه تفاوت خصوصیات اندازه‌گیری شده نشان از اهمیت مواد مادری و عوامل مختلف تأثیرگذار به‌عنوان عوامل زمینه‌ساز یا ماشه‌ای بر تشکیل خاک‌ها در انواع سولیفلکسیون‌های تشکیل شده داشت. لازم به ذکر است سایت‌های انتخابی ما در سولیفلکسیون پله‌ای عمدتاً پادگانه‌های آبرفتی تجزیه شده از سنگ‌های آهکی مادری و نوع زبانه‌ای بر روی سنگ مادری ریزدانه

1 Price
2 le Roux et al
3 Haussmann et al
4 Benedict
5 Prokushkin et al

تشکیل شده‌اند. به‌طورکلی به نظر می‌رسد که در طی فرآیند تشکیل سولیفلکسیون عوارض و ویژگی‌های فیزیوگرافی مانند شیب و ارتفاع سهم به سزایی داشته و این امر باعث به وجود آمدن خصوصیات متفاوتی در خاک‌های موردمطالعه می‌شود. به‌عبارت‌دیگر تنوع خاکشناسی تابع شرایط ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این شرایط در مناطق مرطوب قطعاً متفاوت خواهد بود و تفوق و برتری با پوشش گیاهی متراکم خواهد بود. ازجمله فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر خصوصیات خاک می‌توان به بافت و میزان رطوبت به‌عنوان دو فاکتور مهم در ایجاد حرکات دامنه‌ای اشاره کرد این فاکتورها در ادامه بر روی سایر فاکتورهای خاک مؤثر بوده و باعث به وجود آمدن خصوصیات متنوع در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای و زبانه‌ای می‌شوند. از طرف دیگر بررسی اثر همزمان نوع سایت و نوع میکرومورفولوژی باعث شده که به دلیل تأثیر و تغییرات بیشتر در اثر نوع سایت یا همان سولیفلکسیون‌های مختلف؛ اثر نوع میکروموفولوژی از لحاظ آماری معنی‌دار نشود. به نظر می‌رسد که باید به فاکتورهایی مانند انتخاب نوع و مکان نمونه‌برداری از هر سولیفلکسیون و همچنین نوع مقایسه آماری دادها نیز دقت داشت؛ چراکه در این مطالعه علی‌رغم نمونه‌برداری از میکروموفولوژی‌های مختلف، نتایج اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. درنهایت نیز پیشنهاد می‌شود که مطالعه هر چه بیشتر خصوصیات خاک ازجمله خصوصیات زیستی به‌منظور تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت و کنترل فرآیند سولیفلکسیون به‌عنوان عامل اختلال طبیعی صورت گرفته و به نقش اکولوژیکی این فرم در حفظ تنوع زیستی توجه بیشتری شود. همچنین بررسی تأثیر فرآیندهای مختلف دخیل در تشکیل سولیفلکسیون‌ها (بررسی و مقایسه هر نوع سولیفلکسیون با یک نمونه به‌عنوان شاهد) بر خصوصیات خاک نیز از دیگر پیشنهادهایی است که می‌توان به آن اشاره کرد.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ ۱۳۷۹. *ژئومورفولوژی کاربردی: فرسایش آبی*. جلد اول. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.

امامی، سید نعیم؛ جلالیان، احمد؛ خسروی، عباس؛ ۱۳۹۵. نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. سال هفتم. شماره ۱۳. https://doi.org/ 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.192

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۹٤). فرسایش آبی و کنترل آن. دانشگاه تهران.

قهرودی، منیژه؛ عادلی، زهرا؛ صدوق، سید حسن؛ ۱٤۰۰. روابط بیوژئومورفولوژی بین پوشش گیاهی، خاک، و عناصرلندفرمی (مطالعه موردی حوضه حبله رود). *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره۵۳. شماره ۳. https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.324212.1007619

محمودی، فرج‌الله؛ ۱۳۷۹. *ژئومورفولوژی دینامیک*. انتشارات دانشگاه پیام نور.

Benedict JB.1976. Frost creep and gelifluction features: a review. Quaternary Research. 6(1):55-76. https://doi.org/10.1016/0033-5894(76)90040-5.

Beylich, A. A., 2008. Sediment fluxes and sediment budget in Latnjavagge and the potential of applying unified methods for integrating investigations on sediment fluxes and budgets in cold-environment catchments. Geology for Society. Geological Survey of Norway Special Publication, 11, 111-130. http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Special%20publication/SP11_10_Beylich.pdf

Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal. 54(5): 464-475. https:// doi.org/ 10.2134/ agronj1962. 00021962005400050028x.

Brockett BF, Prescott CE, Grayston SJ., 2012. Soil moisture is the major factor influencing microbialcommunity structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. Soil biology and biochemistry. 44(1): 9-20. https:// oi.org/ 10.1016/ j.soilbio. 2011.09.003

Cannone N, Guglielmin M., 2010. Relationships between periglacial features and vegetation development in Victoria Land, continental Antarctica. Antarctic Science. 22(6):703-13. https://doi.org/10.1017/S0954102010000751

Carter MR, Gregorich EG., 2007. Soil sampling and methods of analysis. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781420005271

Cullen CA, Al Suhili R, Aristizabal E. A., 2022. Landslide Numerical Factor Derived from CHIRPS for Shallow Rainfall Triggered Landslides in Colombia. Remote Sensing. 14(9): 22-39. https://doi.org/10.3390/rs14092239

Eichel J, Draebing D, Kattenborn T, Senn JA, Klingbeil L, Wieland M, Heinz E., 2020. Unmanned aerial vehicle-based mapping of turf-banked solifluction lobe movement and its relation to material, geomorphometric, thermal and vegetation properties. Permafrost and Periglacial Processes. 31(1):97-109. https://doi.org/10.1002/ppp.2036

Ekwue EI, Bartholomew J., 2011. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. Biosystems Engineering. 108(2): 95-103. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.002

Estefan G, Sommer R, Ryan J., 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region, 3: 65-119. https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/7512

French H.M., 1996. The Periglacial Environment, 2nd ed. Longman, Essex. 341 pp. https://doi.org/10.1017/S0016756897488258.

Haussmann N, Boelhouwers J, McGeoch M., 2009a. Fine scale variability in frost cycle dynamics surrounding cushions of the dominant vascular plant species (Azorella selago) on Marion Island. Geografiska Annaler. 91: 257–268. https://doi.org/ 10.1016/j.geomorph.2008.12.002.

Haussmann N, McGeoch M, Boelhouwers J., 2009b. Interactions between a cushion plant (Azorella selago) and surface sediment transport on sub-Antarctic Marion Island. Geomorphology. 107: 139–148. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.002

Haussmann NS. 2011. Biogeomorphology: Understanding different research approaches. Earth Surf. Process. Landforms. 36: 136–138. https://doi.org/10.1002/esp.2097

Heil K, Schmidhalter U., 2017. The Application of EM38: Determination of Soil Parameters, Selection of Soil Sampling Points and Use in Agriculture and Archaeology. Sensors 17: 25-40. https://doi.org/10.3390/s17112540

Hjort, J., Ujanen, J., Parviainen, M., Tolgensbakk, J., Etzelmüller, B., 2014. Transferability of geomorphological distribution models: evaluation using solifluction features in subarctic and

Arctic regions. Geomorphology 204, 165–176. https:// doi.org/ 10.1016/ j.geomorph. 2013.08.002

Jensen JL, Schjønning P, Christensen BT, Munkholm LJ., 2016. Suboptimal fertilisation compromises soil physical properties of a hard-setting sandy loam. Soil Research, 55(4): 332-340. https://doi.org/10.1071/SR16218.

Jensen JL, Schjønning P, Watts CW, Christensen BT, Peltre C, Munkholm LJ., 2019. Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. Geoderma, 337: 834-843. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.034

Kellerer-Pirklbauer A., 2018. Solifluction rates and environmental controls at local and regional scales in central Austria. Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography, vol. 72(1): 37-56. https://doi.org/10.1080/00291951.2017.1399164

Kemper WD, Rosenau RC., 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 425-442. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. https://doi.org/ 10.2136/sssabookser5.1.2ed

Lajili A, Cambouris AN, Chokmani K, Duchemin M, Perron I, Zebarth BJ, Biswas A, AdamchukVI., 2021. Analysis of Four Delineation Methods to Identify Potential Management Zones in a Commercial Potato Field in Eastern Canada. Agronomy. 11: 4-32. https://doi.org/10.3390/agronomy11030432

le Roux P, Boelhouwers J, Davis JD, Haussmann N, Jantze E, Meiklejohn I. 2011. Spatial association of rodent burrows with landforms in the Swedish subArctic mountains: implications for periglacial feature stability. Arctic, Antarctic and Alpine Research. 43: 223–228. https://doi.org/10.1657/1938-4246-43.2.223

Loeppert RH, Suarez DL., 1996. Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis. 3: 437-474. https:// digitalcommons.unl.edu/ cgi/ viewcontent.cgi? article=1509&context= usdaars facpub

Lundgren L., 1978. Studies of soil and vegetation development on fresh landslide scars in the Mgeta Valley, Western Uluguru Mountains, Tanzania. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, 60: 91–127. https:// www.jstor.org/ stable/ 520435? Type Access Workflow=login.

Masyagina OV, Evgrafova SY, Bugaenko TN, Kholodilova VV, Krivobokov LV, Korets MA, Wagner D., 2019. Permafrost landslides promote soil CO2 emission and hinder C accumulation. Science of the Total Environment, 657: 351-364. https:// doi.org/ 10.1016/ j.scitotenv. 2018.11. 468

Matsuoka N., 2001. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. Earth-Science Reviews, 55(1-2): 107-134. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00057-5

Novais W, Rodríguez-Mejías JC, Perret J, Soto C, Villalobos JE, Fuentes CL, Abdalla K., 2019. Calibration and validation of Veris MSP3 on two soils in Guanacaste, Costa Rica Agronomía Mesoamericana. 30(2): 535-551. https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33579

Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430. https:// acsess.onlinelibrary.wiley.com/ doi/book/ 10.2134/ agronmonogr9.2.2ed

Pansu M, Gautheyrou J., 2007. Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods. Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6_1

Price LW., 1971. Vegetation, microtopography, and depth of active layer on different exposures in subarctic Alpine tundra. Ecology. 52: 638–647. https://doi.org/ 10.2307/1934152.

Prokushkin SG, Bugaenko TN, Prokushkin AS, Shikunov VG., 2010. Succession driven Transformation of Plant and Soil Cover on Solifluction Sites in the Permafrost Zone of Central Evenkia. https://doi.org/ 10.1134/S1062359010010115.

Qu W, Han G, Wang J, Li J, Zhao M, He W, Wei S., 2021. Short-term effects of soil moisture on soil organic carbon decomposition in a coastal wetland of the Yellow River Delta. Hydrobiologia, 848(14):3259-3271. https://doi.org/10.1134/S1062359010010115.

Reddy VS, Singh JS. 1993. Changes in vegetation and soil during succession following landslide disturbance in the Central Himalaya. J. Environ. Manag. 39: 235–250. https:// doi.org/ 10.1006/jema.1993.1068

Ridefelt, H., Etzelmüller, B., & Boelhouwers, J., 2010. Spatial analysis of solifluction landforms and process rates in the Abisko Mountains, northern Sweden. Permafrost and periglacial processes, 21(3), 241-255. https://doi.org/10.1002/ppp.681

Rose JP, Malanson GP., 2012. Microtopographic heterogeneity constrains alpine plant diversity, Glacier National Park, MT. Plant Ecology. 213(6): 955-965. https:// www.jstor.org/ stable/ 23267480? typeAccessWorkflow=login

Van Eyndea E, Dondeynea S, Isabiryeb M, Deckersa J, Poesen J., 2017. Impact of landslides on soil characteristics: Implications for estimating their age, Catena 157. https:// doi.org/ 10.1016/ j.catena.2017.05.003

Verpaelst, M., Fortier, D., Kanevskiy, M., Paquette, M., & Shur, Y., 2017. Syngenetic dynamic of permafrost of a polar desert solifluction lobe, Ward Hunt Island, Nunavut. Arctic Science, 3(2), 301-319. https://doi.org/10.1139/as-2016-0018

Völkel J, Huber J, Leopold M., 2011. Significance of slope sediments layering on physical characteristics and interflow within the Critical Zone–Examples from the Colorado Front Range, USA. Applied Geochemistry, 26:143-145. https:// doi.org/ 10.1016/ j.apgeochem. 2011.03.052

Walker LR, Shiels AB., 2013. Physical Causes and Consequences. Landslide Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 4: 46–81. https:// digitalcommons.unl.edu/ icwdm_usdanwrc/ 1640/ ?utm_source=digitalcommons.unl.edu% 2Ficwdm_usdanwrc%2 F1640&utm medium= PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

Walkley A, Black IA., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science, 37(1): 29-38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Zarin DJ, Johnson AHA., 1995. Base saturation, nutrient cation, and organic matter increases during early pedogenesis on landslide scars in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Geoderma. 65: 317–330. https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00048-F

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.81-99 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.74166.1210 Open access

Identifying Karstic Areas Exposed to Hazards Caused by Pollution (Case Study: Ravansar Basin)

Davod Mokhtari[a*], Zahra Zanganehtabar[b], Sara Motaei[b]

[a] *Professor in Geomorphology, Tabriz University, Tabriz, Iran*
[b] *PhD Candidate in Geomorphology, Tehran University, Tabriz, Iran*

Received: 9 October 2022 ***Revised: 10 December 2022*** ***Accepted: 12 January 2023***

Abstract

In addition to their importance and role in providing water resources, karstic water resources also have a high potential for vulnerability, which is why these resources are always exposed to pollution. Given the importance of the issue, this study identifies vulnerable areas in Ravansar basin. The research data includes 1:50,000 topographic maps, 1:100,000 geological maps, a 10-meter-high digital model, and digital layers from various organizations like soil layer. After collecting the required data, using COP and EPIK methods, the areas vulnerable to contamination were identified and then the results were compared and evaluated. The results estimated by COP and EPIK methods showed that Ravansar basin has a high potential for vulnerability, so that based on the results of both methods, many parts of the region are vulnerable. Based on COP method, 27.8% of the area has a very high vulnerability potential, and based on EPIK method, 29.5% of the region has a high vulnerability potential. Moreover, in terms of spatial distribution of vulnerabilities, based on the results obtained from both methods, the northern regions have the highest vulnerability potential and the southern regions have the lowest vulnerability potential.

Keywords: Karst, Pollution, Ravansar, COP, EPIK

* .Corresponding author: Davod Mokhtari Email: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir Tel:+9809144156714

How to cite this Article: Zanganehtabar, Z., Mokhtari, D., & Mataee, S. (2023). Identifiying karstic areas exposed to hazards caused by pollution(Case study: Ravansar basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3),81-99
DOI: 10.22067/geoeh.2023.74166.1210

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.74166.1210

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۹۹-۸۱

مقاله پژوهشی

شناسایی مناطق کارستیک در معرض مخاطرات ناشی از آلودگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز روانسر)

داود مختاری[1]- استاد گروه آموزشی ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
زهرا زنگنه تبار- دانشجوی دکتری گروه آموزشی ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
سارا مطاعی- دانشجوی دکتری گروه آموزشی ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز،ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

منابع آب کارستیک، در کنار اهمیت و نقش بسزایی که در تأمین منابع آبی دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز دارند که همین امر سبب شده است تا این منابع همیشه در معرض آلودگی باشند. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه آبریز روانسر پرداخته شده است. داده‌های تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر و لایه‌های رقومی مربوط به سازمان‌های مختلف مانند لایه خاک است. روش کار به این صورت است که پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز، با استفاده از ۲ روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی شناسایی شده و سپس نتایج حاصله مقایسه و ارزیابی شده است. بررسی نتایج به دست آمده از طریق دو روش COP و EPIK بیانگر این است که حوضه روانسر پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد، به‌طوری‌که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش‌های زیادی از منطقه در معرض آسیب‌پذیری قرار دارد. در روش COP ۲۷/۸ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیادی است و در

۱ نویسنده مسئول : ۰۹۱۴۴۱۵۶۷۱۴ Email: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

زنگنه تبار, زهرا, مختاری, داود, مطاعی, سارا. (۱۴۰۲). شناسایی مناطق کارستیک در معرض مخاطرات ناشی از آلودگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز روانسر). جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۲(۳),صص ۹۹-۸۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.74166.1210

روش EPIK نیز ۲۹/۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی است. همچنین از نظر توزیع مکانی آسیب‌پذیری نیز بر اساس نتایج به دست آمده از هر دو روش، مناطق شمالی دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری و مناطق جنوبی دارای کم‌ترین پتانسیل آسیب‌پذیری است.

کلمات کلیدی: کارست، آلودگی، روانسر، COP، EPIK

۱-مقدمه

مدیریت آب‌های زیرزمینی، مسئله‌ای حیاتی برای نسل‌های کنونی و آینده بوده و منابع آب زیرزمینی به مدیریت کمّی و کیفی این منابع نیازمند است (گوندوی[1] و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از مناطقی که پتانسیل بالایی از نظر آب‌های زمینی دارد، مناطق کارستیک است. تقریباً ۲۵ درصد از جمعیت جهان به‌ویژه در آسیا، مدیترانه و ایالات‌متحده آب موردنیاز خود را از آبخوان‌های کارستی تأمین می‌کنند. با توجه به اینکه بسیاری از مناطق و شهرها به منابع آب کارست وابسته هستند (فورد و ویلیامز[2]، ۲۰۰۷)، وجود منابع کارستیک بسیار حائز اهمیت خواهد بود، در ایران نیز حدود ۱۱ درصد از وسعت کشور را مناطق کارستیک تشکیل داده است (افراسیابان، ۱۳۷۷) که نقش مهمی در تأمین منابع آبی کشور دارند. منابع آب کارستیک، در کنار اهمیت و نقش بسزایی که در تأمین منابع آبی دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز دارند که همین امر سبب شده است تا این منابع همیشه در معرض آلودگی باشند (مودرا و آندرو[3]، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، نیازمند است تا به‌طوری ویژه‌ای موردتوجه قرار گیرند. درواقع، حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست است (افراسیابیان[4]، ۲۰۰۷: ٦٧٣؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه آبریز روانسر پرداخته شده است و با استفاده از دو روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر آن شناسایی شده است.

در مورد موضوع موردمطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به کاتا[5] و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی در غرب سوریه با استفاده از روش ریسک پرداختند. مارین[6] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دو روش COP و Paprika به شناسایی مناطق کارستیک آسیب‌پذیر در اسپانیا و فرانسه پرداخته‌اند. بالوشا[7] (۲۰۱٦) به شناسایی آبخوان‌های آسیب‌پذیر قطر با

1 Gondwe
2 Ford & Williams
3 Mudarra & Andreo
4 Afrasiabian
5 Kattaa
6 Marín
7 Baalousha

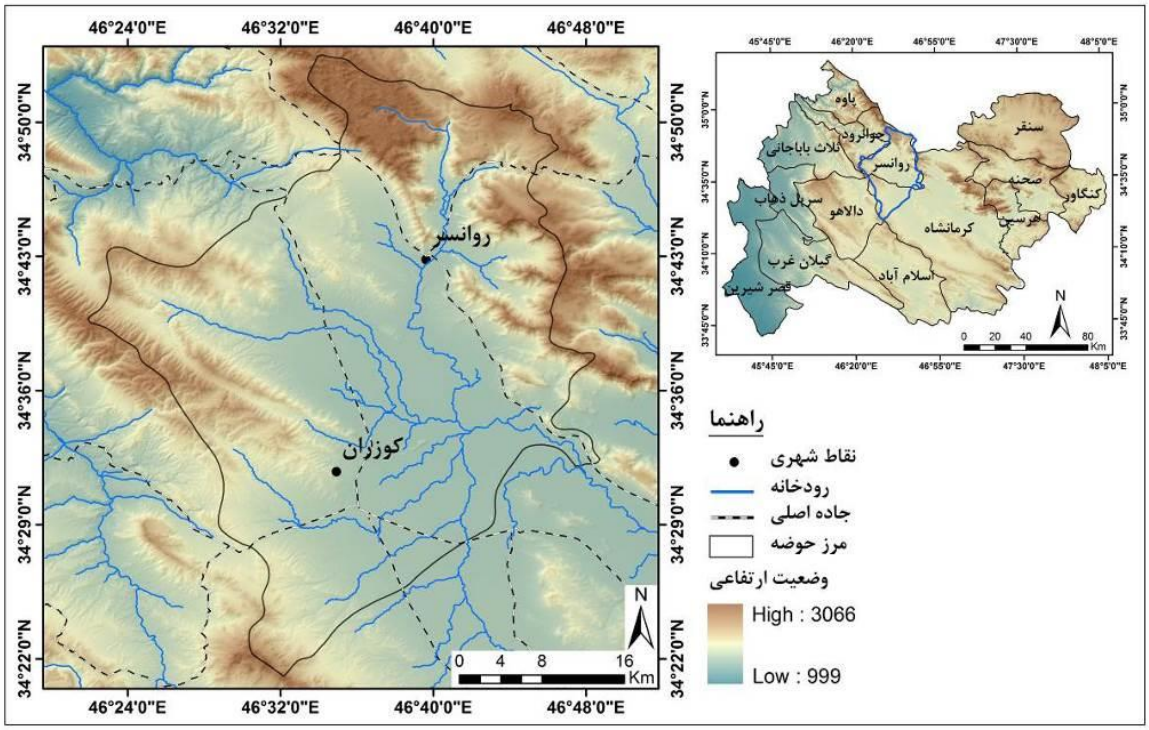
استفاده از دو روش EPIK و DRASTIC پرداخته‌اند. پریرا[1] و همکاران (۲۰۱۹) به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه سائومیگوئل[2] با استفاده از روش EPIK پرداختند. در ایران نیز، عباسی و محمدی (۱۳۹۲) به ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از مدل ریسک پرداختند. دسترنج و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو پرداختند. رنگزن و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسبی، جنوب شرق ایذه، با استفاده از روش COP پرداختند. احمدی‌فر و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از دو مدل SINTACS و DRASTIC به پهنه‌بندی ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت سراب پرداختند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی کارایی روش COP جهت بررسی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر لرستان پرداختند.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه موردمطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل حوضه آبریز روانسر است که از نظر تقسیمات حوضه‌ای، از زیرحوضه‌های قره‌سو محسوب می‌شود. این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی در شمال استان کرمانشاه و در محدوده شهرستان‌های روانسر و کرمانشاه قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژی مناطق شمالی و غربی حوضه را واحد کوهستان و مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی حوضه را واحد دشت در برگرفته است. از نظر اقلیمی نیز با توجه به اینکه در مسیر بادهای غربی قرار دارد، این منطقه دارای آب‌وهوای نیمه مرطوب است. همچنین این منطقه به دلیل قرار گرفتن در واحد زاگرس شمال غرب و کارستیک بودن منطقه، دارای پتانسیل زیادی از نظر آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

1 Pereira
2 São Miguel



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه موردمطالعه

۲-۲-روش تحقیق

این تحقیق بر مبنای روش‌های توصیفی-تحلیلی و نرم‌افزاری است. داده‌های تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر و لایه‌های رقومی مربوط به سازمان‌های مختلف مانند لایه خاک است. پس از جمع‌آوری داده‌ها از نرم‌افزار ARCGIS به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده شده است. در این تحقیق روش کلی کار به این صورت است که پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز، با استفاده از ۲ روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی شناسایی شده است. در ادامه به تشریح روش‌های مورد استفاده پرداخته شده است:

-**روش COP**: یکی از روش‌های مورد استفاده جهت ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر، روش COP است. این روش به‌طور عمده دو جنبه یعنی زمان جابجایی آلودگی از منشأ به مقصد و کاهش غلظت آن در طول مسیر را موردبررسی قرار می‌دهد (فیضی و خانمحمدی، ۱۳۹۷: ٦). روش COP در چندین آبخوان با ویژگی‌های مختلف آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی آزمایش و توسعه داده شده است. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس آن می‌توان نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی جهت مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی تهیه نمود (سیف و همکاران، ۱۳۹۳: ٦٨). روش COP به خصوصیات حوضه کارستی توجه

دارد. لایه‌های موردنیاز با توجه به الگوی روش COP ایجاد می‌شوند. در این روش تمرکز جریان آب زیرزمینی (C)، خصوصیات لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O) و بارش بر روی آبخوان (عامل P) را به‌عنوان فراسنج‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌دهد (آندرو و همکاران، ۲۰۰٦: ۵۸). در عامل C، ریخت‌شناسی کارست، شیب و پوشش گیاهی موردتوجه است. عامل O نشان‌دهنده ظرفیت خاک پوشاننده آبخوان (بافت و ضخامت) و سنگ‌شناسی ناحیه غیراشباع (شکستگی، ضخامت هر لایه و شرایط محدوده) است. همچنین عامل P، متغیرهای مکانی و زمانی بارش را موردتوجه قرار می‌دهد که در انتقال آلودگی بخصوص در آبخوان‌های بزرگ نقش ایفا می‌کند (دالی و همکاران، ۲۰۰۲: ۳٤٦). روش COP درنهایت با ضرب عامل‌های مورد استفاده به دست می‌آید (رابطه ۱):

رابطه ۱: $$\text{COP index}=C\times O\times P$$

–روش EPIK: یکی دیگر از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق کارستیک، روش EPIK است. روش ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی EPIK توسط دوئر فلیگر در سال ۱۹۹۷ با هدف ارزیابی و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری منابع آب کارست با به‌کارگیری چهار فاکتور اپی‌کارست (E)، پوشش حفاظتی (P)، شرایط نفوذ (I) و درجه توسعه شبکه کارست (K) ارائه شده است. روش آسیب‌پذیری EPIK بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی در آبخوان‌های کارستی ایجاد شده و به‌طور عمده ٤ ویژگی را مورد بررسی قرار می‌دهد. اپی کارست (E) بر اساس مرفولوژی کارستی مشاهده شده در لایه‌های سطحی کارست، لایه پوشش محافظ (P) بر اساس وجود یا عدم وجود پوشش خاک و ضخامت آن و نیز تراوایی واحدهای زیر پوشش خاک، لایه نفوذ (I) بر اساس وضعیت تغذیه متمرکز یا افشان (پراکنده) و لایه شبکه کارستی (K) نیز بر اساس خصوصیات مجاری تعیین می‌شود. در رابطه ۲، نحوه محاسبه شاخص EPIK نشان داده شده است. مقدار نهایی این شاخص بین ۹ تا ۳٤ است و به ٤ کلاس آسیب‌پذیری زیاد (کم‌تر از ۱۹)، آسیب‌پذیری متوسط (۲۰ تا ۲۵)، آسیب‌پذیری کم (بیش از ۲۵) و آسیب‌پذیری خیلی‌کم (درصورتی‌که فاکتور P از نوع ٤ باشد) تقسیم می‌شود (کاردان مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۳).

رابطه ۲ $$\text{EPIK-Index}: E(3)+P(1)+I(3)+K(2)$$

۳-نتایج و بحث

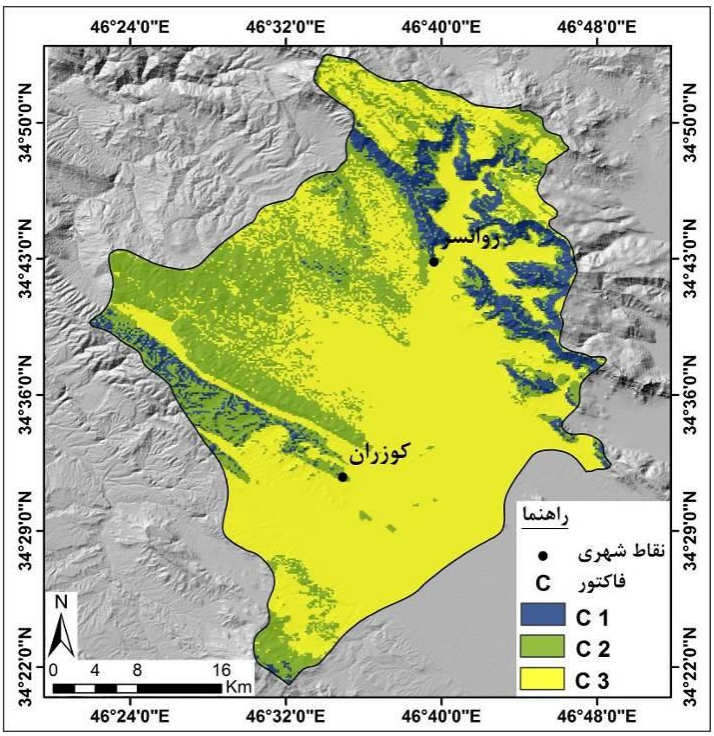
۳-۱-روش COP

روش COP از ۳ فاکتور C، O و P جهت بررسی آسیب‌پذیری منطقه استفاده می‌کند؛ که در ادامه به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

-فاکتور تمرکز جریان (C): فاکتور C نمایانگر مقداری از بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز شده و از زون غیراشباع میانبر می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳٤). تهیه نقشه این فاکتور بر مبنای دو نقشه عوارض سطحی (sf) و شیب-پوشش‌گیاهی (sv) است. به‌منظور تهیه نقشه sf، منطقه موردمطالعه بر مبنای عوامل مؤثر در توسعه کارست (عوامل ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی) به ٤ طبقه کارست توسعه‌یافته، کم‌تر توسعه‌یافته، متوسط و بدون توسعه تقسیم شده است. همچنین به‌منظور تهیه نقش sv، نقشه شیب و پوشش‌گیاهی منطقه تهیه و کلاسه‌بندی شده است و با ترکیب آن‌ها نقشه sv تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های sf و sv، بر مبنای امتیازات موردنظر در این روش (جدول ۱)، این نقشه‌ها در هم ضرب شده و درنهایت نقشه فاکتور C تهیه شده است (شکل ۲).

جدول ۱- محاسبات مربوط به فاکتور C

sv			sf	
شیب	پوشش‌گیاهی	وزن	توسعه کارست	وزن
کم‌تر از ۸ درصد	-	۰/۷۵	توسعه‌یافته	۰/۲۵
۸ تا ۳۱ درصد	زیاد	۰/۸	کم‌تر توسعه‌یافته	۰/۵
	کم	۰/۸۵		
۳۱ تا ۷٦ درصد	زیاد	۰/۹	متوسط	۰/۷۵
	کم	۰/۹۵		
بیش از ۷٦ درصد	-	۱	بدون توسعه	۱

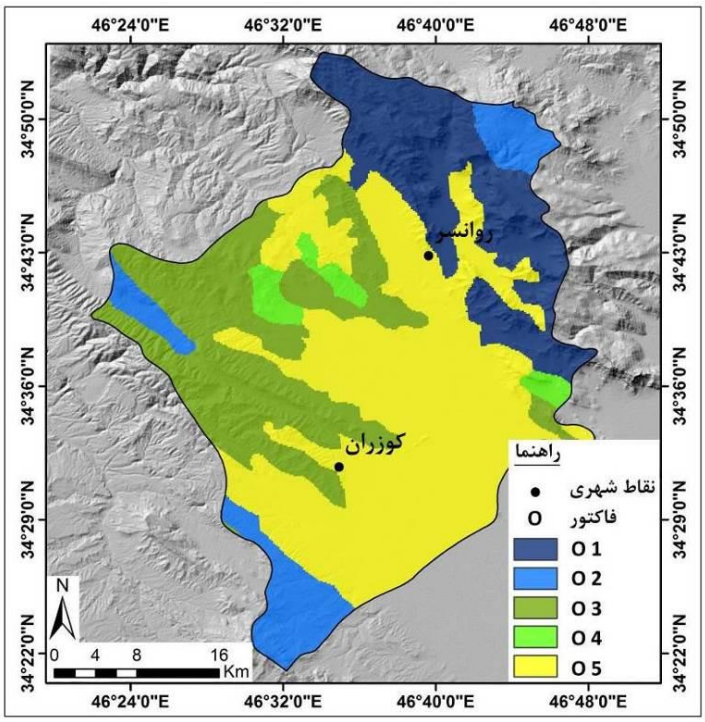


شکل ۲- نقشه فاکتور C

-**فاکتور پوشش (O)**: فاکتور O بر اساس ضخامت، تخلخل، خواص نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۷). به‌منظور تهیه نقشه فاکتور O، دو نقشه شامل خاک و لیتولوژی منطقه تهیه شده است. در امتیازدهی لایه خاک و لیتولوژی، به خاک‌ها و سنگ‌هایی که ریزدانه هستند به دلیل پتانسیل کم نفوذپذیری که دارند، ارزش بیش‌تری داده شده است. پس از تهیه و وزن‌دهی به این لایه‌ها (جدول ۲)، این دو لایه با هم جمع شده و نقشه فاکتور O تهیه شده است (شکل ۳).

جدول ۲- محاسبات مربوط به فاکتور O

مجموع امتیاز	میزان آسیب‌پذیری
۱	خیلی‌کم
۲	کم
۲ تا ٤	متوسط
٤ تا ۸	زیاد
۸ تا ۱۵	خیلی‌زیاد

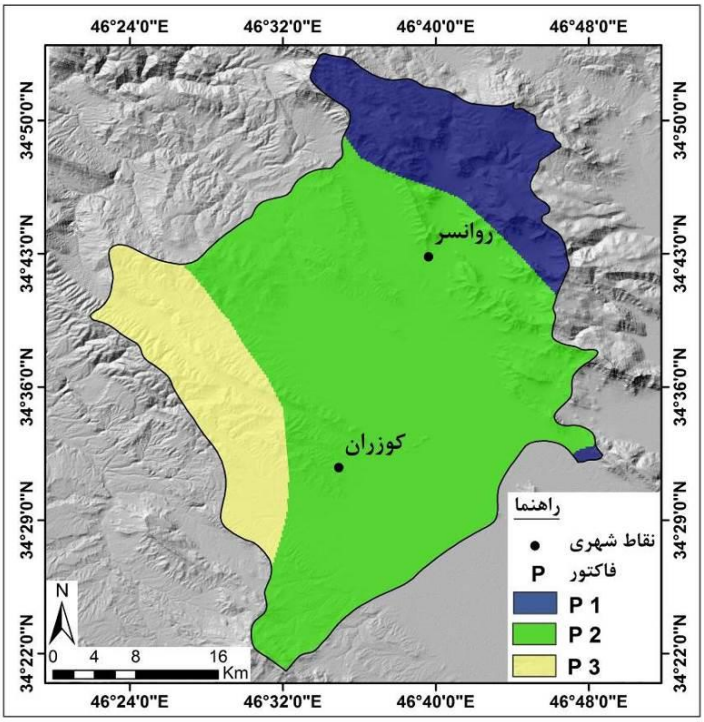


شکل ۳- نقشه فاکتور O

-**فاکتور بارش P**: شـامل مقدار بارش و عامل‌هایی که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند توزیع زمانی، مدت و شـدت بارش‌های سـیل‌آسـا اسـت. این عامل‌ها به میزان توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سـطح به آب زیرزمینی کمک می‌کند. این فاکتور به‌وسیله دو زیرفاکتور مقدار بارش (PQ) و توزیع زمانی بارش (PI) به دست می‌آید (جدول ۳) (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۸). پس از تهیه این نقشه‌ها، نقشه‌ها با جمع شده و درنهایت نقشه فاکتور P تهیه شده است (شکل ٤).

جدول ۳- محاسبات مربوط به فاکتور P

بارش سالانه (میلی‌متر)	امتیاز	بارش سالانه (میلی‌متر)/تعداد روزهای بارانی	امتیاز
بیش از ۱٦۰۰	۰/٤	کم‌تر از ۱۰	۰/٦
۱۲۰۰ تا ۱٦۰۰	۰/۳	۱۰ تا ۲۰	۰/٤
۸۰۰ تا ۱۲۰۰	۰/۲	بیش از ۲۰	۰/۲
٤۰۰ تا ۸۰۰	۰/۳	–	–
کم‌تر از ٤۰۰	۰/٤	–	–

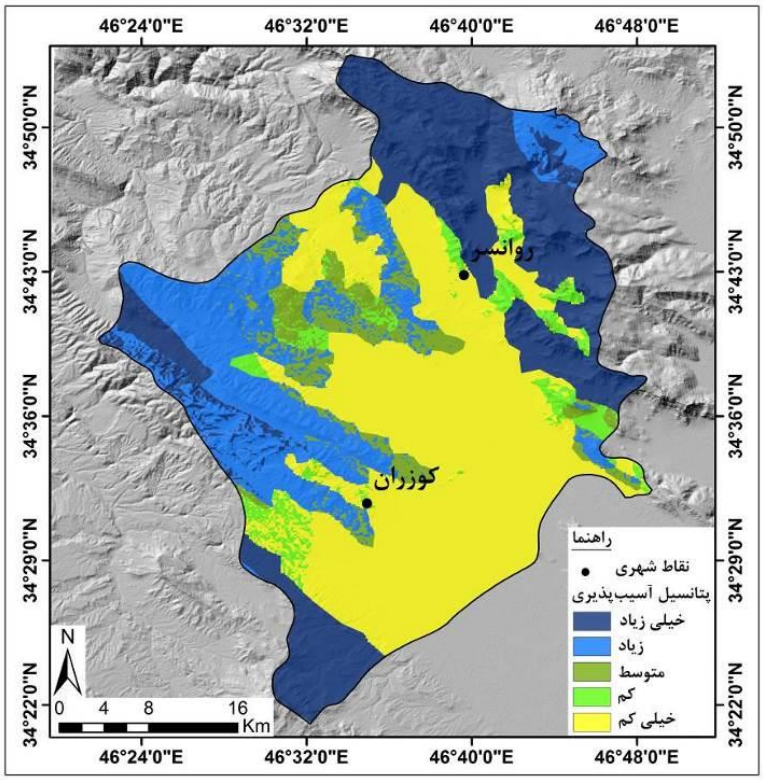


شکل ٤- نقشه فاکتور P

پس از تهیه نقشه فاکتورهای مد نظر، نقشه‌های مذکور با هم جمع شده و درنهایت نقشه مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش COP تهیه شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، مجموع امتیازات به دست آمده برای منطقه، بین ۰/۳۹ تا ۷/۷ است که بر اساس روش COP (جدول ٤)، منطقه از نظر میزان آسیب‌پذیری به ۵ طبقه تقسیم شده است (شکل ۵) که بر اساس نتایج به دست آمده، مناطق شمال محدوده دارای بالاترین میزان آسیب‌پذیری هستند.

جدول ٤- طبقه‌بندی منطقه بر اساس امتیازات نهایی

ردیف	امتیاز	میزان آسیب‌پذیری
۱	۰ – ۰/۵	خیلی زیاد
۲	۰/۵ – ۱	زیاد
۳	۱ – ۲	متوسط
٤	۲ – ٤	کم
۵	٤ – ۱۵	خیلی کم



شکل ۵- نقشه میزان آسیب‌پذیری منطقه بر اساس روش COP

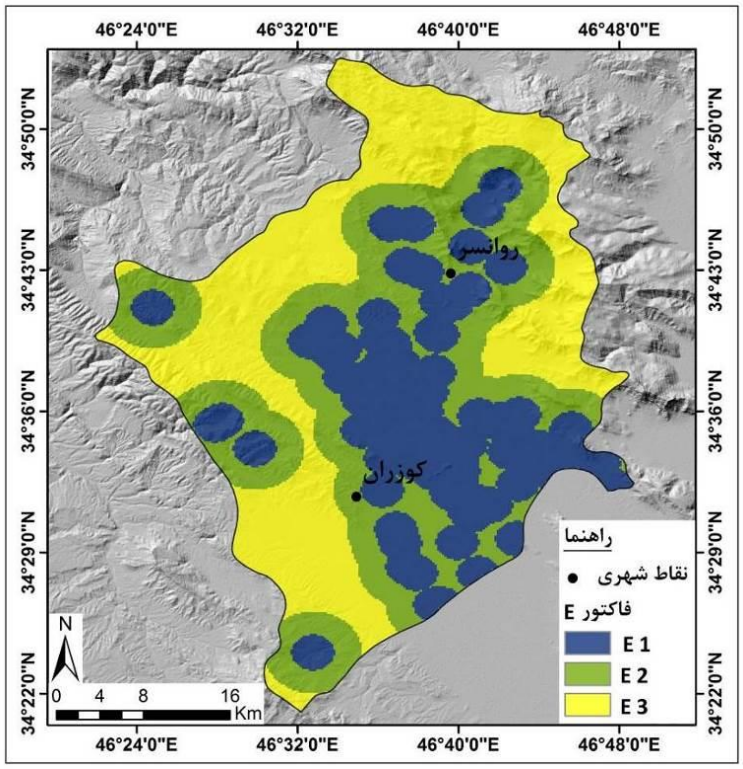
۳-۲-روش EPIK

روش EPIK از ٤ فاکتور E، P، I و K جهت بررسی آسیب‌پذیری منطقه استفاده می‌کند؛ که در ادامه به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

-**فاکتور E**: بر اساس این فاکتور، مناطق نزدیک به فروچاله‌ها و رشته‌های کارنی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی هستند (جدول ۵). در این تحقیق به‌منظور تهیه نقشه فروچاله‌های منطقه، از دم ۱۰ متر و بازدیدهای میدانی استفاده شده است و درنهایت فاکتور E تهیه شده است (شکل ٦).

جدول ۵- محاسبات مربوط به فاکتور E

مورفولوژی کارست	امتیاز
فروچاله‌ها و رشته‌های کارنی	۱
محدوده بین فروچاله‌ها و دره‌های خشک	۳
سایر محدوده‌ها	٤

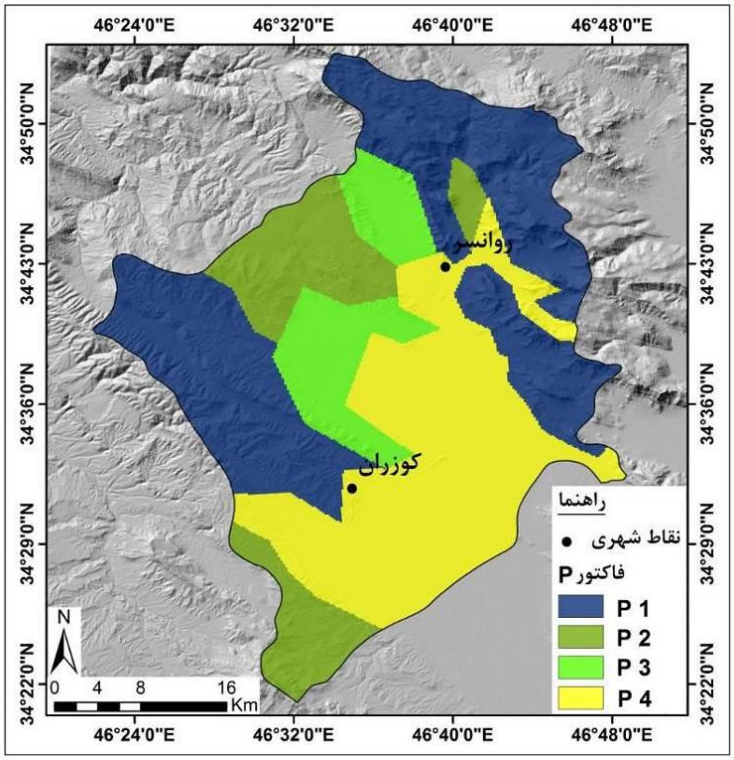


شکل ٦- نقشه فاکتور E

-**فاکتور P**: در فاکتور P وجود یا عدم وجود پوشش خاک و ضخامت آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بر اساس این فاکتور، مناطقی که دارای ضخامت خاک کم‌تری هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالاتری دارند. درواقع، وجود لایه خاک ضخیم مانع از نفوذ آلاینده به داخل آبخوان می‌شود، بر این اساس مناطقی که دارای ضخامت بیش‌تری هستند کم‌تر در معرض آلودگی هستند (جدول ٦). با توجه به موارد مذکور، نقشه فاکتور P تهیه شده است (شکل ۷).

جدول ٦- محاسبات مربوط به فاکتور P

ضخامت خاک	امتیاز
صفر تا ۲۰ سانتی‌متر خاک بر روی سازند با ضخامت کم‌تر از یک متر	۱
۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاک و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم	۲
خاک بیش‌تر از ۱ متر و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم	۳
خاک بیش‌تر از ۲ متر با هدایت هیدرولیکی بسیار کم	٤

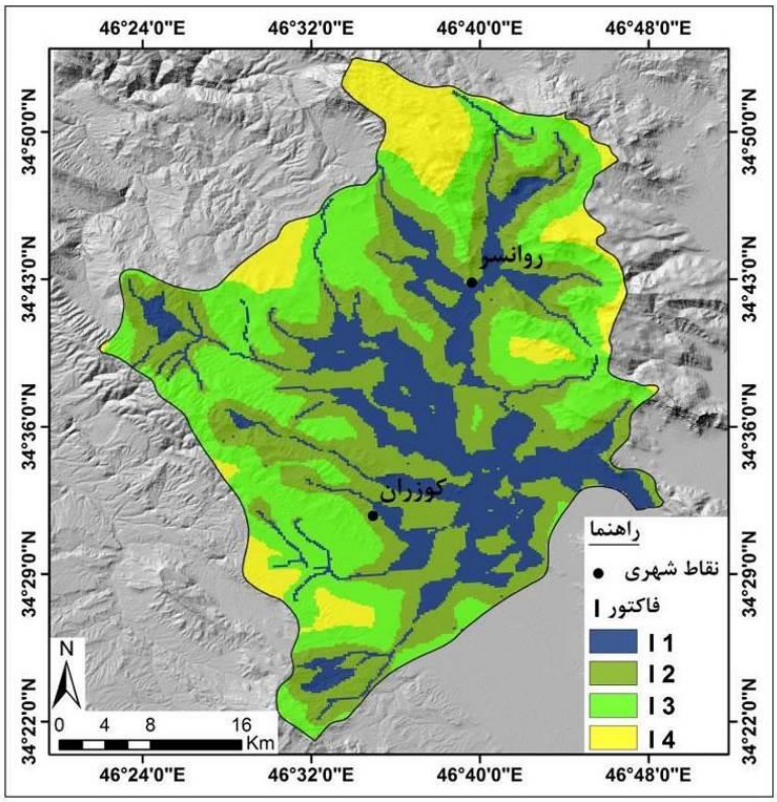


شکل ۷- نقشه فاکتور P

-**فاکتور I**: فاکتور I وضـــعیت نفوذپذیری منطقه را ارزیابی می‌کند. بر اســـاس این فاکتور مناطق نزدیک به فروچاله‌ها، درز و شـکاف‌ها و همچنین شـبکه زهکشـی، دارای بالاترین پتانسـیل آسـیب‌پذیری هسـتند (جدول ۷). با توجه به مواردی که در این فاکتور مد نظر است، نقشه فاکتور I تهیه شده که در شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷- محاسبات مربوط به فاکتور I

امتیاز	وضعیت نفوذ
۱	فروچاله‌های موقت و دائمی و مناطق نزدیک به شبکه زهکشی
۲	مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها بیش‌تر از ۱۰ درصد و برای چمن‌زارها و مراتع بیش-تر از ۲۵ درصد است.
۳	مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها کم‌تر از ۱۰ درصد و برای چمن‌زارها و مراتع کم‌تر از ۲۵ درصد است.
٤	بقیه حوضه

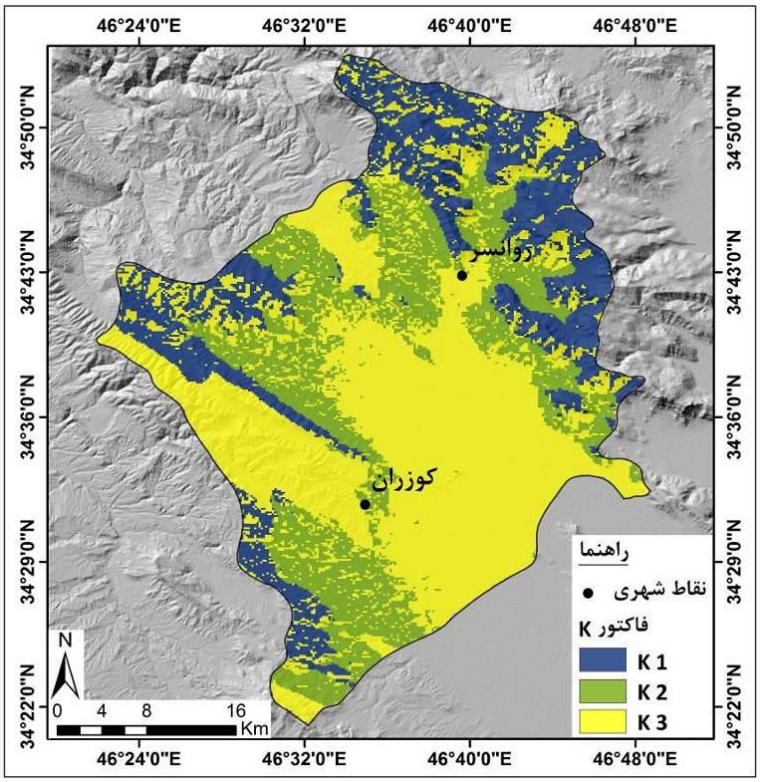


شکل ۸- نقشه فاکتور I

-**فاکتور K**: فاکتور K بر مبنای میزان توسعه‌یافتگی منطقه است (جدول ۸). در این تحقیق به‌منظور تهیه نقشه مناطق توسعه‌یافته از عوامل مؤثر در توسعه کارست (عوامل ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی) استفاده شده و نقشه فاکتور K در ۳ کلاس تهیه شده است (شکل ۹).

جدول ۸- محاسبات مربوط به فاکتور K

میزان توسعه کارست	امتیاز
کارست توسعه‌یافته	۱
کارست کم‌تر توسعه‌یافته	۲
کارست توسعه‌نیافته	۳

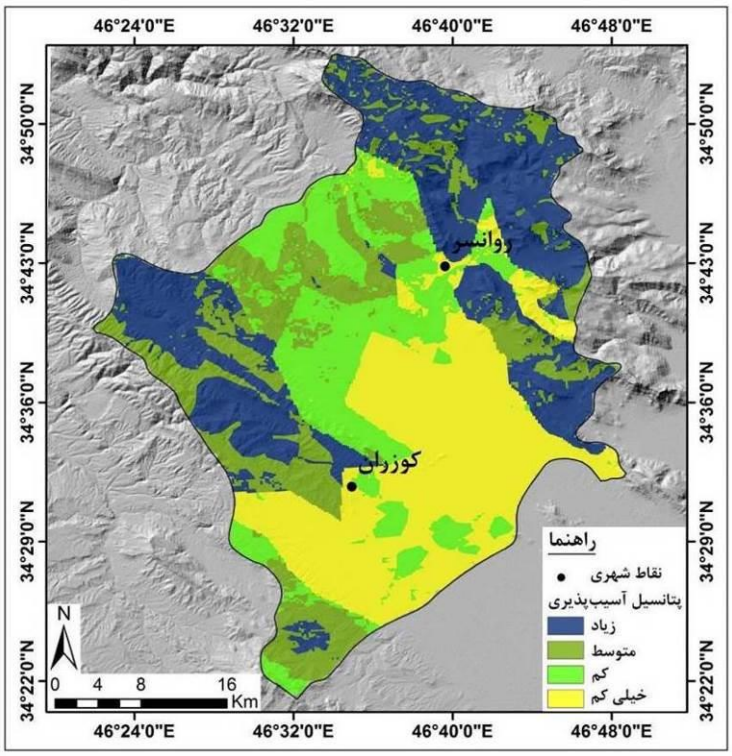


شکل ۹- نقشه فاکتور K

پس از تهیه نقشه فاکتورهای موردنظر، ضرایب هر فاکتور (E ضریب ۳، P ضریب ۱، I ضریب ۳ و K ضریب ۲) بر روی آن اعمال و سپس نقشه‌ها با هم جمع شده و درنهایت نقشه مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش EPIK تهیه شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، امتیاز منطقه از نظر پتانسیل آسیب‌پذیری بین ۹ تا ۳۲ بوده که بر اساس مدل EPIK (جدول ۹) منطقه به ٤ کلاس تقسیم شده است (شکل ۱۰). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق شمالی محدوده پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.

جدول ۹- طبقه‌بندی منطقه بر اساس امتیازات نهایی

ردیف	امتیاز	میزان آسیب‌پذیری
۱	کم‌تر از ۱۹	خیلی زیاد
۲	۲۰ تا ۲۵	زیاد
۳	بیش از ۲۵	متوسط
٤	درصورتی‌که از نظر فاکتور P دارای امتیاز ٤ باشد	کم



شکل ۱۰- نقشه مناطق آسیب‌پذیری با استفاده روش EPIK

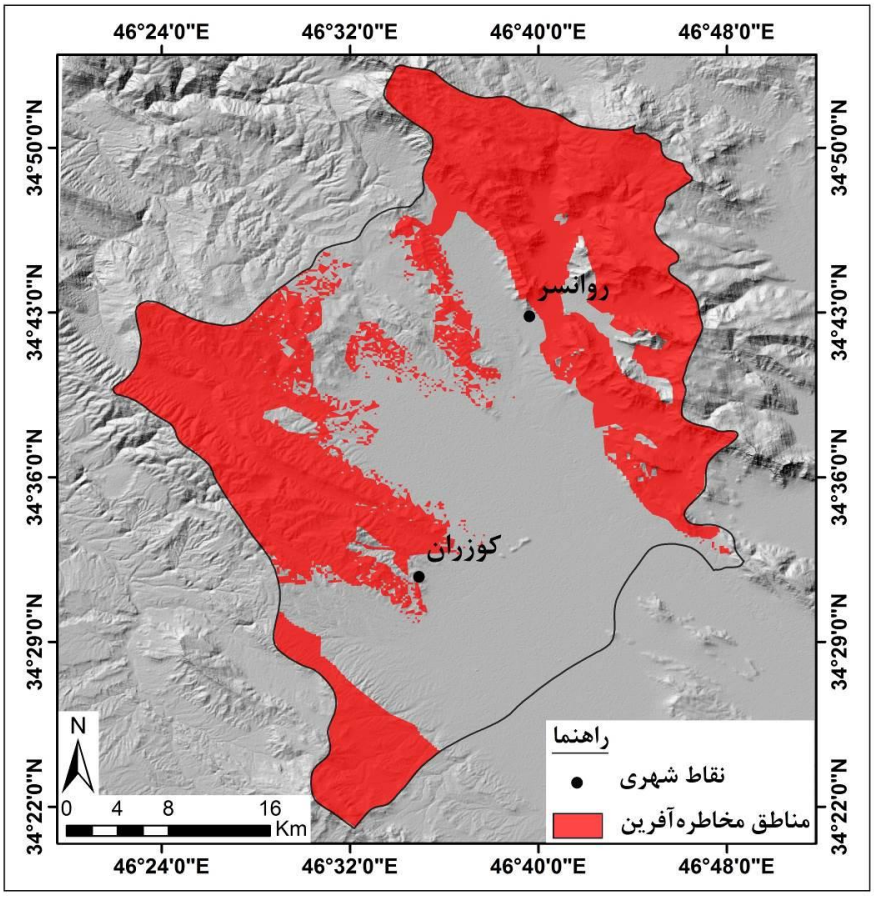
۳-۳-تحلیل نتایج

بررسی نتایج به دست آمده از طریق دو روش COP و EPIK بیانگر این است که حوضه روانسر از نظر مخاطرات ناشی از آلودگی، پتانسیل بالایی دارد، به‌طوری‌که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش‌های زیادی از منطقه در معرض این مخاطره قرار دارد. در روش COP ۲۷/۸ درصد از منطقه از نظر مخاطرات ناشی از آلودگی، دارای پتانسیل خیلی زیادی است و در روش EPIK نیز ۲۹/۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی است (جدول ۱۰). همچنین از نظر توزیع مکانی احتمال وقوع مخاطره نیز بر اساس نتایج به دست آمده از هر دو روش، مناطق شمالی دارای بالاترین پتانسیل و مناطق جنوبی دارای کم‌ترین پتانسیل وقوع مخاطره هستند (شکل ۱۱).

جدول ۱۰- مساحت و درصد طبقات آسیب‌پذیر بر اساس روش‌های COP و EPIK

روش COP			روش EPIK		
میزان آسیب‌پذیری	مساحت (km2)	درصد مساحت	میزان آسیب‌پذیری	مساحت (km2)	درصد مساحت
خیلی زیاد	۳٤٦	۲۷/۸	زیاد	۳٦۷	۲۹/۵
زیاد	۲٤۱	۱۹/٤			

روش COP			روش EPIK		
میزان آسیب‌پذیری	مساحت (km2)	درصد مساحت	میزان آسیب‌پذیری	مساحت (km2)	درصد مساحت
متوسط	۹۰	۷/۲	متوسط	۲۷۰	۲۱/۷
کم	۵۹	٤/۷	کم	۲٤۱	۱۹/٤
خیلی کم	۵۰۹	٤۰/۹	خیلی کم	۳٦۷	۲۹/۵



شکل ۱۱- نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع مخاطرات ناشی از آلودگی در محدوده مطالعاتی

٤-نتیجه‌گیری

آلودگی منابع آبی یکی از مهم‌ترین مخاطرات مناطق کارستیک است. بر این اساس، بررسی و مطالعه در این منطقه، خصوصاً ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری آن‌ها و شناسایی مناطق در معرض مخاطره، بسیار حائز اهمیت است. اهمیت موضوع سبب شده است تا در این مورد تحقیقات مختلفی صورت گیرد. بررسی تحقیقات پیشین بیانگر این

است که در بیش‌تر تحقیقات انجام شده، تنها با استفاده از یک روش، مناطق کارستیک آسیب‌پذیر شناسایی شده است؛ اما در این تحقیق به‌منظور افزایش دقت کار و مقایسه نتایج، از دو روش COP و EPIK جهت شناسایی مناطق آسیب‌پذیر استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حوضه آبریز روانسر، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. به‌طوری‌که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش‌های زیادی از این حوضه، در محدوده با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. بر اساس نتایج روش COP، طبقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد و زیاد به ترتیب با ۳٤٦ و ۲٤۱ کیلومترمربع وسعت (معادل ۲۷/۸ و ۱۹/٤ درصد از مساحت حوضه) بخش‌های زیادی از مناطق شمال و شمال شرقی حوضه را در برگرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط با ۹۰ کیلومترمربع وسعت (معادل ۷/۲ درصد از محدوده حوضه) بخش‌هایی از مرکز و شمال حوضه را در برگرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و خیلی‌کم به ترتیب با ۵۹ و ۵۰۹ کیلومترمربع وسعت (معادل ٤/۷ و ٤۰/۹ درصد از مساحت حوضه) بخش‌های زیادی از مناطق مرکزی و جنوبی حوضه را در برگرفته است. همچنین بر اساس نتایج روش EPIK، طبقه با پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد با ۳٦۷ کیلومترمربع وسعت (معادل ۲۹/۵ درصد از مساحت حوضه) مناطق شمالی حوضه را در برگرفته است. طبقه با پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط با ۲۷۰ کیلومترمربع وسعت (معادل ۲۱/۷ درصد از مساحت حوضه) بخش‌هایی از غرب و شمال حوضه را در برگرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و خیلی‌کم به ترتیب با ۲٤۱ و ۳٦۷ کیلومترمربع وسعت (معادل ۱۹/٤ و ۲۹/۵ درصد از مساحت حوضه) بخش‌های زیادی از مناطق مرکزی و جنوبی حوضه را در برگرفته است. مجموعه نتایج حاصله از دو روش بیانگر این است که مناطق شمالی حوضه آبریز روانسر دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است، بنابراین این منطقه باید بیش‌تر موردتوجه قرار گیرد و از توسعه صنایع آلوده‌کننده به سمت این مناطق جلوگیری شود.

کتابنامه

احمدی‌فر، رقیه؛ موسوی، سیدمرتضی؛ رحیم‌زادگان، مجید؛ ۱۳۹٦. پهنه‌بندی ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: دشت سراب). *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*. سال ۲٤. شماره ۳. صص ۱-۲۰.

https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11929.2645

افراسیابیان، احمد؛ ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران. *مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی*. (تهران-کرمانشاه). صص۱۲٦-۱۳۷.

http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18837088

خوش‌اخلاق، فرامز؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ صفرراد، طاهر؛ ۱۳۹۳. واکاوی تأثیرگذاری خشک‌سالی‌های شدید بر آب دهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه (مطالعه موردی: خشکسالی شدید سال ۸۷-۱۳۸٦). *مجله فضای جغرافیایی*. دوره ۱٤. شماره ٤۸. صص ۱۹-۱.

http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1525-fa.html

دسترنج، علی؛ نوحه‌گر، احمد؛ ملیکان، آرش؛ غلامی، حمید؛ جعفری‌اقدم، مریم؛ ۱۳۹۶. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو. *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. سال ۸، شماره ۲. صص ۱۵-۱.

https://girs.bushehr.iau.ir/m/article_532778.html?lang=fa

رنگزن، کاظم؛ محرابی‌نژاد؛ علی؛ علیجانی، فرشاد؛ استادهاشمی، زهره؛ ۱۳۹۶. آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسب جنوب شرق ایذه با استفاده از روش COP. *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*. دوره ۷. شماره ۱. صص ۲۸-۲۰.

https://doi.org/10.22055/aag.2017.13067

سیف، عبدالله؛ جعفری‌اقدم، مریم؛ جهانفر، علی؛ ۱۳۹۳. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP (مطالعه موردی: آبخوان کارستی گلین، استان کرمانشاه). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۳. شماره ۳. صص ۷۹-۶۵.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1393.3.3.5.5

عباسی، محمد؛ محمدی، ابوطالب؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از مدل ریسک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۲. شماره ۱. صص ۱۶۸-۱۵۵.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1393.3.3.5.5

فیضی، اتابک؛ خانمحمدی، وحید؛ ۱۳۹۷. بررسی خصوصیات مناطق کارستی و میزان آسیب‌پذیری آن‌ها. *هفدهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران*. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه شهرکرد.

https://civilica.com/doc/811488/

کاردان مقدم، حمید؛ جوادی، سامان؛ کاوسی حیدری، علیرضا؛ میرعربی، علی؛ روزبهانی، رضا؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کارستی درفک در شمال ایران به روش EPIK. *اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار*. اردبیل. دانشگاه محقق اردبیلی.

https://civilica.com/l/6452/

ملکی، امجد؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ مطاعی، سارا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون -پرآو با استفاده از مدل COP. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. سال ۱۹. شماره ۵۲. صص ۱۴۵-۱۲۹.

http://dx.doi.org/10.29252/jgs.19.52.129

یوسفی، حسین؛ حقی‌زاده، علی؛ یاراحمدی، یزدان؛ نورمحمدی، پروین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی و آنالیز حساسیت روش COP مبتنی بر تکنیک RS و GIS در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر لرستان. *نشریه علوم آب‌وخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. سال ۲۲. شماره ۳. ۲۷۲-۲۶۱.

http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3451-fa.html

Afrasiabian, A., 2007. The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. *Environmental Geology*, 52 (4): 673-677. http://dx.doi.org/10.1007/s00254-006-0502-z

Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jime´nez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hotzl, H., JesuPerles, M. and Zwahlen, F., 2006. Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in theSierra de Lı´bar (Southern Spain). *Science of the Total Environment*. 357: 54-73. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.019

Baalousha, H.M., 2016. Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers. *Journal of African Earth Sciences*. 124: 75-93. http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.017

Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., 2002. Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. *HydrogeolJ*. 10: 340–355. http://dx.doi.org/10.1007/s10040-001-0185-1

Ford, D.C., Williams, P.W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley. *Chichester*, 562 pp. https://www.wiley.com/en-us/Karst+Hydrogeology+and+Geomorphology-p-9780470849972

Gondwe, B., Alonso, G., Gottwein, G., 2011. The Influence of Conceptual Model Uncertainty on Management Decisions for a Groundwater-Dependent Ecosystem in Karst. *Journal of Hydrology*. 400: 24-40. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.023

Kattaa, B., Al-Fares,W., Al Charideh, A., 2010. Groundwater Vulnerability Assessment for the Banyas Catchment of the Syrian Coastal Area Using GIS and the RISKE Method. *Journal of Environmental Management*. 91 (5): 1103-1110. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.008

Marín, A., Dorfliger, N., Andreo, B., 2012. Comparative application of two methods (COP and PaPRIKa) for groundwater vulnerability mapping in Mediterranean karst aquifers (France and Spain). *Environmental Earth Sciences*. 65 (8): 2407-2421. http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1056-2

Mudarra, M., Andreo, B., 2011. Relative Importance of the saturated and the unsaturated zone in the hydrogeological functioning of karst aquifers: the case of Alta Cadena (Southern Spain). *Journal of Hydrology*. 397 (3): 263-280. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.005

Pereira, D. L., Galvao, P., Lucon, T., Fujaco, M.A., 2019. Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro (geo) logical context of the Sao Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination,. *Journal of South American Earth Sciences*. 90: 191-203. http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.12.011

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.101-122 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2023.79402.1296 Open access

Estimation of PM2.5 as a Harmful Environmental Hazard in Tehran by Fusion of MODIS Aerosol Products through a Machine Learning Approach

Ali Mirzaei[a], Hossein Bagheri[b*], Mehran Sattari[b]

[a] *MA in Reomte Sensing, University of Isfahan, Isfahan, Iran*
[b] *Assistant Professor in Geomatics, University of Isfahan, Isfahan, Iran*

Received:14 November 2022 ***Revised: 12 December 2022*** ***Accepted: 15 January 2023***

Abstract

Air pollution is one of the most harmful natural hazards in Tehran metropolitan. Particles with a diameter of less than 2.5 micrometers (PM2.5) as one of the most harmful pollutants have endangered the health of people living in Tehran. One of the PM2.5 estimation techniques is the use of Aerosol Optical Depth (AOD) products derived from satellite observations. Various AOD products are retrieved with different algorithms that do not have the same accuracy and spatial resolution. Due to the differences in many assumptions and approximations adopted in the AOD retrieval process, the generated AOD products involve uncertainties. This issue reduces the accuracy of PM2.5 concentration estimation. The purpose of this study was to investigate the possibility of fusing AOD products obtained from MODIS sensor observations (retrieved by Deep Blue and Dark Target algorithms) to estimate PM2.5 more accurately. First, the performance of different machine learning algorithms in estimating PM2.5 from AOD data was evaluated. As a result, the XGBoost algorithm with the highest performance was selected as the base model for PM2.5 estimation. Then, the AOD products were fused using a weighted averaging based on the retrieval quality of the primary products. Finally, the fused AOD product along with meteorological data were employed to estimate PM2.5 using XGboost. The results demonstrated that the accuracy of PM2.5 estimation from the fused AOD product is better than when the AOD products are used individually (R^2= 0.77, MAE = 7.00 $\frac{\mu g}{m^3}$, RMSE = 9.59 $\frac{\mu g}{m^3}$). Thus, the retrieval quality of AOD products will lead to more accurate estimation of PM2.5 in the end.

Keywords: Aerosol Optical Depth, Data Fusion, MODIS, PM2.5, XGBoost

*. Corresponding author: Hossein Bagheri Email: h.bagheri@cet.ui.ac.ir Tel:+989127567529

How to cite this Article: Mirzaei, A., Bagheri, H., & Sattari, M. (2023). Estimation of PM2.5, as a harmful environmental hazard in Tehran by fusion of MODIS aerosol products through a machine learning approach. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 12*(3), 101-122

DOI: 10.22067/geoeh.2023.79402.1296

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79402.1296

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۱۲۲-۱۰۱

مقاله پژوهشی

ارائه یک روش مبتنی بر یادگیری ماشین برای تلفیق محصولات آئروسل سنجندهٔ مادیس جهت بهبود تخمین PM2.5، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی در شهر تهران

علی میرزایی -کارشناسی ارشد دانشکدهٔ مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
حسین باقری[1] -استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، ایران
مهران ستاری-استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

چکیده

افزایش بحران‌های محیط‌زیست در جهان باعث شده است تا در دهه‌های اخیر اهمیت مطالعه در مورد مسائل زیست‌محیطی افزایش یابد. آلودگی هوا در ردیف یکی از زیان‌بارترین مخاطرات طبیعی قرار گرفته است. ذرات معلق در هوا با قطر کمتر از ۲.۵ میکرومتر (PM2.5) یکی از خطرناک‌ترین و مضرترین نوع ذرات در میان آلاینده‌های مختلف هوا برای سلامتی انسان هستند. یکی از تکنیک‌های تخمین PM2.5 استفاده از محصولات عمق نوری آئروسل (AOD) است. محصولات مختلف AOD با الگوریتم‌های متفاوتی بازیابی می‌شوند که دارای دقت و قدرت تفکیک مکانی یکسانی نمی‌باشند. به دلیل تفاوت در فرضیات و تقریبات زیادی که در مراحل بازیابی AOD ها اتخاذ می‌شود، محصولات AOD تولید شده دارای عدم قطعیت هستند. این موضوع، باعث کاهش دقت تخمین غلظت PM2.5 می‌گردد. هدف این مقاله بررسی امکان تلفیق محصولات AOD حاصل از مشاهدات سنجندهٔ MODIS (بازیابی شده توسط

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۵۶۷۵۲۹ Email: h.bagheri@cet.ui.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

میرزایی, علی, باقری, حسین, ستاری, مهران. (۱۴۰۲). ارائه یک روش مبتنی بر یادگیری ماشین برای تلفیق محصولات آئروسل سنجنده‌ی مادیس جهت بهبود تخمین PM2.5، به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات زیست محیطی در شهر تهران. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۲(۳), صص ۱۲۲-۱۰۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79402.1296

الگوریتم‌های Deep Blue و Dark Target) به‌منظور تخمین دقیق‌تر PM2.5 اســـت. در این مطالعه، نخست با انجام آزمایش بر روی الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین و بررسی عملکرد آن‌ها در تخمین PM2.5 از روی‌داده‌های AOD، الگوریتم XGBoost به‌عنوان الگوریتم پایه در روش تلفیق پیشـــنهادی انتخاب شـــد. ســـپس محصـــول AOD تلفیقی با اســـتفاده از یک روش وزن‌دهی مبتنی بر کیفیت بازیابی محصـولات اولیه، تولید شـد. محصـول تلفیقی به همراه داده‌های هواشـناسـی و الگوریتم XGBoost برای تخمین PM2.5 مورد اســـتفاده قرار گرفت. نتایج حاصـــل از تلفیق نشـــان داد که دقت تخمین PM2.5 محصول تلفیقی در هر سه شاخص RMSE، MAE و $\mathbf{R^2}$ نسبت به حالت‌هایی که محصولات به‌صورت منفرد استفاده شدند، بهتر است ($\mathbf{R^2}$ =۰.۷۷، MAE = ۷.۰۰ $\frac{\mu g}{m^3}$، RMSE=۹.۵۹ $\frac{\mu g}{m^3}$). علاوه بر افزایش دقت، روش پیشـنهادی سـاده و از نظر محاسـباتی کم‌هزینه اسـت. علاوه بر این در این تحقیق مشـخص گردید، توجه به **نشانگر کیفی بازیابی محصولات AOD، زمینهٔ دستیابی به یک محصول تلفیقی دقیق‌تر را فراهم خواهد کرد.**

کلیدواژه‌ها: عمق نوری آئروسل، تلفیق داده، سنجندهٔ MODIS، PM2.5، الگوریتم XGBoost.

۱- مقدمه

امروزه آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیســت‌محیطی تبدیل شــده اســت (Huang & Kuo, 2018). رشد جمعیت شهرنشین، توسعهٔ صنعت، افزایش ترافیک و عدم برنامه‌ریزی مناسب در زمینهٔ کنترل منابع آلودگی هوا ازجمله عواملی هستند که منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها و تشدید این مشکل شده‌اند. از مهم‌ترین این آلاینده‌ها، ذرات معلق[1] (PM) هستند (Luo et al., 2020). در دهه‌های اخیر علاوه بر منابع طبیعی (مثل آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی و طوفان‌های گردوخاک)، افزایش منابع غیرطبیعی مانند استفادهٔ زیاد از سوخت‌های فسیلی در بخش‌های صنعتی و حمل‌ونقل نیز انتشار ذرات معلق را تشدید کرده است. این ذرات به دلیل متفاوت بودن خصوصیاتی همچون اندازه و ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده، تأثیرات یکسانی بر محیط‌زیست و سلامتی انسان ندارند. ذرات با قطر آئرودینامیکی کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر را به‌اختصار PM10 و ذرات با قطر آئرودینامیکی کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر را به‌اختصار PM2.5 می‌نامند. افزایش غلظت ذرات PM2.5 علاوه بر تهدید سلامت انسان باعث بروز هزینه‌های اقتصادی و تأثیر منفی بر حاصـــلخیزی خاک، چرخه غذایی، فتوســـنتز گیاهان و منابع آبی می‌شـــود (Liao et al., 2020; Singer, Zobeck, Poberezsky, & Argaman, 2003). بنابراین اندازه‌گیری و پایش میزان غلظت این ذرات امری ضـــروری است.

1 Particulate Matter

یکی از روش‌های معمول در پایش ذرات PM2.5 اندازه‌گیری میزان غلظت آن‌ها با استفاده از ایستگاه‌های زمینی کنترل کیفیت هوا است؛ اما ایستگاه‌های زمینی هزینه احداث و نگهداری بالایی دارند. همچنین، به دلیل کم بودن تعداد این ایستگاه‌ها، امکان تخمین دقیق و پایش تغییرات فضایی غلظت این ذرات خصوصاً در نواحی با تغییرات بالا نظیر شهرها میسر نیست. به‌عنوان یک راه‌حل، از محصولات AOD[1] حاصل از مشاهدات ماهواره‌ای برای تخمین این آلاینده‌ها استفاده می‌شود. مشاهدات ماهواره‌ای علاوه بر پوشش مکانی خوب و پیوستگی زمانی، بسیار مقرون‌به‌صرفه هستند (Anderson et al., 2010). شاخص AOD با تعیین میزان عمق نوری اتمسفر، به‌عنوان یک شاخص مهم در مطالعهٔ میزان کیفیت هوا و غلظت ذرات PM2.5 مورد استفاده قرار می‌گیرد. AOD شاخصی است که میزان جلوگیری از انتشار نور در یک ستون از جو بر اثر حضور ذرات معلق در هوا را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین این شاخص به‌طور مستقیم با میزان غلظت ذرات معلق در جو ارتباط دارد و به‌عنوان یک شاخص کلیدی در مطالعه PM2.5 استفاده می‌شود ((Wei, Chang, Bai, & Gao, 2020) مطالعات زیادی جهت تخمین میزان غلظت ذرات PM2.5 از روی محصولات AOD صورت پذیرفته است (Bagheri, 2022; Hu et al., 2014; Li, 2020; Ni, Cao, Zhou, Cui, & P Singh, 2018; Qi, Li, Karimian, & Liu, 2019). بااین‌حال استفاده از محصولات AOD نیز با چالش‌ها و نواقصی همراه است.

کیفیت داده‌های ورودی خصوصاً داده‌های AOD تأثیر بسیاری در دقت تخمین غلظت PM2.5 دارد. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های متنوع بازیابی AOD (همچون الگوریتم‌های Deep Blue، Dark Target، MAIAC[2]، SARA[3] و ...) توسط تیم‌های تحقیقاتی مختلف گسترش یافته‌اند (Hui Xu et al., 2012). الگوریتم‌های مختلف بازیابیAOD همیشه خروجی یکسانی از نظر دقت و قدرت تفکیک مکانی نمی‌دهند و در مناطق مختلف عملکردهای متفاوتی دارند (Tang, Bo, & Zhu, 2016). به‌عنوان‌مثال، محصول Dark Target (DT) برای مناطقی که بازتاب سطح در محدوده مرئی کم است (مانند مناطق دارای پوشش گیاهی) عملکرد بهتری نشان می‌دهد؛ درحالی‌که محصول Deep Blue (DB) در مناطق با سطوح روشن مانند مناطق شهری نتایج دقیق‌تری به دست می‌دهد (Hsu et al., 2013; Remer, Mattoo, Levy, & Munchak, 2013). بااین‌وجود، عدم قطعیت‌های زیادی در محصولات فوق وجود دارد و این عدم قطعیت‌ها از فرضیات و تقریب‌های زیادی که در مراحل بازیابی AOD ازجمله بخش‌های غربالگری ابر، انتخاب مدل بازیابی و تعیین بازتاب سطح اتخاذ می‌شود، ناشی می‌گردند. بدیهی است که عدم قطعیت در محصولات AOD باعث کاهش کیفیت این محصولات و به‌تبع آن کاهش دقت تخمین PM2.5 می‌شود.

1 Aerosol Optical Depth
2 Multi Angle Implementation of Atmospheric Correction
3 Simplified high resolution MODIS Aerosol Retrieval Algorithm

یکی از روش‌های افزایش کیفیت محصـولات مختلف AOD، تلفیق آن‌ها اسـت. به‌طورکلی مدل‌های تلفیق داده، اطلاعات چندین سـنجنده را جهت بهبود دقت و دسـتیابی به اطلاعات جامع‌تر، ترکیب می‌کنند (Castanedo, 2013; Hall & Llinas, 1997; Khaleghi, Khamis, Karray, & Razavi, 2013; Meng, Jing, Yan, & Pedrycz, 2020; Mirzaei, Bagheri, & Sattari, 2023). تلفیق این محصـــولات منجر بـه رفع عیوب هر یـک و همچنین افزایش توانایی‌های بالقوه آن‌ها می‌شود

(Bagheri, Schmitt, d'Angelo, & Zhu, 2018; Bagheri, Schmitt, & Zhu, 2018; H Xu et al., 2015). در مطالعات گذشـته نیز تلاش‌هایی برای بهبود عملکرد محصـولات AOD صـورت پذیرفته اسـت. به‌عنوان‌مثال، هان و همکاران[1] (۲۰۱۷) محصـــولات AOD ســـنجنده‌های MODIS2 و CALIOP3 را در یک فرآیند دو مرحله‌ای با هم تلفیق کردند. در مرحله اول شرایطی که هرکدام از محصولات این دو سنجنده با کیفیت بهتر عمل می‌کرد، تعیین شد. در مرحله بعد، تلفیق دو محصول براساس نقاط ضعف و قوت آن‌ها انجام شد و دقت به‌طور قابل‌توجهی از ۰.٦٥ و ۰.٥٢ به ترتیب برای محصـول MODIS و CAILOP به ۰.٨٠ برای محصـول تلفیق شـده براسـاس R^2 افزایش یافت (Han, Ding, Ma, & Gong, 2017). همچنین وانگ و همکاران[4] (۲۰۱۹) محصـــول عمق نوری آئروســـل ســـنجنده MODIS از سکوهای Terra و Aqua که با الگوریتم DB تولید شده بودند را برای بهبود پوشش مکانی تلفیق کردند. دقت محصـول نهایی برابر با دقت محصـول MODIS بود و تعداد پیکسـل‌های دارای مقدار در محصـول تلفیقی۱۲۳ درصد نسبت به محصولات منفرد افزایش یافت. اخیراً در یک مطالعه دیگر به تلفیق محصولات AOD به دست آمده از یک سـنسـور فعال (CALIPSO) و یک سـنسـور غیر فعال (MODIS) پرداخته شـد. برای تلفیق این محصـولات از روش بیزین ماکزیمم آنتروپی اسـتفاده شـد. نتایج بهبود قابل‌توجه پوشـش مکانی را نشـان داد (پوشـش مکانی، برای محصولات منفرد در بازهٔ ۰.۳ درصد تا ٧٥.٤ درصد و برای محصول تلفیقی در بازهٔ ٥٦.٧ درصد تا ۱۰۰ درصد قرار داشـــت) . این در حالی اســـت که دقت محصـــول تلفیق شـــده براســـاس شـــاخص RMSE برابر با ٥٠.٢٠ و دقت محصـولات اولیه به ترتیب ۰.۱۹ و ۰.۱۸ برای محصـولات CALIOP و MODIS بود (Xia et al., 2021). همچنین در مطالعه‌ای در سـال ۲۰۲۲، با بهره‌گیری از مزایای شـبکه‌های بیزین و رویکرد تلفیق محصـولات AOD حاصـل از سـنجنده های CALIOP و MODIS، سـعی در بهبود قدرت تفکیک زمانی محصـول عمودی AOD شـده اسـت. در این تحقیق با بکارگرفتن محصـول MAIAC، مشـاهدات MODIS و محصـول عمودی AOD حاصـل از CALIOP،

1 Han, Ding, Ma, & Gong, 2017
2 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
3 Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization
4 Y. Wang et al., 2019

٥ AOD بدون واحد است.

مقادیر AOD در دو لایه ارتفاعی مجزا با قدرت تفکیک مکانی-زمانی MAIAC (به ترتیب یک کیلومتری و روزانه) ارائه شد (Pashayi & Satari, 2022).

علاوه بر کیفیت محصولات AOD، الگوریتم مورد استفاده برای تخمین رابطه AOD با داده‌های هواشناسی و PM2.5 نیز بر دقت تخمین PM2.5 مؤثر است (باقری، ۲۰۲۲). مطالعات زیادی، با استفاده از روش‌های متنوع، جهت تخمین میزان غلظت ذرات PM2.5 از روی محصولات AOD صورت پذیرفته است (Bagheri, 2022; Hu et al., 2014; Li, 2020; Ni et al., 2018; Qi et al., 2019). دسته‌ای از این روش‌ها مبتنی بر یادگیری ماشین می‌باشند که در مطالعات متعددی قابلیت آن‌ها به اثبات رسیده است

(Bagheri, 2022, 2023; Chen, Yang, Du, & Huang, 2021; Gogikar, Tripathy, Rajagopal, Paul, & Tyagi, 2021; Hu et al., 2014; Jung, Chen, & Nakayama, 2021; Kianian, Liu, & Chang, 2021; Li, 2020; Zhang, 2017; You et al., 2016; Zhao et & ,Ni et al., 2018; Stafoggia et al., 2019; Yang, Yuan, Li, Shen al., 2020). نی و همکاران (۲۰۱۸) از یک شبکه Fully Connected با یک لایه میانی استفاده کردند و رابطه میان PM2.5، محصول DT سنجندهٔ MODIS و داده‌های هواشناسی را تخمین زدند. این شبکه هفت نورون در لایه ورودی، هفت نورون در لایه میانی و یک نورون در لایه خروجی داشت. نتایج، PM2.5 را با دقت ٦٨ درصد براساس شاخص R^2 ارائه کردند. همچنین نبوی و همکاران (۲۰۱۹) از AOD و پارامترهای هواشناسی شامل شش پارامتر بیشینه، کمینه و میانگین دما، زاویهٔ تابش خورشید، میزان دید و سرعت باد برای برآورد غلظت PM2.5 در تهران استفاده کردند. آن‌ها AOD را به کمک ارتفاع لایه تداخل مرزی استاندارد کردند و از الگوریتم درخت‌تصمیم‌گیری برای برآورد غلظت PM2.5 استفاده کردند. در بهترین حالت، دقت نهایی براساس شاخص R^2 به ۰.٦٨ رسید (نبوی و همکاران[1]، ۲۰۱۹). در یک مطالعهٔ دیگر (۲۰۱۹)، برای پیش‌بینی PM2.5،به مقایسهٔ عملکرد سه الگوریتم RF، XGBoost و Fully Connected براساس داده‌های هواشناسی (شامل بیشینه، کمینه و میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، بارش روزانه، میزان دید، سرعت باد، پایداری سرعت باد، فشار هوا و دمای نقطه شبنم) و داده‌های عمق نوری آئروسل پرداخته شد که الگوریتم XGBoost با RMSE برابر ۱۳.٥٨$\frac{\mu g}{m^3}$ بهترین عملکرد را از خود نشان داد (Zamani Joharestani, Cao, Ni, Bashir, & Talebiesfandarani, 2019). یان و همکاران[2] (۲۰۲۰) با سه روش RF، شبکه عصبی و روش XGBoost به تخمین PM2.5 پرداختند. در این تحقیق، روش XGBoost عملکرد بهتری (R^2 برابر ٦٤ درصد) نسبت به دو روش دیگر داشت. باقری (۲۰۲۲) با روش Gradient Boosting و به کمک محصول MAIAC و داده‌های هواشناسی به تهیهٔ نقشه PM2.5 با وضوح‌بالا در شهر تهران پرداخت. در حین این

1 Nabavi et al.
2 Yan et al.

تحقیق، به تأثیر چندین متغیر بر تخمین PM2.5 پرداخته شـد. همچنین نشـان دادهشـد که الگوریتم یادگیری ماشـین Gradient Boosting بهترین عملکرد را در میان سایر الگوریتمهای یادگیری ماشین دارد (R^2 برابر با ۷٤ درصد).

بررسـی مطالعات گذشـته نشـان میدهد که یادگیری ماشـین به یک موضـوع پرطرفدار تحقیقاتی در حوزه تخمین غلظت ذرات PM2.5 از روی دادههای آئروسـل تبدیل شـده اسـت. تنوع الگوریتمهای اسـتفاده شـده در مطالعات قبل، اهمیت انتخاب الگوریتم پایه برای تلفیق را دو چندان میکند. این مقاله به بررسـی تولنایی و دقت الگوریتمهای مختلف در تخمین غلظت ذرات PM2.5 از دادههای آئروسـل ماهوارهای و اطلاعات هواشـناسـی نیز میپردازد. در نتیجه، یک مدل یادگیری ماشین با بهترین عملکرد، بهعنوان مدل پایه در تلفیق محصولات مختلف AOD حاصل از تصاویر مادیس انتخاب میگردد. سپس، تلفیق با استفاده از مدل پایه و شاخص کیفیت بازیابی محصولات AOD به روش میانگین وزندار انجام خواهد شد. این ایده با کم کردن اثر دادههای بیکیفیت و مشارکت بیشتر دادههای AOD بازیابی شده با دقت بالا در فرآیند تلفیق، منجر به تخمین دقیقتر PM2.5 خواهد گردید. بهطور مشخص هدف اصلی این مطالعه بهبود دقت تخمین PM2.5 از طریق حذف یا کاهش منابع عدم قطعیت موجود در محصـولات AOD با استفاده از تلفیق آنها است.

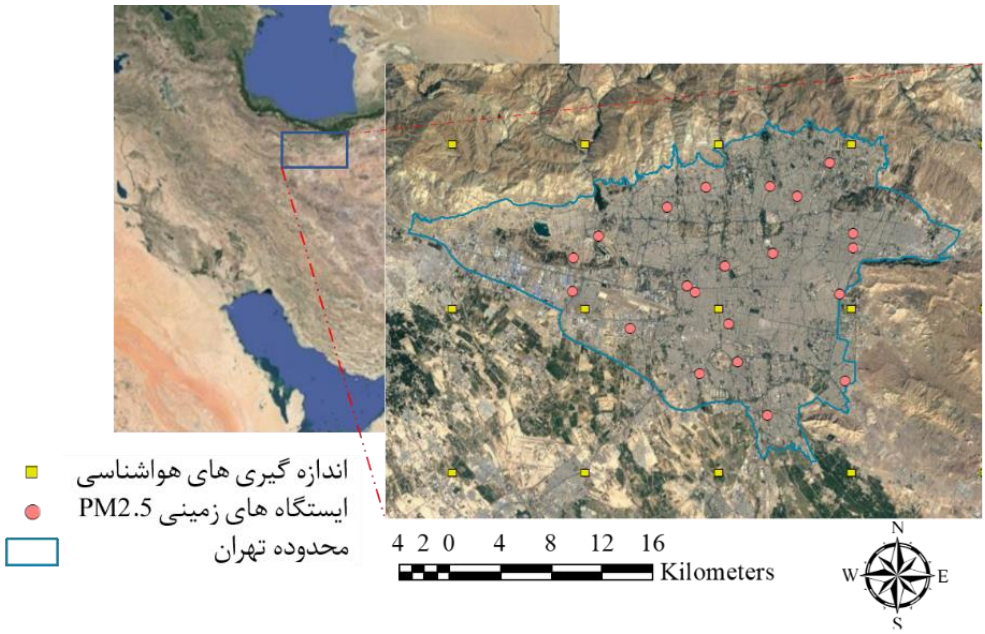
۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقهٔ موردمطالعه، شـهر تهران، پایتخت ایران اسـت که دارای ۱۳.۳ میلیون جمعیت (Habibi, Alesheikh, Mohammadinia, & Sharif, 2017). شکل ۱ موقعیت این منطقه را نشان میدهد. این شهر از ۳۵.۳۵ تا ۳۵.٤۸ درجهٔ شمالی و از ۵۱.۱۷ تا ۵۱.۳۳ درجهٔ شرقی گسترش یافته و ۷۵۱ کیلومترمربع مساحت دارد.

۲-۲ دادههای مورد استفاده

در این مطالعه از محصـولات AOD سـنجندهٔ MODIS (Deep Blue و Dark Target)، اندازهگیریهای زمینی PM2.5 و دادههای یک مدل جهانی هواشـناسـی (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) استفاده گردید. نوع و مشخصات دادههای مورد استفاده برای تخمین PM2.5 بهطور خلاصه در جدول ۱ نمایش داده شدهاند. دادهها برای یک بازهٔ زمانی هفت ساله، از ژانویه ۲۰۱۳ تا دسامبر ۲۰۱۹ جمعآوری شدند. در ادامه به جزئیات هرکدام از دادهها اشاره شدهاست.



شکل ۱- منطقه موردمطالعه، شهر تهران

جدول ۱- داده‌های استفاده شده برای تخمین غلظت PM2.5

داده	توضیح	منبع داده	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی
AOD	محصولات Deep Blue و Dark Target	سنجنده MODIS	۳ و ۱۰ km	روزانه
Latitude	عرض جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری PM2.5	AQCC	۱۰ km	روزانه
Longitude	طول جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری PM2.5	AQCC	۱۰ km	روزانه
Dewpoint temperature (DPT)	دمای نقطه شبنم	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Temperature (T)	دما	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Boundary layer height (BLH)	ارتفاع لایه مرزی	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Surface pressure (SP)	فشار سطحی	ECMWF	۱۰km	روزانه
Leaf area index, high vegetation (Lai hv)	شاخص پوشش برگ، برای مناطق با پوشش متراکم گیاهی	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Leaf area index, low vegetation (Lai lv)	شاخص پوشش برگ، برای مناطق با پوشش کم گیاهی	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Wind speed (WS)	سرعت باد	ECMWF	۱۰ km	روزانه

داده	توضیح	منبع داده	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی
Wind direction (WD)	جهت باد	ECMWF	۱۰ km	روزانه
Clear sky direct solar radiation at surface (Cdir)	مقدار تابش رسیده به سطح در شرایط آسمان صاف	ECMWF	۱۰km	روزانه
Downward UV radiation at the surface (Uvb)	مقدار اشعه فرابنفش رسیده به سطح زمین	ECMWF	۱۰km	روزانه
Relative humidity (RH)	رطوبت نسبی	ECMWF	۱۰km	روزانه
Day of year (DOY)	شماره روز سال	-	-	–

۲-۲-۱- محصولات AOD

در این تحقیق از محصولات AOD سنجندهٔ MODIS استفاده شد. این سنجنده AOD را با الگوریتم‌های DT و DB در طول‌موج ۵۵ نانومتر بازیابی می‌کند. سنجندهٔ MODIS بر روی دو سکوی Terra و Aqua قرار دارد. محصولات با قدرت تفکیک زمانی روزانه، به‌صورت رایگان در دسترس هستند (https://earthexplorer.usgs.gov). در کنار تمام محصولات AOD مورد استفاده، یک نشانگر کیفیت بازیابی (Q) نیز ارائه می‌شود. مقادیر Q از ۰ (پایین‌ترین کیفیت) تا ۳ (بالاترین کیفیت) متغیر است. این مقادیر براساس تعداد پیکسل‌های ورودی برای بازیابی AOD، نزدیکی به مناطقی با سطح روشن و مقدار خطای بازیابی، اختصاص داده می‌شوند (" Dark Target aerosol produact user's guid ", 2020).

۲-۲-۲- اندازه‌گیری زمینی PM2.5

همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، مقدار متوسط روزانه PM2.5 در سطح شهر تهران توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران[1] (AQCC) در ۲۱ ایستگاه اندازه‌گیری ارائه می‌شود (https://www.iqair.com).

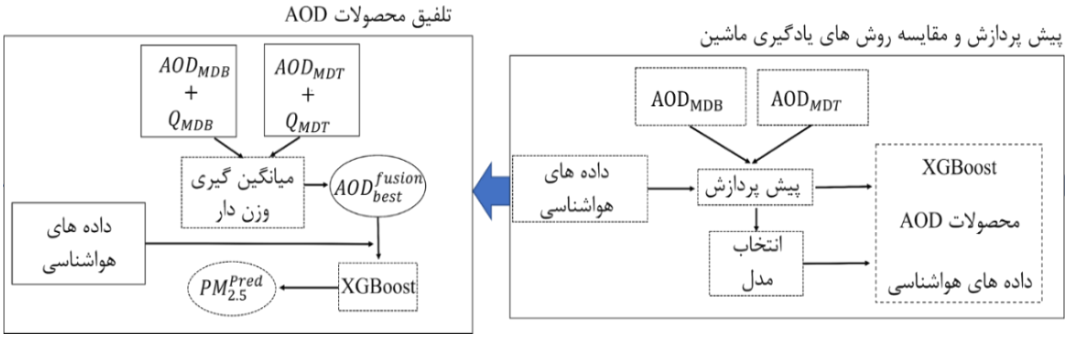
۲-۲-۳- داده‌های هواشناسی

مطالعات مختلفی لزوم استفاده از داده‌های هواشناسی در کنار داده AOD برای تخمین غلظت PM2.5 را روشن ساخته‌اند (Gupta & Christopher, 2009; Ni et al., 2018). برای تهیهٔ داده‌های هواشناسی روزانه از خروجی مدل جهانی ECMWF[2] استفاده شد. این داده‌ها نسبت به داده‌های هواشناسی زمینی در منطقهٔ موردمطالعه، توزیع بهتری دارند .همان‌طور که در جدول ۱ و شکل ۱ مشخص است این داده‌ها با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی روزانه فراهم شده‌اند.

1 Air Quality Control Company
2 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

۲-۳- روش تحقیق

شکل ۲ روند کلی تحقیق را نشان می‌دهد. نخست، پیش پردازش‌ها بر روی داده‌های خام انجام می‌شود. سپس عملکرد چندین الگوریتم یادگیری ماشین در تخمین PM2.5 با استفاده از محصولات مختلف، بررسی و الگوریتم برتر به‌عنوان الگوریتم پایه در تلفیق محصولات AOD استفاده می‌شود و در نهایت، روش پیشنهادی جهت تلفیق محصولات AOD ارائه می‌شود. از این ساختار کلی می‌توان برای تلفیق دیگر محصولات AOD و نیز در موقعیت‌های مکانی دیگر بهره برد.



شکل ۲- چارچوب پیاده‌سازی شده برای تلفیق محصولات AOD برای تخمین PM2.5

۲-۳-۱- پیش پردازش محصولات AOD

مطالعات گذشته نشان داده‌اند برای تعیین صحت AOD اندازه‌گیری شده می‌توان از مقادیر پیکسل‌های اطراف استفاده کرد (باقری، ۲۰۲۲). به بیان دیگر اختلاف زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری شده در یک همسایگی، نشان دهندهٔ حضور ابر، برف و یا دیگر عوارض مخرب است. در این مطالعه نیز به‌منظور استخراج AOD در موقعیت هر ایستگاه زمینی، از یک پنجرهٔ ۳×۳ استفاده می‌شود و درهر پنجره، میانگین مقادیر AOD به‌همراه انحراف معیار آن‌ها محاسبه می‌گردد. چنانچه در هرپنجره انحراف معیار از ۰/۰۲ بیشتر باشد، اندازه‌گیری مذکور غیر قابل اطمینان بوده و حذف می‌گردد. مقدار نهایی AOD در یک پنجره بر اساس میانگین مقادیر قابل اطمینان (پس از بررسی در شرط مذکور) تعیین می‌گردد.

نکته مهم دیگر این است که AOD در یک ستون از جو اندازه‌گیری می‌شود. در حالی که ذرات PM2.5 در نزدیکی سطح حضور دارند. در این خصوص مقادیرAOD قبل از هر پردازشی باید تصحیح شوند. تسای و همکاران[1] (۲۰۱۱) نشان دادند که این تصحیح را می‌توان با تقسیم AOD بر ارتفاع لایه تداخل (Mixing layer

1 Tsai et al.

height) همانند رابطه ۱ بدست آورد(Tsai, Jeng, Chu, Chen, & Chang, 2011; Z. Wang, Chen, Tao, Zhang, & Su, 2010). که در آن nAOD مقدار نرمال شدهٔ AOD است و L_{mix} نیز ارتفاع لایه تداخل را نشان می‌دهد.

$$nAOD = \frac{AOD}{L_{mix}} \qquad (۱)$$

در این مطالعه فرض شد که ذرات آئروسل به‌صورت همگن مخلوط شده و از ارتفاع لایه صرف نظر شد. علاوه براین نبوی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که ارتفاع لایه آئروسل و ارتفاع لایه مرزی(Blh) دارای ارتفاع یکسانی بالاتر از لایه‌های مملو از آئروسل هستند در نتیجه،L_{mix} را می‌توان با Blh جایگزین کرد (نبوی و همکاران، ۲۰۱۹). بن؛ راین، معادله ۱ را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد که آن nAOD مقدار نرمال شدهٔ AOD و Blh نیز ارتفاع لایه مرزی است.

$$nAOD = \frac{AOD}{Blh} \qquad (۲)$$

۲-۳-۲- پیش پردازش PM2.5

در ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوای شهر تهران از دستگاه TEOM[1]، برای تعیین غلظت ذرات PM2.5، استفاده می‌شود. این دستگاه قبل از اندازه‌گیری غلظت PM2.5، دمای محیط را تا ۵۰ درجه سانتیگراد بالا می‌برد. این امر باعث می‌شود جرم خشک PM2.5 به‌عنوان غلظت PM2.5 گزارش شود (باقری،۲۰۲۲). مطالعات قبلی نشان داده‌اند رابطه میان AOD و PM2.5 تحت تأثیر رطوبت هوا است (ژلنگ و همکاران[2]، ۲۰۱۶). در این تحقیق به کمک فرمول ۳ اثر رطوبت بر PM2.5 اعمال می‌گردد که در آن PM_c، PM تصحیح شده و RH رطوبت نسبی است که بر حسب درصد بیان می‌شود.

$$PM_c = PM(1 - \frac{RH}{100})^{-1} \qquad (۳)$$

۲-۳-۳- پیش پردازش داده‌های هواشناسی

علاوه بر AOD، داده‌های هواشناسی نیز در تخمین PM2.5 نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ECMWF استفاده شد. برای تعیین داده‌های هواشناسی در موقعیت ایستگاه‌های PM2.5، از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد. هایپرپارامترهای این روش نیز از طریق اعتبار سنجی متقابل[3] تعیین شد (Bagheri, Sadeghian, & Sadjadi, 2014). جدول ۲ دقت درون‌یابی و یکسری اطلاعات آماری برای هر پارامتر هواشناسی را نشان می‌دهد.

1 Tapered Element Oscillating Microbalance
2 Zhang et al.
3 K-Fold Cross Validation

جدول ۲- اطلاعات آماری و دقت درون‌یابی پارامترهای هواشناسی

داده هواشناسی	میانگین	بیشینه مقدار	کمینه مقدار	دقت درون‌یابی (MAE)
Blh (m)	٦٢٢.١	١٩٧١.٢	٢٢.٩	٢٦.٥٢
Cdir ($\frac{J}{m^2}$)	٧٢١٤٢٨.٢	١٠٣٦٤٢٦.٨	٣٣٦٦٤٧.٨	٦٧٨.٧٤
DPT (K)	٢٧١.٩	٢٨٦.٩	٢٥٢.٥	١.٣٠
T (K)	٢٨٧.٤	٣٠٧.٩	٢٦٢.٤	١.١٧
Lai_hv	١.٨٠	٢.١٩	١.٣٦	٠.٢٢
Lai_lv	٠.٥٠	٠.٥٣	٠.٤٨	٠.٠١
Sp (Pa)	٨٣٣٠٨.٠	٨٦٩٢١.٣	٧٩٧٢٢.٢	٢٤٢٨.٢٤
Uvb ($\frac{J}{m^2}$)	١٢٠٢٦.٤	١٣٨٦٣٧.١	٩٢٣٠٦.٥	١٩٤٦.٨١
WD (R)	−٠.٥٢	٢.٠٩	−٢.٤٢	٠.٤٦
WS ($\frac{m}{s}$)	١.٧٤	٤.٧٨	٠.٥٤	٠.٠٧
RH (%)	٧١	٧٩	٦٤	١

۲-۳-٤- مقایسه عملکرد روش‌های یادگیری ماشین وانتخاب مدل پایه برای تلفیق

همانگونه که در فصل مقدمه ذکر گردید، الگوریتم‌های یادگیری ماشینی مختلفی برای تخمین PM2.5 از داده‌های AOD مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هرکدام عملکرد متفاوتی را در تحقیقات مختلف بر اساس منطقه موردمطالعه و داده‌های ورودی نشان داده‌اند؛ بنابراین، در ابتدا لازم است عملکرد چند الگوریتم یادگیری ماشین پرکاربرد، در تخمین PM2.5 با استفاده از محصولات AOD مختلف بررسی گردد. هدف از این کار، یافتن دقیق‌ترین الگوریتم برای استفاده در تلفیق محصولات AOD می‌باشد. در ادامه شرح مختصری از الگوریتم‌های به کاررفته بیان می‌گردد.

یکی از الگوریتم‌های پایه در تخمین PM2.5، مدل رگرسیون خطی چند متغیره می‌باشد که در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (Gogikar et al., 2021; Hu et al., 2014; You et al., 2016) . بااین‌حال الگوریتم‌های خطی قادر به حل مسائل غیرخطی پیچیده با ابعاد بالا نیستند. در نتیجه الگوریتم‌های پیشرفته‌تری نظیر الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان[1] (SVR) در حل این مسائل مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chen et al., 2021). این الگوریتم مسائل تفکیک ناپذیر در فضایی با ابعاد کم را از طریق یک نگاشت و با بردن به یک فضای جدید با ابعاد بیشتر، با استفاده از یک ابرصفحه تفکیک می‌کند (Chang & Lin, 2011) . علاوه بر الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، درخت‌های تصمیم، قابلیت بالایی را در حل مسائل رگرسیون غیرخطی نشان داده‌اند. نسخه پیشرفته‌ای از این الگوریتم‌ها نظیر جنگل تصادفی[2] (RF) در مطالعات بسیاری برای تخمین غلظت PM2.5 از داده‌های AOD مورد استفاده قرار

1 Support Vector Regression
2 Random Forest

گرفته‌اند (Jung et al., 2021; Kianian et al., 2021; Stafoggia et al., 2019). RF با تجمیع[1] کردن درختان تصمیم در برابر بیش برازش مقاوم بوده و ضمن شناسایی داده‌های پرت، می‌تواند اهمیت متغیرهای ورودی را ارزیابی کند(Xiao, Chang, Geng, & Liu, 2018). بااین‌حال، با افزایش درختان و پیچیدگی هر درخت، زمان آموزش و پیش بینی مدل افزایش می‌یابد. الگوریتم XGBoost بر مبنای تقویت[2] درختان تصمیم شکل می‌گیرد. این الگوریتم در برابر بیش از حد یادگیری، مقاوم است و از پردازش موازی در حین آموزش استفاده می‌کند که باعث بالا رفتن سرعت پردازش و دستیابی به دقت بالاتر می‌گردد (Zamani Joharestani et al., 2019). همچنین اخیراً، الگوریتم‌های یادگیری عمیق، عملکرد بسیار موفقی در حوزه‌های گوناگون نظیر رگرسیون و طبقه بندی نشان داده‌اند (Zhu et al., 2020). متداول‌ترین ساختار در حل مسائل رگرسیون با استفاده از داده‌های جدولی، شبکه‌های FC[3] می‌باشند (Bharath Ramsundar & Reza Bosagh Zadeh, 2018).با این وجود به‌طورکلی الگوریتم‌های یادگیری عمیق در مواجه با داده‌های جدولی ناهمگون از سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین کلاسیک به ویژه روش‌های مبتنی بر درختان تصمیم، ضعیف‌تر عمل می‌کنند (میرزایی و همکاران[4]، ۲۰۲۳). NODE[5] یک معماری یادگیری عمیق پیشرفته است که برای کار با هر نوع داده جدولی و پوشش این ضعف، طراحی شده است (Popov, Morozov, & Babenko, 2019).

لازم به ذکر است در این تحقیق و در هر آزمایش، ۷۵ درصد داده‌ها به‌عنوان دادهٔ آموزشی[6] و ۲۵ درصد داده‌ها به‌عنوان دادهٔ آزمایشی[7]، به شکل تصادفی، انتخاب شدند. هایپرپارامترها در تمام الگوریتم‌ها (بجز روش رگرسیون خطی[8] و Fully connected) از طریق روش اعتبار سنجی متقابل، با استفاده از داده‌های آموزشی با انتخاب K =۵ تعیین شدند. همچنین سه شاخص R^2[9]، RMSE[10] و MAE[11] به‌عنوان شاخص دقت، در ارزیابی نتایج، مورد استفاده قرار گرفتند.

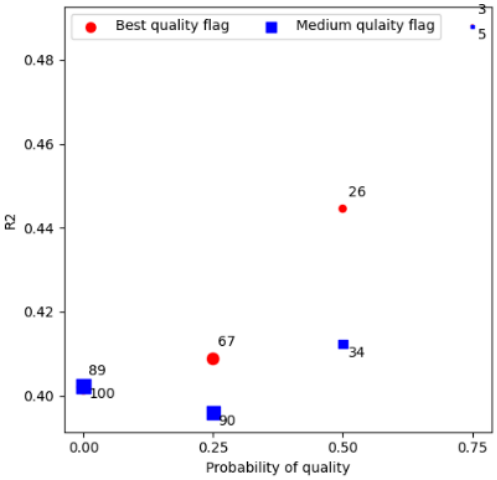
۲-۳-۵- تلفیق محصولات AOD

همان‌طور که قبلاً بیان گردید هدف این پژوهش بهبود تخمین PM2.5 از روی تلفیق داده‌های AOD می‌باشد. بااین‌حال، مطالعات قبلی نیز حاکی از عملکرد متفاوت محصولات AOD در مناطق مختلف‌اند (Liu et al., 2019;

1 Aggregate et al.
2 Boosting
3 Fully connected
4 Mirzaei et al.
5 Neural Oblivious Decision Ensemble
6 Train
7 Test
8 Linear
9 R-squared
10 Root Mean Squared Error
11 Mean Absolute Error

(Sayer et al., 2014; Y. Wang, Yuan, Shen, Zheng, & Zhang, 2020). علت این مسئله را می‌توان در فرضیات استفاده شده برای بازیابی محصولات AOD جستجو کرد (Tang et al., 2016). تلفیق محصولات مختلف AOD منجر به تولید یک محصول خواهد شد که تمام مناطق عملکرد قابل قبولی در تخمین PM2.5 دارد.

در این بخش محصولات AOD به‌صورت مستقیم و بدون پیش‌پردازش با یکدیگر تلفیق می‌شوند. روش پیشنهادی، ساده بوده و بار محاسباتی کمی دارد. چالش اساسی در این نوع تلفیق کاهش نسبت سیگنال به نویز به دلیل استفاده از داده‌های مختلف و متعدد بودن منابع خطا در آنهاست (Bagheri, Schmitt, & Zhu, 2017). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که فیلتر محصولات AOD با استفاده از نشانگر کیفیت بازیابی (Q)، باعث بهبود عملکرد آن‌ها در تخمین PM2.5 می‌شوند (Bagheri, 2022; Nabavi, Haimberger, & Abbasi, 2019). شکل ۳ نتایج مطالعهٔ باقری (۲۰۲۲) در خصوص تأثیر اعمال شاخص کیفیت بازیابیAOD محصول MAIAC در تخمین PM2.5 را نشان می‌دهد (Bagheri, 2022). در این مطالعه داده‌های AOD بر اساس دو شرط مربوط به کیفیت بازیابی آن‌ها فیلتر گشتند. حالت یک، فقط شامل شرط ابری نبودن پیکسل مورد نظر و حالت دوم علاوه بر حالت یک، شامل ابری و برفی نبودن پیکسل‌های مجاور است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است افزایش احتمال حضور پیکسل‌های باکیفیت، باعث افزایش دقت از نظر شاخص R^2 می‌گردد، بااین‌حال فیلتر داده‌ها بر اساس این شاخص، باعث کاهش تعداد نمونه‌ها می‌شود. در این تحقیق نیز برای برای جلوگیری از کاهش نسبت سیگنال به نویز و نیز بهبود دقت محصول نهایی، از شاخص Q برای تلفیق در سطح داده استفاده‌شد. برای این منظور، از میانگین وزن دار AOD ها برای تلفیق آن‌ها استفاده گردید. در ابتدای فرآیند تلفیق، شاخص احتمال حضور مقادیرAOD با کیفیت بالا، در میانگین‌گیری AOD (جزئیات در بخش ۲-۳-۱)، به‌عنوان وزن تعیین می‌گردد. این شاخص، نسبت تعداد پیکسل‌ها با بهترین کیفیت (Q=۳) به تعداد کل پیکسل‌ها در یک پنجره سه در سه اطراف هر ایستگاه را به‌صورت معادله ٤، نشان می‌دهد:



شکل ۳- تأثیر افزایش احتمال حضور AOD های با کیفیت بر اساس شرایط حالت یک و شرایط حالت دو بر تخمین PM2.5 (برای جزئیات بیشتر مراجعه کنید به (Bagheri, 2022))

$$P(AOD_{best}) = \frac{\sum_{i=1}^{9} n}{9} \qquad n = \begin{cases} 1 & if\ Q_i == 3 \\ 0 & else \end{cases} \qquad (٤)$$

که در آن Q_i نشان دهندهٔ شاخص کیفیت بازیابی برای پیکسل i ام در یک پنجرهٔ ۳×۳ است و $P(AOD_{best})$ بیانگر احتمال حضور پیکسل با کیفیت، در پنجره مذکور می‌باشد که به‌عنوان وزن پیکسل مربوطه، در تلفیق AOD ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از تعیین وزن‌ها، AOD تلفیق شده، از میانگین وزن‌دار AOD های ورودی بر اساس احتمال بدست‌آمده در رابطهٔ٤، محاسبه می‌گردد (رابطه ٥):

$$AOD_{best}^{fusion} = \frac{P(AOD_{Terra}^{DT}) \times AOD_{Terra}^{DT} + \cdots + P(AOD_{Aqua}^{DB}) \times AOD_{Aqua}^{DB}}{P(AOD_{Terra}^{DT}) + \cdots + P\left(AOD_{Aqua}^{DB}\right)} \qquad (٥)$$

که در آن اندیس‌های Terra و Aqua، به نام سکوهای هر محصول اشاره دارد. اندیس DT و DB نیز بیانگر الگوریتم بازیابی AOD محصول مورد نظر است. به‌عنوان‌مثال $P(AOD_{Terra}^{DT})$ وزن بدست آمده برای محصول DT سنجندهٔ Terra است یا AOD_{Terra}^{DT} نیز میانگین AODهای بدست آمده در پنجرهٔ ۳×۳ برای محصول DT سنجنده Terraرا نشان می‌دهد. AOD_{best}^{fusion} نیز محصول تفلیق شده با بهترین شرایط کیفی (حاصل از رابطه ٤) می‌باشد. در نهایت AOD تلفیق شده به همراه داده‌های هواشناسی، برای تخمین PM2.5 مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- نتایج

در این بخش، نتایج مقایسه روش‌های یادگیری ماشین و تلفیق محصولات AOD در تخمین PM2.5 ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱- نتایج مقایسه روش‌های یادگیری ماشین

در ابتدا توانایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین معرفی شده برای تخمین غلظت PM2.5 با استفاده از محصولات DB و DT، مورد ارزیابی قرار گرفتند. دقت الگوریتم‌ها در تخمین غلظت PM2.5، در جدول ۳ بیان گردیده است. همان‌طور که مشخص است الگوریتم XGBoost در دو شاخص RMSE و R^2 بهترین عملکرد را داشته است. عملکرد الگوریتم XGBoost در تخمین PM2.5 با استفاده از محصول MDT، در شاخص R^2 دو درصد، در شاخص RMSE ۰.۱۷ $\frac{\mu g}{m^3}$ و در شاخص MAE ۰.۳۳ $\frac{\mu g}{m^3}$ بهتر از الگوریتم RF (به‌عنوان بهترین الگوریتم پس از XGBoost) بود. البته XGBoost هنگام استفاده از این محصول، در شاخص MAE و در رقابت با الگوریتم FC اختلاف ناچیزی در حدود ۰.۰۳ $\frac{\mu g}{m^3}$ داشت. از منظر شاخص‌های دقت دیگر و همچنین پارامترهایی مثل زمان آموزش و سهولت در تعیین ابرپارامترها، اولویت با انتخاب الگوریتم XGBoost است. زمانی که از محصولMDB برای تخمین PM2.5 استفاده شد، XGBoost درشاخص R^2 دو درصد و در شاخص RMSE ۰.۰۷ $\frac{\mu g}{m^3}$ نسبت به الگوریتم RF بهتر عمل نمود. درحالی‌که از نظر شاخص MAE، نتایج لندکی (۰.۰٤ $\frac{\mu g}{m^3}$) بدتر از الگوریتم RF بود. نکتهٔ قابل‌توجه دیگر برتری محسوس XGBoost نسبت به روش‌های یادگیری عمیق آزمایش شده بود. با وجود موفقیت‌های چشم‌گیر این الگوریتم‌ها در زمینه‌های مختلف، این الگوریتم‌ها در مواجه با داده‌های جدولی ناهمگون[1]، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به الگوریتم‌های کلاسیک مانند درختان

تصمیم تقویت شده با گرادیان[2]، دارند. همچنین تنظیم ابرپارامترها و زمان آموزش در روش XGBoost بسیار سریع‌تر از روش‌های یادگیری عمیق است (Shwartz-Ziv & Armon, 2022).

جدول ۳- عملکرد روش‌های یادگیری ماشین در تخمین PM2.5

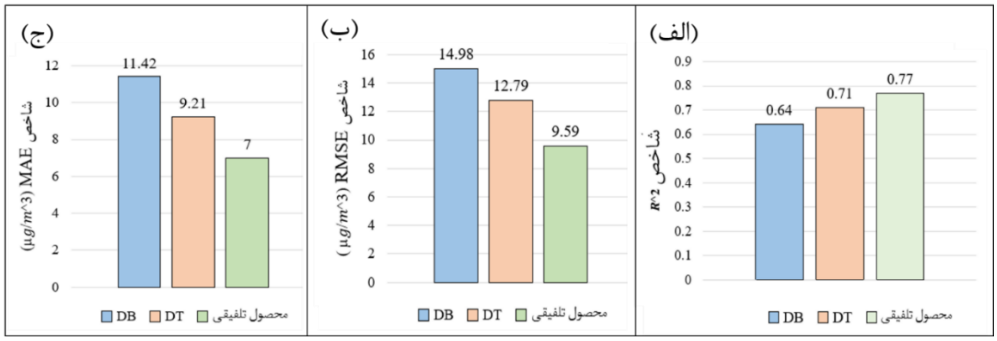
شاخص دقت	R^2		MAE ($\frac{\mu g}{m^3}$)		RMSE ($\frac{\mu g}{m^3}$)	
محصولات	DT	DB	DT	DB	DT	DB
XGBoost	۰.۷۰	۰.۷٦	۸.٤۱	۸.٤۸	۱۱.۰٦	۱۰.۹۱
RF	۰.٦۸	۰.۷٤	۸.۷٤	۸.٤٤	۱۱.۱۳	۱۱.۰۸
FC	۰.٦٤	۰.۷۰	۸.۳۸	۸.۷۰	۱۲.۲۸	۱۰.۹۲

1 heterogeneous tabular data
2 gradient boosted decision trees

شاخص دقت	R^2		MAE ($\frac{\mu g}{m^3}$)		RMSE ($\frac{\mu g}{m^3}$)	
محصولات	DT	DB	DT	DB	DT	DB
NODE	۰.۵۰	۰.٦٥	۱۱.٦۱	۱۰.۲۸	۱٤.۲۹	۱٤.۳۱
SVR	۰.٥٤	۰.٥۸	۱۷.٥٤	۱٤.٦۰	۱۸.۱۷	۲۰.۸٦
Linear	۰.۵۰	۰.٤۹	۱۱.۳٦	۱۱.۸۲	۲٤.٦۸	۱٤.۳٦

۳-۲- نتایج تلفیق

محصولات AOD بر اساس روش توضیح داده شده در بخش ۲-۳-۵ با هم تلفیق گردیدند. شکل ٤ دقت محصول AODتلفیق شده را نسبت به هر یک از محصولات در تخمین PM2.5، نشان می‌دهد. از نظر شاخص R^2، روش پیشنهادی تلفیق و تخمین غلظت PM2.5، شش درصد نسبت به محصول MDT و سیزده درصد نسبت به MDB دقیق‌تر عمل نمود. همچنین نتایج حاصل از تلفیق از نظر شاخص RMSE، ۳.۲ $\frac{\mu g}{m^3}$ نسبت به محصول MDT و ۵.۳۹ $\frac{\mu g}{m^3}$ نسبت به محصول MDB بهبود یافت. عملکرد محصول تلفیقی، از نظر شاخص MAE نیز روش پیشنهادی ۲.۲۱ $\frac{\mu g}{m^3}$ بهتر از MDT و ٤.٤۲ $\frac{\mu g}{m^3}$ بهتر از MDB بود. به‌طورکلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تلفیق به روش پیشنهادی از نظر دقت، نسبت به هرکدام از محصولات بکار رفته به‌صورت منفرد در تخمین PM2.5 عملکرد بسیار بهتری دارد. اما به ؛ یل شرط استفاده شده برای حذف داده‌های بی‌کیفیت در این روش، برخی اطلاعات که ممکن است در تخمین PM2.5 مفید واقع شوند از دست می‌روند.



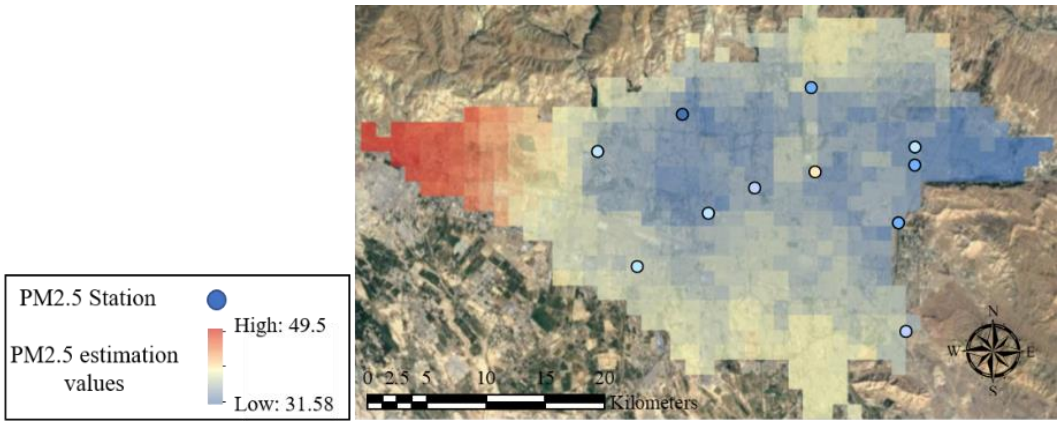
شکل٤- الف) نتایج تلفیق محصولات بر اساس شاخص R^2، ب) نتایج تلفیق محصولات بر اساس شاخص RMSE و ج) نتایج تلفیق محصولات بر اساس شاخص MAE

٤- بحث و جمع‌بندی

در این مطالعه به بررسی تأثیر تلفیق محصولات AOD بر بهبود دقت تخمین PM2.5، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی مخصوصاً در مناطق شهری پرداخته شد. نخست عملکرد الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین در تخمین PM2.5 ارزیابی شد. نتایج، نشان دهندهٔ برتری الگوریتم XGBoost بر روی داده‌های مورد استفاده در مقایسه با روش‌های یادگیری عمیق، بود. سپس الگوریتم XGBoost، به‌عنوان الگوریتم پایه در روش تلفیق پیشنهادی استفاده گردید. روش پیشنهادی بر اساس میانگین وزن‌دار مبتنی بر وزن‌های حاصل از شاخص کیفیت بازیابی ارائه شده در محصولات AOD، صورت گرفت. روش مذکور با کم کردن تأثیر مشارکت AOD های کم کیفیت و نیز افزایش تأثیر AOD های باکیفیت، باعث بهبود قابل‌توجه از نظر دقت نسبت به محصولات اولیه برای تخمین PM2.5، شد که در قسمت نتایج ارائه گردید.

همچنین جهت نشان دادن عملکرد مدل پیشنهادی، نقشه PM2.5 حاصل تلفیق داده‌های مختلف AOD در سطح منطقه موردمطالعه برای یک روز ترسیم گردید. برای ترسیم این نقشه، از اندازه‌گیری‌های زمینی PM2.5 و تخمین‌های بدست آمده از روش پیشنهادی و روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس[1] بر اساس فاصله، استفاده شد. شکل ۵ نقشهٔ PM2.5 روز چهارم تیر ماه سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. بر اساس PM2.5 اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های زمینی در این روز، شاخص کیفیت هوا[2] در دسته متوسط[3] قرار گرفته است. در این روز تنها ۱۱ ایستگاه از ۲۱ ایستگاه زمینی به دلیل مشکلات فنی، غلظت PM2.5 را ثبت کرده بودند. بر اساس شکل ۵، غلظت PM2.5 با استفاده از روش پیشنهادی در مناطق مرکزی مناطق تحت پوشش ایستگاه‌های زمینی، بین $۳۱ \frac{\mu g}{m^3}$ تا $٤۹ \frac{\mu g}{m^3}$ تخمین زده‌شده است که با AQI اعلام‌شده از سوی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (بین $١٦ \frac{\mu g}{m^3}$ تا $٤١ \frac{\mu g}{m^3}$) مطابقت دارد. علت این اختلاف اندک را نیز می‌توان در توزیع نامناسب ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری PM2.5 جستجو کرد. همان‌طور که در شکل مشخص است، در منطقه غرب تهران، به دلیل حضور کارخانه‌ها و منابع آلودگی و نیز وزش باد از سمت غرب به شرق، غلظت ذرات PM2.5 بالاست. این در حالی است که هیچ ایستگاه اندازه‌گیری زمینی در این منطقه وجود ندارد.

1 Inverse Distance Weighting
2 Air Quality Control
3 Moderate



شکل۵- نقشهٔ روزانه PM2.5 تهیه‌شده به کمک تلفیق محصولات مختلف AOD.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از سازمان‌هایی که داده‌های خام را به‌صورت رایگان به اشتراک می‌گذارند ازجمله ناسا، برای داده‌های AOD سنجنده MODIS، شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای داده‌های زمینی PM2.5 و مرکز پیش‌بینی هواشناسی متوسط مقیاس اروپا برای داده‌های هواشناسی نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

کتابنامه

Anderson, L. O., Malhi, Y., Aragão, L. E., Ladle, R., Arai, E., Barbier, N., & Phillips, O. (2010). Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. *New Phytologist, 187*(3), 733-750. doi:https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03355.x

Bagheri, H. (2022). A machine learning-based framework for high resolution mapping of PM2.5 in Tehran, Iran, using MAIAC AOD data. *Advances in Space Research, 69*(9), 3333-3349. doi:https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.032

Bagheri, H. (2023). Using deep ensemble forest for high-resolution mapping of PM2. 5 from MODIS MAIAC AOD in Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*(3), 377. doi:https://doi.org/10.1007/s10661-023-10951-1

Bagheri, H., Sadeghian, S., & Sadjadi, S. Y. (2014). The Assessment of using an Intelligent Algorithm for the Interpolation of Elevation in the DTM Generation. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 197-208. doi:https://doi.org/0.1127/1432-8364/2014/0220

Bagheri, H., Schmitt, M., d'Angelo, P., & Zhu, X. X. (2018). A framework for SAR-optical stereogrammetry over urban areas. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 146*, 389-408. doi:https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.10.003

Bagheri, H., Schmitt, M., & Zhu, X. X. (2017). Uncertainty assessment and weight map generation for efficient fusion of TanDEM-X and Cartosat-1 DEMs. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42*(1/W1)), 433-439. doi:https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-433-2017

Bagheri, H., Schmitt, M., & Zhu, X. X. (2018). Fusion of TanDEM-X and Cartosat-1 elevation data supported by neural network-predicted weight maps. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 144*, 285-297. doi:https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.007

Bharath Ramsundar & Reza Bosagh Zadeh. (2018). *TensorFlow for Deep Learning* (Rachel Roumeliotis & Alicia Young Ed. first ed. Vol. 16802 KB).

Castanedo, F. (2013). A review of data fusion techniques. *The Scientific World Journal, 2013*, 704504. doi:https://doi.org/10.1155/2013/704504

Chang, C.-C., & Lin, C.-J. (2011). LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM transactions on intelligent systems and technology (TIST), 2*(3), 1-27. doi:https://dl.acm.org/ doi/10.1145/ 1961189.1961199

Chen, N., Yang, M., Du, W., & Huang, M. (2021). PM2.5 estimation and spatial-temporal pattern analysis based on the modified support vector regression model and the 1 km resolution MAIAC AOD in Hubei, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 10*(1), 31. doi:https://doi.org/10.3390/ijgi10010031

Dark Target aerosol produact user's guid (2020). In: NASA.

Gogikar, P., Tripathy, M. R., Rajagopal, M., Paul, K. K., & Tyagi, B. (2021). PM2.5 estimation using multiple linear regression approach over industrial and non-industrial stations of India. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12*(2), 2975-2991. doi:https://doi.org/10.1007/s12652-020-02457-2

Gupta, P., & Christopher, S. A. (2009). Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite, and meteorological products: Multiple regression approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114*(D14). doi:https://doi.org/10.1029/2008JD011496

Habibi, R., Alesheikh, A. A., Mohammadinia, A., & Sharif, M. (2017). An assessment of spatial pattern characterization of air pollution: A case study of CO and PM2.5 in Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 6*(9), 270. doi: https://doi.org/10.3390/ijgi6090270

Hall, D. L., & Llinas, J. (1997). An introduction to multisensor data fusion. *Proceedings of the IEEE, 85*(1), 6-23. doi:https://doi.org/10.1109/5.554205

Han, B., Ding, H., Ma, Y., & Gong, W. (2017). Improving retrieval accuracy for areosol optical depth by fusiom of MODIS and CALIOP data. *Tehnicki vjesnik/Technical Gazette, 24*(3). doi:https://doi.org/10.17559/TV-20160429044233

Hsu, N., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A., Hansell, R., Seftor, C., . . . Tsay, S. C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118*(16), 9296. doi:https://doi.org/10.1002/jgrd.50712

Hu, X., Waller, L. A., Lyapustin, A., Wang, Y., Al-Hamdan, M. Z., Crosson, W. L., . . . Puttaswamy, S. J. (2014). Estimating ground-level PM2.5 concentrations in the Southeastern United States using MAIAC AOD retrievals and a two-stage model. *Remote Sensing of Environment, 140*, 220-232. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.032

Huang, C.-J., & Kuo, P.-H. (2018). A deep CNN-LSTM model for particulate matter (PM2. 5) forecasting in smart cities. *Sensors, 18*(7), 2220. doi:https://doi.org/10.3390/s18072220

Jung, C.-R., Chen, W.-T., & Nakayama, S. F. (2021). A national-scale 1-km resolution PM2.5 estimation model over japan using maiac aod and a two-stage random forest model. *Remote Sensing, 13*(18), 3657. doi:https://doi.org/10.3390/rs13183657

Khaleghi, B., Khamis, A., Karray, F. O., & Razavi, S. N. (2013). Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion, 14*(1), 28-44. doi:https://doi.org/ 10.1016/ j.inffus. 2011.08.001

Kianian, B., Liu, Y., & Chang, H. H. (2021). Imputing satellite-derived aerosol optical depth using a multi-resolution spatial model and random forest for PM2.5 prediction. *Remote Sensing, 13*(1), 126. doi:https://doi.org/10.3390/rs13010126

Li, L. (2020). A robust deep learning approach for spatiotemporal estimation of satellite AOD and PM2.5. *Remote Sensing, 12*(2), 264. doi:https://doi.org/10.3390/rs12020264

Liao, Q., Jin, W., Tao, Y., Qu, J., Li, Y., & Niu, Y. (2020). Health and Economic Loss Assessment of PM2. 5 Pollution during 2015–2017 in Gansu Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(9), 3253. doi:https:// doi.org/ 10.3390/ ijerph17093253

Liu, N., Zou, B., Feng, H., Wang, W., Tang, Y., & Liang, Y. (2019). Evaluation and comparison of multiangle implementation of the atmospheric correction algorithm, Dark Target, and Deep Blue aerosol products over China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(12), 8243-8268. doi:https://doi.org/10.5194/acp-19-8243-2019

Luo, H., Guan, Q., Lin, J., Wang, Q., Yang, L., Tan, Z., & Wang, N. (2020). Air pollution characteristics and human health risks in key cities of northwest China. *Journal of Environmental Management*, *269*, 110791. doi:https:// doi.org/ 10.1016/ j.jenvman. 2020. 110791

Meng, T., Jing, X., Yan, Z., & Pedrycz, W. (2020). A survey on machine learning for data fusion. *Information Fusion*, *57*, 115-129. doi:https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.001

Mirzaei, A., Bagheri, H., & Sattari, M. (2023). Data level and decision level fusion of satellite multi-sensor AOD retrievals for improving PM2. 5 estimations, a study on Tehran. *Earth Science Informatics*, *16*(1), 753-771. doi:http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2302.10278

Nabavi, S. O., Haimberger, L., & Abbasi, E. (2019). Assessing PM2.5 concentrations in Tehran, Iran, from space using MAIAC, deep blue, and dark target AOD and machine learning algorithms. *Atmospheric Pollution Research*, *10*(3), 889-903. doi:https:// doi.org/ 10.1016/ j.apr.2018.12.017

Ni, X., Cao, C., Zhou, Y., Cui, X., & P Singh, R. (2018). Spatio-temporal pattern estimation of PM2. 5 in Beijing-Tianjin-Hebei Region based on MODIS AOD and meteorological data using the back propagation neural network. *Atmosphere*, *9*(3), 105. doi:https:// doi.org/ 10.3390/atmos9030105

Pashayi, M., & Satari, M. (2022). Improvement of spatial-temporal resolution of aerosol profile by using multi-source satellite data over the Persian Gulf. *Atmospheric Environment*, 119410. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119410

Popov, S., Morozov, S., & Babenko, A. (2019). Neural oblivious decision ensembles for deep learning on tabular data. *arXiv preprint arXiv:1909.06312*. doi:https://doi.org/ 10.48550/ arXiv.1909.06312

Qi, Y., Li, Q., Karimian, H., & Liu, D. (2019). A hybrid model for spatiotemporal forecasting of PM2.5 based on graph convolutional neural network and long short-term memory. *Science of the Total Environment*, *664*, 1-10. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.333

Remer, L., Mattoo, S., Levy, R., & Munchak, L. (2013). MODIS 3 km aerosol product: algorithm and global perspective. *Atmospheric Measurement Techniques*, *6*(7), 1829-1844. doi:https://doi.org/10.5194/amt-6-1829-2013

Sayer, A., Munchak, L., Hsu, N., Levy, R., Bettenhausen, C., & Jeong, M. J. (2014). MODIS Collection 6 aerosol products: Comparison between Aqua's Deep Blue, Dark Target, and "merged" data sets, and usage recommendations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *119*(24), 13,965-913,989. doi:https://doi.org/10.1002/2014JD022453

Shwartz-Ziv, R., & Armon, A. (2022). Tabular data: Deep learning is not all you need. *Information Fusion*, *81*, 84-90. doi:https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.11.011

Singer, A., Zobeck, T., Poberezsky, L., & Argaman, E. (2003). The PM10 and PM2.5 dust generation potential of soils/sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan. *Journal of Arid Environments*, *54*(4), 705-728. doi:https://doi.org/10.1006/jare.2002.1084

Stafoggia, M., Bellander, T., Bucci, S., Davoli, M., De Hoogh, K., De'Donato, F., . . . Renzi, M. (2019). Estimation of daily PM10 and PM2.5 concentrations in Italy, 2013–2015, using a

spatiotemporal land-use random-forest model. *Environment International, 124*, 170-179. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.016

Tang, Q., Bo, Y., & Zhu, Y. (2016). Spatiotemporal fusion of multiple-satellite aerosol optical depth (AOD) products using Bayesian maximum entropy method. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121*(8), 4034-4048. doi:https://doi.org/10.1002/2015JD024571

Tsai, T.-C., Jeng, Y.-J., Chu, D. A., Chen, J.-P., & Chang, S.-C. (2011). Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. *Atmospheric Environment, 45*(27), 4777-4788. doi:https:// doi.org/ 10.1016/ j.atmosenv. 2009.10. 006

Wang, Y., Yuan, Q., Shen, H., Zheng, L., & Zhang, L. (2020). Investigating multiple aerosol optical depth products from MODIS and VIIRS over Asia: Evaluation, comparison, and merging. *Atmospheric Environment, 230*, 117548. doi:https:// doi.org/ 10.1016/ j.atmosenv. 2020. 117548

Wang, Z., Chen, L., Tao, J., Zhang, Y., & Su, L. (2010). Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method. *Remote Sensing of Environment, 114*(1), 50-63. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.009

Wei, X., Chang, N.-B., Bai, K., & Gao, W. (2020). Satellite remote sensing of aerosol optical depth: Advances, challenges, and perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 50*(16), 1640-1725. doi:https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1665944

Xia, X., Zhao, B., Zhang, T., Wang, L., Gu, Y., Liou, K.-N., . . . Huang, Y. (2021). Satellite-Derived Aerosol Optical Depth Fusion Combining Active and Passive Remote Sensing Based on Bayesian Maximum Entropy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60*, 1-13. doi:https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3051799

Xiao, Q., Chang, H. H., Geng, G., & Liu, Y. (2018). An ensemble machine-learning model to predict historical PM2.5 concentrations in China from satellite data. *Environmental science & technology, 52*(22), 13260-13269. doi:https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02917

Xu, H., Guang, J., Xue, Y., De Leeuw, G., Che, Y., Guo, J., . . . Wang, T. (2015). A consistent aerosol optical depth (AOD) dataset over mainland China by integration of several AOD products. *Atmospheric Environment, 114*, 48-56. doi:https://doi.org/ 10.1016/ j.atmosenv. 2015. 05.023

Xu, H., Xue, Y., Guang, J., Li, Y., Yang, L., Hou, T., . . . Chen, Z. (2012). *A semi-empirical optical data fusion technique for merging aerosol optical depth over China.* Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., & Zhang, L. (2017). The relationships between PM2.5 and meteorological factors in China: seasonal and regional variations. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 14*(12), 1510. doi:https://doi.org/ 10.3390%2 Fijerph14121510

You, W., Zang, Z., Zhang, L., Li, Y., Pan, X., & Wang, W. (2016). National-scale estimates of ground-level PM2.5 concentration in China using geographically weighted regression based on 3 km resolution MODIS AOD. *Remote Sensing, 8*(3), 184. doi:https:// doi.org/ 10.3390/rs8030184

Zamani Joharestani, M., Cao, C., Ni, X., Bashir, B., & Talebiesfandarani, S. (2019). PM2.5 prediction based on random forest, XGBoost, and deep learning using multisource remote sensing data. *Atmosphere, 10*(7), 373. doi:https://doi.org/10.3390/atmos10070373

Zhao, C., Wang, Q., Ban, J., Liu, Z., Zhang, Y., Ma, R., . . . Li, T. (2020). Estimating the daily PM2.5 concentration in the Beijing-Tianjin-Hebei region using a random forest model with a 0.01°× 0.01° spatial resolution. *Environment International, 134*, 105297. doi:https:// doi.org/ 10.1016/j.envint.2019.105297

Zhu, X. X., Hu, J., Qiu, C., Shi, Y., Kang, J., Mou, L., . . . Huang, R. (2020). So2Sat LCZ42: A benchmark data set for the classification of global local climate zones [Software and Data Sets]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, *8*(3), 76-89. doi:https://d oi.org/ 10.1109/ MGRS.2020.2964708

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.123-144 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.79729.1305 Open access

Investigating the Relationship between Air Pollutants and Remote Sensing Indices (NDVI, NDBI, LST, and ATI) in Tehran

Sayedeh Zeinab Shogrkhodaei[a], Amanollah Fathnia[b*], Sirous Hashemi Darebadami[c]

[a] *PhD Candidate in Climatology, Razi University, Kermanshah, Iran*
[b] *Associate Professor in Climatology, Razi University, Kermanshah, Iran*
[c] *PhD Candidate in Remote Sensing and Geographic Information System, Tehran University, Tehran, Iran*

Received: 23 November 2022 ***Revised: 1 February 2023*** ***Accepted: 8 February 2023***

Abstract

Intra-urban air pollution is a major environmental and public health concern worldwide. As the capital of Iran, Tehran is increasing its population day by day, and it has caused problems such as air pollution, and its severity is subject to change every year. The aim of this study was to find a relationship between Remotely Sensed Indices with pollutants and air pollution modeling in Tehran. Pearson correlation coefficient was used to investigate the relationship between independent variables and pollutants and multivariate linear regression model was used to model it. Independent variables in this study are Land Surface Temperature (LST), Normalized Vegetation Difference Index (NDVI), Apparent Thermal Inertia (ATI), and Normalized Difference Built-Up Index (NDBI). The data obtained from Landsat 8 satellite images and MODIS sensor were used. Moreover, air pollution parameters were CO, NO_2 and SO_2, which were prepared in two spring (April) and summer (August July) of 2017. ENVI, ArcGIS and SPSS software were used to analyze the images and evaluate the relationship between the Remotely Sensed Indices and air pollutants and modeling. The results showed that the highest correlation between LST and SO_2 is in the spring (0.24), NDVI and SO_2 is in the spring (-0.36), ATI and CO is in the summer, and between NDBI and SO_2 is in the summer. Also, the results of the model for the statistical coefficient of determination (R^2) showed a value between 0.33 and 0.8, and for the statistical root-mean-square error (RMSE) showed a value of 5.05-47.47. It was also found that NDVI and LST are inversely related, and that NDBI was indirectly related to air pollutants.

Keywords: Air Pollution, Pearson Correlation, Tehran City, Remote Sensing Index

*.Corresponding Author: Amanollah Fathnia Email: a_fathnia@razi.ac.ir Tel: +989192970334

How to cite this Article: Shogrkhodaei, S. Z., Fathnia, A., & Hashemi Darebadami, S. (2023). Investigating the relationship between air pollutants and remote sensing indices (NDVI, NDBI, LST and ATI) in Tehran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 123-144.
DOI: 10.22067/geoeh.2023.79729.1305

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79729.1305

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۱۴۴-۱۲۳

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا با شاخص‌های سنجش‌ازدور (NDVI،NDBI، LST و ATI) در شهر تهران

سیده‌زینب شگرخدایی- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
امان‌اله فتح‌نیا[1]- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
سیروس هاشمی‌دره‌بادامی- دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

چکیده

آلودگی هوای شهری یک نگرانی عمده زیست‌محیطی و بهداشت عمومی در سراسر جهان است. هرروزه بر جمعیت شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران افزوده می‌شود که مشکلاتی از قبیل آلودگی هوا را به دنبال داشته و هرسال بر شدت آن نیز افزوده می‌شود. ازاین‌رو هدف این مطالعه یافتن ارتباط شاخص‌های سنجش‌ازدوری با آلاینده‌های هوا در سطح شهر تهران است. شاخص‌های مورداستفاده در این مطالعه شامل: دمای سطح زمین (LST)، شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI)، اینرسی حرارتی ظاهری (ATI) و شاخص تفاضلی نرمال شده مناطق ساخته شده (NDBI) استخراج شده از داده‌های تصاویر سنجنده OLI و مودیس، همچنین پارامترهای آلاینده هوا شامل CO، NO_2 و SO_2 طی ماه‌های آگوست، جولای و آوریل سال ۲۰۱۷ است. برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های سنجش‌ازدور و آلاینده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد در فصل بهار بالاترین مقدار همبستگی مثبت بین LST و SO_2 (۰/۲۴) و بیشترین میزان همبستگی منفی بین NDVI و SO_2 (۰/۳۶-) مشاهده شد.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۹۲۹۷۰۳۳۴ Email: a_fathnia@razi.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

شگرخدایی، سیده زینب؛ فتح نیا، امان اله؛ هاشمی دره بادامی، سیروس؛ ۱۴۰۲. بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا با شاخص‌های سنجش از دور (NDVI،NDBI، LST و ATI) در شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳)،صص ۱۴۴-۱۲۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79729.1305

همچنین در فصل بهار بالاترین همبستگی مشاهده شده بین ATI و CO (۰/۲٤) و NDBI و SO_2 (۰/۲۷) وجود داشت. علاوه براین ارتباط قوی و منفی بین NDBI و NDVI به ترتیب در فصل بهار و تابستان (۰/۸٤،-۰/۹۱) وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، همبستگی پیرسون، شهر تهران، شاخص سنجش‌ازدوری.

۱- مقدمه

گسترش مناطق شهری تأثیر قابل‌توجهی بر کاربری زمین با تغییر پوشش گیاهی به مسکونی و تجاری و زیرساخت‌های مرتبط با آن دارد که باعث افزایش درجه حرارت زمین می‌شود (ابراهیم و رسول[1]، ۲۰۱۷). سطوح غیرقابل نفوذ عمدتاً با مواد غیرقابل نفوذی مانند آسفالت، بتن و سنگ، ساخته می‌شوند. سطوح غیرقابل نفوذ شهری مانند سطوح سنگلاخی بیابان رفتار می‌کنند، چراکه این سطوح رسانایی و ذخیره‌سازی گرمای بالایی در مقایسه با سطوح قابل‌نفوذ (پوشش گیاهی) دارند (بارنز[2] و همکاران، ۲۰۰۱). جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با ساخت‌وسازهای شهری، اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برد (گورسوسکی[3] و همکاران، ۱۹۹۸) و استفاده از سوخت‌های فسیلی برای سرمایش و گرمایش باعث افزایش دمای هوای محیط می‌شود که در ادامه این تغییرات، جزیره حرارتی به وجود می‌آید (هاشمی‌دره‌بادامی، ۱۳۹٤). جزایر حرارتی شهری، مرگ‌ومیر مرتبط با گرما و آلودگی را افزایش و آسایش حرارتی را کاهش می‌دهد و تقاضا برای انرژی را بالا می‌برد (میرزایی[4]، ۲۰۱۵). آلودگی هوا به‌طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط است (ارکو[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ آتکینسون[6] و همکاران، ۲۰۱۳). ازاین‌رو برای حفظ قابل‌قبول کیفیت هوا، همواره نیازمند اطلاعات به‌موقع تغییرات آن هستیم (موزومدر[7] و همکاران، ۲۰۱۳). کلان‌شهر تهران در یک قرن اخیر با شتاب بسیار رشد کرده و این رشد سریع سبب تحولات و تغییرات مهمی در شکل فضایی آن شده است (رفیعیان و شالی، ۱۳۹۱). ازآنجایی‌که دو گروه عمده صنایع آلاینده در اطراف تهران شامل تولید خودرو و سوخت هستند و از طرفی در شهر، مصرف‌کنندگان خانگی، مصرف‌کنندگان اصلی انرژی هستند؛ به‌این‌ترتیب دو گروه اصلی آلاینده هوا صنایع و خانوارها هستند (وفا-آرانی[8] و همکاران، ۲۰۱٤). راه‌ها و شریان‌های ارتباطی شهر تهران با جمعیت حدود ۹ میلیون نفر حجم بالایی از اتومبیل‌ها را در تمام ساعات شبانه‌روز جابه‌جا می‌کند که عامل اصلی تولید دی‌اکسیدنیتروژن، دی‌اکسید گوگرد (نورپور و فیض، ۱۳۹۳) و مونوکسیدکربن (سجادیان،

1 Ibrahim & Rasul
2 Barnes
3 Gorsevski
4 Mirzaei
5 Erqou
6 Atkinson
7 Mozumder
8 Vafa- Arani

۱۳۹٤؛ متکان و همکاران، ۱۳۸۸) است. به‌طورکلی تراکم بالای شهر تهران و تمرکز صنایع در حاشیه شهر موجب بروز جزایر حرارتی و آلودگی هوای شهری شده است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). ازاین‌رو بررسی ارتباط پارامترهای آلودگی هوا با شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به فهم بهتر و برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای کاهش سطوحی که باعث تشدید آلودگی هوا می‌شود کمک کند. یکی از محدودیت‌هایی که بیشتر در مطالعات انجام شده در آسیا و کشورهای توسعه نیافته مشاهده می‌شود تعداد پایین ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا است که امکان نمایش توزیع آلودگی هوا را با دقت زیاد محدود می‌کند (امینی[1] و همکاران، ۲۰۱٤). برخی مطالعات که با محدودیت در ایستگاه‌های پایش آلودگی روبرو بوده‌اند از متغیرهایی مانند پوشش گیاهی در ارتباط با آلاینده‌ها استفاده کرده‌اند (وو[2] و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور می‌تواند برای شناخت پوشش زمین مرتبط با آلاینده‌ها به محققان کمک کند تا بررسی دقیقی از کیفیت هوا داشته باشند. سنجش‌ازدور تکنیکی است که امکان نظارت و نمایش تغییرات پدیده‌های سطح زمین را در طول زمان فراهم می‌آورد (سهرابی‌نیا و خورشیددوست[3]، ۲۰۰۷). تحقیقات مختلفی در سطح جهان و ایران در ارتباط با آلاینده‌ها و کاربری اراضی صورت گرفته است که در اینجا به برخی موارد اشاره می‌شود. برخی از مطالعات انجام شده برای مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از تکنیک LUR نشان داده‌اند که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نتیجه را بهبود می‌بخشد (وینئو[4] و همکاران، ۲۰۱۳). محمدی و همکاران (۱۳۹۷) برای پیش‌بینی آلاینده‌های NO_2، CO و PM_{10} در شهر تهران از مدل رگرسیون کاربری اراضی، استفاده کردند. وحدت و علی‌محمدی (۱۳۹۹) با مطالعه تغییرپذیری ساعتی رابطهٔ پارامترهای کاربری اراضی با آلایندهٔ CO، به این نتیجه رسیدند که مدل‌های کلی و ساعتی بخصوص در فصل تابستان در تخمین آلاینده CO نسبت به دیگر آلاینده‌ها بالاتر است. نتایج بررسی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان نشان می‌دهد که مهم‌ترین آلاینده‌های هوا حجم ترافیک، جمعیت و کاربری اراضی است (شریفی سده و احمدی ندوشن، ۱۳۹۷). مطالعات نشان می‌دهد با گسترش شهرنشینی، بیابان‌زایی و هر فرآیندی که در نتیجه افزایش سطوح غیرگیاهی باشد، دمای هوا افزایش می‌یابد (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج تحقیقات در شهر تهران نشان می‌دهد طی سه دهه اخیر (۱۹۸۵–۲۰۱۵) بین مقدار سطوح ساخته شده و مقدار دمای سطح ارتباط قوی و مثبت وجود دارد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹٦). مطابق با مطالعات انجام شده، گسترش سطوح نفوذناپذیر رابطه مستقیم با دمای هوا و رابطه معکوس با پوشش گیاهی دارد (اصغری سراسکانرود و امامی، ۱۳۹۷؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹٦؛ ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ بویادی[5] و همکاران، ۲۰۱۳؛ یوآن و بائور[6]، ۲۰۰۷). همچنین ارتباط

1 Amini
2 Wu
3 Sohrabinia and Khorshiddoust
4 Vienneau
5 Buyadi
6 Yuan & Bauer

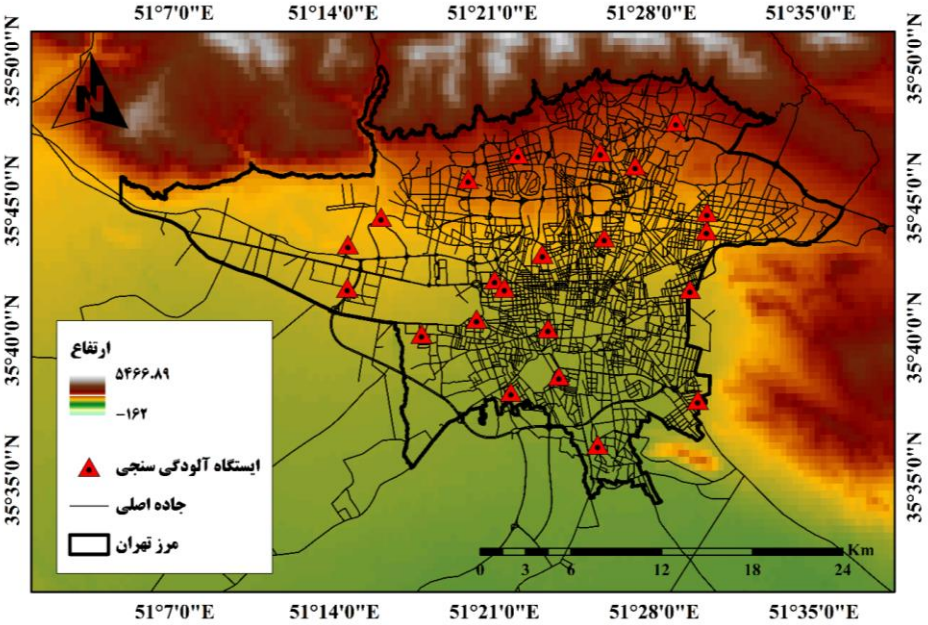
مثبت و معنی‌دار بین LST و پارامترهای آلودگی هوا وجود دارد (هاشم و سلطان[1]، ۲۰۱۰)، به‌گونه‌ای که با افزایش مقدار LST بر مقدار آلاینده‌ها افزوده می‌شود (ژنگ[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ آروین و همکاران، ۱۳۹٦). در مطالعات انجام شده مرتبط با شهر تهران، اغلب ارتباط شاخص‌هایی مانند LST و NDVI با آلودگی هوا بررسی شده است و ارتباط شاخص‌هایی مانند NDBI که با سطوح ساخته شده و راه‌های ارتباطی درون‌شهری مرتبط است و شاخص اینرسی حرارتی ظاهری با آلودگی هوا موردتوجه قرار نگرفته است. لذا هدف این مطالعه بررسی ارتباط شاخص‌های سنجش‌ازدوری (سطوح نفوذناپذیر[3] (NDBI))، دمای سطح زمین[4] (LST)، اینرسی حرارتی ظاهری[5] (ATI) و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی[6] (NDVI) استخراج شده از تصاویر سنجنده OLI و TIRS و MODIS) با پارامترهای آلاینده‌های هوا (NO_2، SO_2 و CO) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون است.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه ابتدا داده‌های ۲۳ ایستگاه آلودگی‌سنجی شهر تهران شامل NO_2، SO_2 و CO طی ماه‌های آوریل، آگوست و جولای سال ۲۰۱۷ از شرکت کنترل ترافیک وابسته به شهرداری تهران و سازمان محیط‌زیست اخذ گردید (http://air.tehran.ir). موقعیت ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی شهر تهران در شکل ۱ نمایش داده شده است.

1 Hashim& Sultan
2 Zheng
3 Normalized Difference Built-up Index
4 Land Surface Temperature
5 Apparent Thermal Inertia
6 Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی شهر تهران

همچنین برای استخراج شاخص‌های سنجش‌ازدوری (NDBI، LST، NDVI و ATI) و چند شاخص محاسبه شده از ترکیب سطوح نفوذناپذیر با LST و NDVI از تصاویر سنجنده‌های OLI/TIRS و MODIS استفاده شد. ویژگی داده‌های ماهواره‌ای مورداستفاده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- تعداد و زمان تصاویر مورداستفاده در مطالعه

سنجنده	تاریخ تصویربرداری	قدرت تفکیک مکانی	تعداد تصاویر
OLI/TIRS(Landsat8)	۲۰۱۷/۰٤/۲۰	۳۰ متر	۳ تصویر
	۲۰۱۷/۰۷/۲۵		
	۲۰۱۷/۰۸/۲٦		
MODIS (Terra, Aqua) (تصاویر ۸ روزه و ۱٦ روزه)	آوریل ۲۰۱۷	۲۵۰ متر	۸ تصویر ۱۰ روزه و ٤ تصویر ۱٦ روزه
	جولای ۲۰۱۷		
	آگوست ۲۰۱۷		

۲-۲- روش پژوهش

برای استخراج شاخص‌های سنجش‌ازدوری، ابتدا در نرم‌افزار ENVI تصحیحات هندسی و رادیومتریک انجام گرفت. سپس با محاسبه شاخص‌های مربوطه (LST، NDVI، ATI، NDBI)، نتایج در نرم‌افزار ArcMap تجزیه‌وتحلیل شدند. برای بررسی مقدار همبستگی از نرم‌افزار SPSS و روش پیرسون استفاده شد.

۲-۲-۱- محاسبه شاخص‌های سنجش‌ازدور

بازیابی دمای درخشندگی

دمای درخشندگی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطه ۱ به‌دست آمد:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda}+1\right)}$$

رابطه ۱)

T دمای درخشندگی در سطح سنجنده برحسب کلوین (K)، L_λ تابش طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده [W/ $(m^2$sr µm)]، K_2 ضریب کالیبراسیون برحسب کلوین (۷۷۷/۸۹ برای باند ۱۰ و ٤۸۰/۸۹ برای باند ۱۱)، K_1 ضریب کالیبراسیون بر حسب [W/(m^2 Sr µm)] (۱۳۲۱/۰۸ برای باند ۱۰ و ۱۲۰۱/۱٤ برای باند ۱۱) (هاشمی‌دره‌بادامی، ۱۳۹٤).

بازیابی توان تشعشعی سطح زمین (LSE) به روش آستانه NDVI

شاخص NDVI بر پایه ارتباط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون‌قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است (لئنی[1]، ۱۹۹٦) و از رابطه ۲ به‌دست آمد:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

رابطه ۲)

ρ_{NIR} بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک ρ_{RED} بازتاب باند قرمز است. شاخص NDVI به‌دست آمده از دو سنجنده به‌منظور تفکیک مکانی بهتر با هم ادغام شد (امیری[2] و همکاران، ۲۰۰۹). سپس در محیط ArcMap با استفاده از ابزار Raster calculator میانگین NDVI محاسبه و برای هر ایستگاه استخراج گردید.

برای محاسبه کسر پوشش گیاهی، تصاویر NDVI به‌صورت خطی بین خط خاک خشک ($NDVI_{min}$) و پوشش گیاهی متراکم ($NDVI_{max}$) از رابطه ۳ استفاده شد. این عملیات خطی می‌تواند خطای رخ‌داده در عملیات کالیبراسیون و تصحیح اتمسفری را کاهش دهد (امیری[3] و همکاران، ۲۰۰۹).

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right]^2$$

رابطه ۳)

1 Lenney
2 Amiri
3 Amiri

$NDVI_{min}$ مربوط به کمترین مقدار NDVI (خاک خشک) و $NDVI_{max}$ مربوط به بیشترین مقدار NDVI (پوشش گیاهی متراکم) است. با محاسبه FVC توان تشعشعی از رابطه ٤ محاسبه شد:

$$\varepsilon = a + b\rho_{red} \quad (FVC = 0) \qquad \xrightarrow{TIRS\,1} = 0.979 - 0.046 r_{OLI-B4}$$
$$\xrightarrow{TIRS\,2} = 0.982 - 0.027 r_{OLI-B4}$$
$$\varepsilon = \varepsilon_S (1 - FVC) + \varepsilon_V FVC \quad (0 < FVC < 1) \qquad \xrightarrow{TIRS\,1} = 0.971(1\text{-}FVC) + 0.987FVC$$
$$\xrightarrow{TIRS\,2} = 0.977(1\text{-}FVC) + 0.989FVC$$
$$\varepsilon = 0.99 \quad (FVC = 1)$$

رابطه ٤)

ρ_{red} بازتاب در باند قرمز سنجنده OLI (باند ٤)، a و b ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تشعشعی، ε_S توان تشعشعی خاک، ε_V توان تشعشعی پوشش گیاهی (هاشمی‌دره‌بادامی، ۱۳۹٤).

بازیابی دمای سطح زمین با روش پنجره مجزا (SW)

الگوریتم SW با استفاده از دو باند حرارتی معادله ارائه‌شده توسط سوبرینو و همکاران (۱۹۹۷) و اعمال‌شده بروی سنجنده‌های مختلف رصد زمین توسط سوبرینو و مونوز (۲۰۰۸) است.

$$T_S = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4 w)(1 - \varepsilon)(c_5 + c_6 w)\Delta\varepsilon$$

رابطه ٥)

T_i و T_j دمای درخشندگی در سطح سنجنده در باندهای مورداستفاده در الگوریتم، ε میانگین توان تشعشعی از دو باند ($\varepsilon = 0.5\,(T_i - T_j)$، $\Delta\varepsilon$ تفاضل توان تشعشعی دو باند ($\Delta\varepsilon = (T_i - T_j)$، W مقدار محتوای بخارآب اتمسفر (گرم بر سانتی‌متر مربع) و C_0 تا C_6 ضرایب SW که از داده‌های شبیه‌سازی‌شده تعیین می‌شود. این ضرایب در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر ضرایب مورداستفاده در الگوریتم

ضریب	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
ارزش	-۰/۲٦۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	٥٤/۳	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰	۱٦٤

بازیابی آلبدوی سطح

چندین الگوریتم توسط لیانگ (۲۰۰۵) مطرح شدند که به‌منظور استخراج آلبدو در سنجنده‌های پهن باند با استفاده از ترکیب باندهای مختلف با تطبیق باندهای متناظر OLI با باندهای سنجنده +ETM، از الگوریتم مورداستفاده برای بازیابی آلبدو از باندهای +ETM برای بازیابی آلبدوی سنجنده OLI توسط رابطه ٦ استفاده شد:

$$\alpha_{short} = 0.365\alpha_2 + 0.130\alpha_4 + 0.373\alpha_5 + 0.085\alpha_6 + 0.072\alpha_7 - 0.0018$$ رابطه ٦)

محاسبه اینرسی حرارتی

اینرسی حرارتی ظاهری (ATI) با استفاده از داده‌های LST در شب و روز و آلبدوی سطح زمین از رابطه ۷ محاسبه شد (پرایس[1]، ۱۹۸۵):

$$ATI = \frac{1 - Albedo}{T_s day - T_s night}$$ رابطه ۷)

در اینجا، ATI اینرسی حرارتی ظاهری، Tsday و Tsnight دمای سطح زمین در روز و شب است. محاسبه اینرسی حرارتی در بافر ۱۰۰۰ متر در شکل ۲ نشان داده شده است.

محاسبه شاخص سطوح نفوذناپذیر NDBI

NDBI به‌عنوان شاخصی برای شدت توسعه شهری و هم شاخصی برای سطوح نفوذناپذیر شهری مورداستفاده قرار می‌گیرد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). مقدار NDBI بین ۱+ تا ۱- است. مقدار مثبت برای پهنه‌های آبی و مناطق با تراکم بالای ساخت وساز، درحالی‌که مقدار منفی برای نمایش دیگر انواع پوشش زمین به کار برده می‌شود (ابراهیم و رسول، ۲۰۱۷):

$$NDBI = \frac{MIR_{um} - NIR_{um}}{MIR_{um} + NIR_{um}}$$ رابطه ۸)

که در اینجا NIR_{um} معرف باند طول‌موج کوتاه مادون‌قرمز و MIR_{um} معرف باند حرارتی است.

1 Price

۲-۲-۲- محاسبه میزان همبستگی

ضریب همبستگی پیرسون یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری است که به بررسی جهت و اندازه هم خطی بودن بین متغیر مستقل و وابسته می‌پردازد (کیم[1] و همکاران، ۲۰۱۵). برای محاسبه این ضریب از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- غلظت آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO و ارزیابی دقت داده‌ها

میانگین غلظت آلاینده‌ها در فصل بهار برای CO برابر ۲/۲٤ppm، برای NO2 برابر ٤٤/۹۲ ppb، برای SO_2 برابر ۷/۰۸ ppb است. در فصل تابستان میانگین غلظت CO برابر با ۲/٤۱ ppm، مقدار NO_2 برابر با ۵۰/۲۷ ppb، میانگین غلظت SO_2 برابر با ٦/۱۲ ppb است. با توجه به غلظت‌های به‌دست آمده بیشینه مقدار آلاینده‌های CO و NO_2 مربوط به فصل تابستان و بیشینه مقدار SO_2 مربوط به فصل بهار بوده است. نتایج توصیف پارامترهای آلودگی هوا در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- توصیف آماری پارامترهای آلودگی هوای مورداستفاده

فصل	آلاینده	حداکثر	حداقل	میانگین
بهار	CO	۵/۵	۰/٤	۲/۲٤
	NO_2	۹۷	۲/۵	٤٤/۹
	SO_2	۳٦	۱	۷/۰۸
تابستان	CO	٦/۱	۰/٦	۲/٤۱
	NO_2	۱۱۲	۷	۵۰/۲۷
	SO_2	۳۰	۱	٦/۱۲

برای ارزیابی دقیق برای بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین به‌دست آمده از سنجنده مادیس و دمای اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام مقدار RMSEدر دو فصل بهار و تابستان محاسبه شد. مقدار RMSE به دست آمده در هر دو فصل در جدول ٤ ارائه شده است. با توجه به جدول صحت داده‌های به‌دست آمده از سنجنده مادیس را می‌توان تأیید کرد.

1 Kim

جدول ٤- محاسبه مقدار RMSE بین داده‌های میانگین روزانه فرودگاه امام و LST

فصل	بهار	تابستان
RMSE	٥/٧٤	٣/٤٤

۳-۲- ارتباط شاخص‌های سنجش‌ازدور و آلاینده‌های هوا

با توجه به ضرایب به‌دست آمده از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های سنجش‌ازدور (LST، NDVI، ATI ، NDBI) و آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO (جدول ٥) مشخص شد که تمام آلاینده‌ها در هر دو فصل بهار و تابستان با شاخص NDVI رابطه منفی داشتند. این رابطه برای آلاینده SO_2 در فصل بهار قوی‌تر (٠/٣٦-) بود. LST با غلظت آلاینده‌ها ارتباط مثبت دارد. این ارتباط برای SO_2 در فصل بهار قوی‌تر (٠/٢٤) از سایر آلاینده‌ها بود. بین ATI و آلاینده‌ها نیز ارتباط مثبت مشاهده شد، یعنی کاهش و افزایش آلاینده‌ها با مقدار ATI در یک راستا است. همچنین مشخص شد که بیشینه مقدار همبستگی برای آلاینده CO در فصل تابستان (٠/٢٤) است. ارتباط بین NDBI و آلاینده‌ها در هر دو فصل مثبت و بیشترین مقدار برای آلاینده SO_2 در تابستان (٠/٢٧) بود.

جدول ٥- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین آلاینده‌ها و داده‌های سنجش‌ازدور

Index	CO		NO_2		SO_2	
	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان
LST	٠/١٣	٠/١١	٠/١٤	٠/١٢	٠/٢٤	٠/١٩
NDVI	-٠/٠٥	-٠/٠٤	-٠/٢٩	-٠/٠٩	-٠/٣٦	-٠/٢٩
ATI	٠/١٢	٠/٢٤	٠/١٥	٠/١٢	٠/١٤	٠/٠٦
NDBI	٠/٠١	٠/١٧	٠/٢	٠/٢٤	٠/٠٣	٠/٢٧

۳-۳- همبستگی پیرسون بین سه شاخص LST، NDVI و ATI با NDBI

نتایج مربوط به مقدار همبستگی پیرسون بین سه شاخصLST ، NDVI و ATI با NDBI در جدول ٦ نشان داده است. طبق نتایج، ارتباط منفی و قوی بین NDBI و NDVI در هر دو فصل تابستان (٠/٨٤-) و بهار (٠/٩١-) وجود دارد. این ارتباط بیانگر این موضوع است که هرچقدر سطوح غیرقابل نفوذ افزایش یابد، از مقدار NDVI به‌شدت کاسته می‌شود. ارتباط مثبتی بین NDBI و LST در هر دو فصل مشاهده شد و مقدار آن برای تابستان (٠/٢٢) بیشتر از بهار (٠/١٥) است، یعنی با افزایش مقدار سطوح غیرقابل نفوذ بر مقدار LST نیز افزوده شده و بیشترین مقدار در فصل تابستان (٠/٢٢) مشاهده شد. همبستگی NDBI و ATI نیز مثبت است و بیشینه آن در فصل تابستان (٠/٤٤)

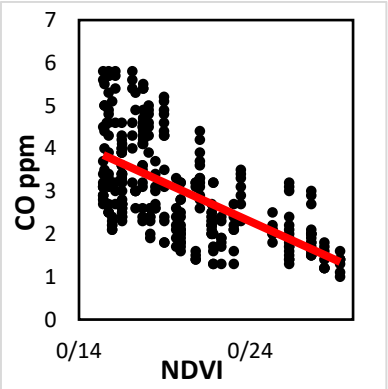
قرار دارد. ضریب همبستگی پیرسون برای سه شاخص LST، NDVI و ATI با NDBI در جدول ٦ نشان داده شده است.

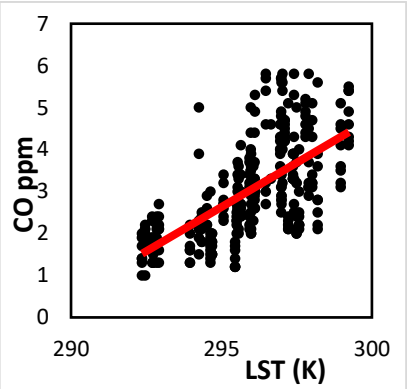
جدول ٦- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین سه شاخص LST، NDVI و ATI با NDBI

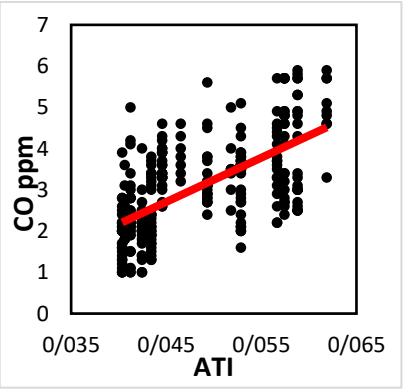
Index	LST		NDVI		ATI	
	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان
NDBI	۰/۱۵	۰/۲۲	−۰/۹۱	−۰/۸٤	۰/۲۷	۰/٤٤

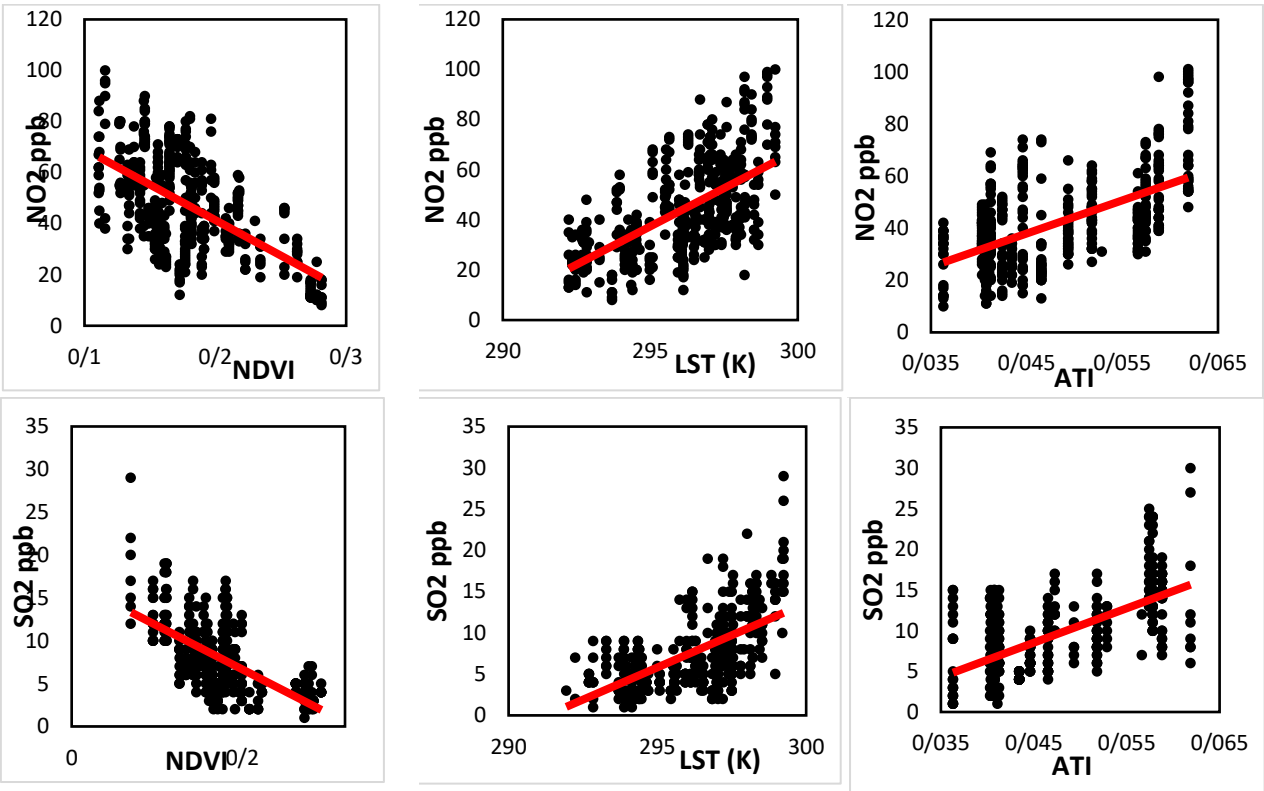
پراکندگی داده‌های مربوط به آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO در فصل بهار و تابستان نسبت به شاخص‌های سنجش‌ازدور (INERTIA، LST و NDVI) در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

بررسی نمودار پراکندگی ارتباط آلاینده‌های NO2، SO_2 و CO با شاخص‌های سنجش‌ازدوری در فصل بهار نشان می‌دهد که این ارتباط با شاخص پوشش گیاهی حالت معکوس و با شاخص‌های دمای سطح خاک و اینرسی حرارتی حالت مستقیم دارد. همچنین خروجی نقشه NDBI (شکل ٤) و آلاینده‌های CO، NO2 و SO2 در فصل تابستان و بهار در شکل ۵ نمایش داده شده است. براساس نقشه NDBI مناطق مرکزی، جاده‌های شهری، مناطق جنوبی و شرقی بیشترین تمرکز سطوح نفوذناپذیر وجود دارد. مقایسه پراکندگی فضایی آلاینده‌ها با شاخص NDBI تا حد زیادی تطابق بین مراکز و مناطق با سطوح نفوذناپذیر و غلظت‌های بالای آلودگی هوا را نشان می‌دهد.

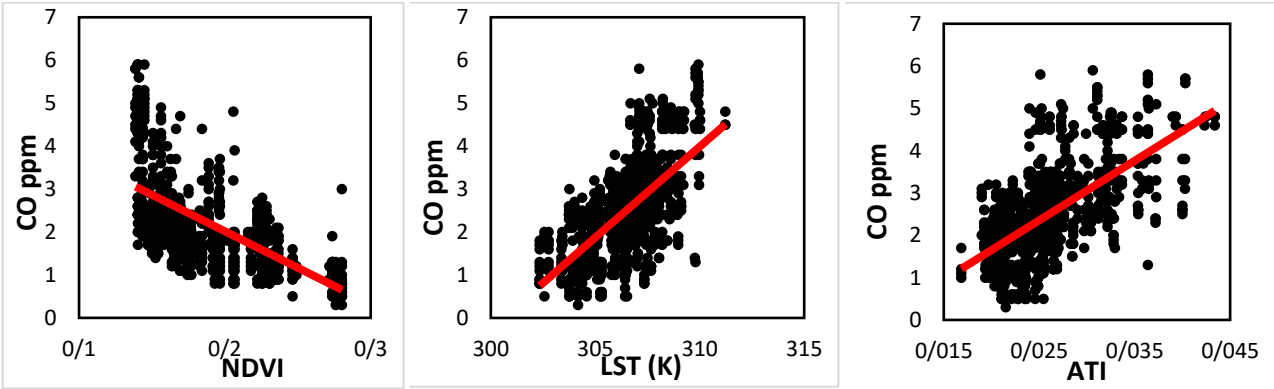


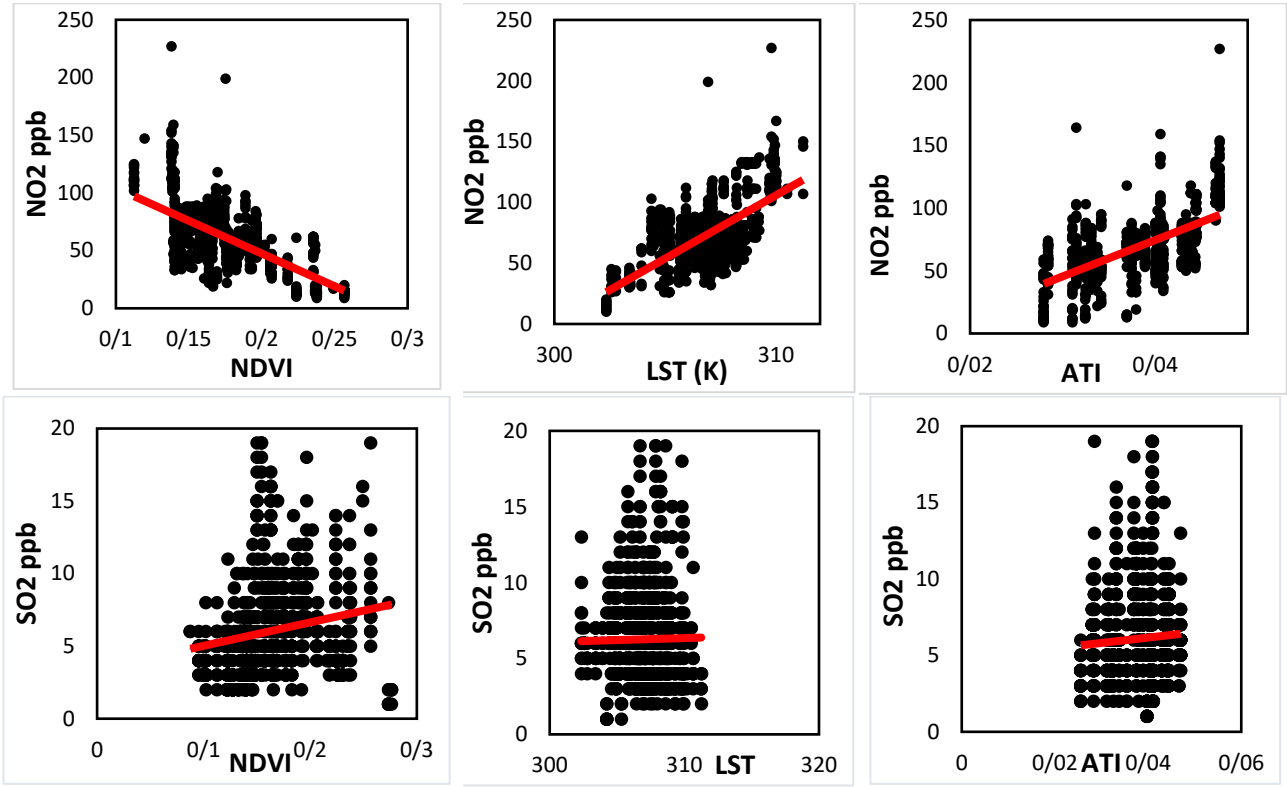




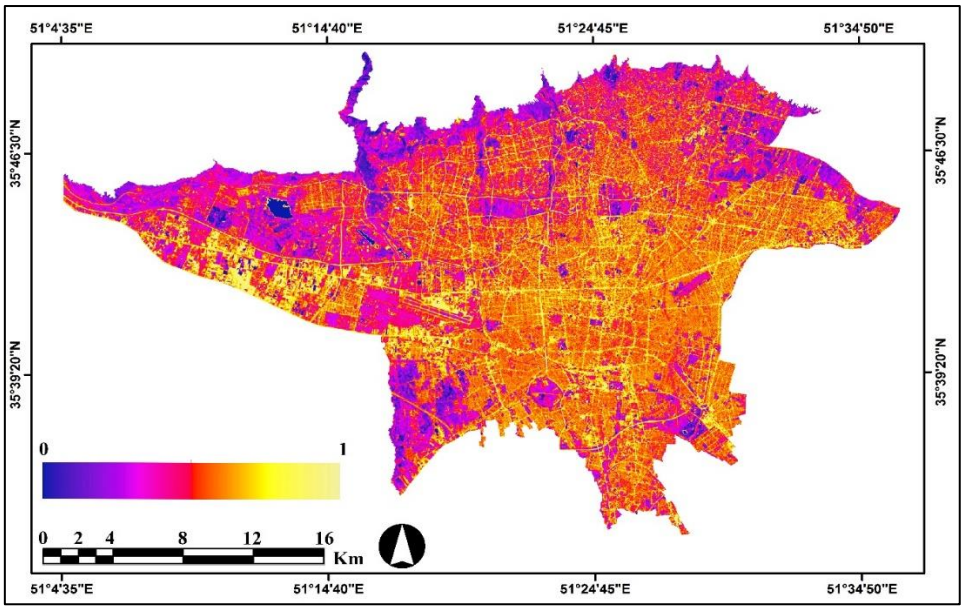


شکل ۲- پراکندگی داده‌های مربوط به آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO در فصل بهار نسبت به شاخص‌های سنجش‌ازدور (INERTIA، LST و NDVI)

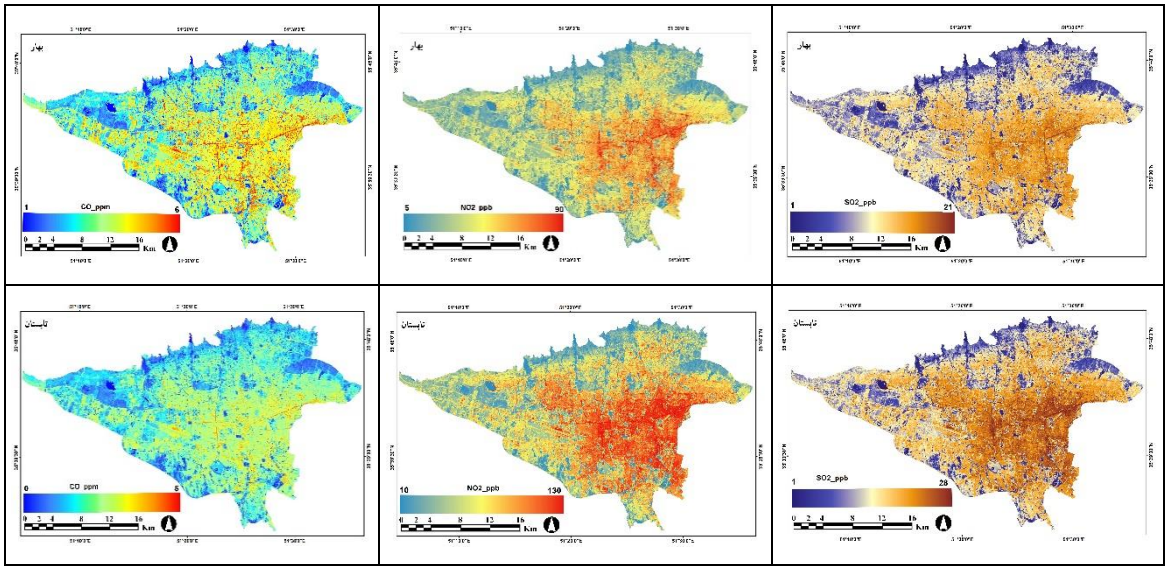




شکل ۳- پراکندگی داده‌های مربوط به آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO در فصل تابستان نسبت به شاخص‌های سنجش‌ازدور (INERTIA، LST و NDVI)



شکل ٤- مقدار شاخص NDBI در محدوده مطالعاتی



شکل ۵- پراکندگی آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO در تابستان و بهار در محدوده مطالعاتی

پراکندگی آلاینده‌های هوا در فصل تابستان و بهار (**شکل ۵**) نشان می‌دهد که مناطق شرقی و مرکزی شهر تهران که منطبق بر سطوح نفوذناپذیر یا ساخته شده است آلایندگی هوای بیشتری در این مناطق متمرکز است و در فصل تابستان هر سه آلاینده هوا میزان غلظت بیشتری در این مناطق دارد.

٤- بحث و جمع‌بندی

بر اساس نتایج به دست آمده بین سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین رابطه مستقیم وجود دارد (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۸). بااین‌حال میزان همبستگی در فصل تابستان بیشتر است. می‌توان گفت که با جایگزینی فضاهای سبز با سطوح نفوذناپذیر و افزایش دمای هوا، بیلان انرژی شهری و آلبدو دچار تغییر افزایشی می‌شود. میزان بازتاب و نگه داشت انرژی در راستای رنگ و جنس سطوح نفوذناپذیر قرار دارد که موجب افزایش دمای شهری نیز می‌گردد (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۸). با افزایش ساخت‌وساز، فضاهای سبز شهری و سرعت باد کاهش می‌یابد که این امر سبب افزایش دمای شهری و بالطبع تشکیل جزایر حرارتی و تمرکز آلاینده‌ها می‌شود. مطابق یافته‌های این تحقیق و سایر مطالعات انجام گرفته (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ هاشمی‌دره‌بادامی و همکاران، ۱۳۹۷) ارتباط بین سطوح نفوذناپذیر با دمای سطح و پوشش گیاهی، منفی است، به این معنی که فضاهای سبز دمای پایین‌تری نسبت به مناطق ساخته شده و پوشش آسفالت دارند. مطالعه گوا[1] و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که میزان دمای سطح زمین در مناطق ساخته شده (نفوذناپذیر) نسبت به مناطق با سطوح نفوذپذیر ۲ درجه سانتی گراد بیشتر

1 Guo

است. همچنین براساس نتایج مشخص شد بین NDBI و NDVI رابطه معکوس وجود دارد که این همبستگی در فصل بهار بیشتر است. همچنین بین سطوح نفوذناپذیر و اینرسی حرارتی ظاهری رابطه مستقیم در هر دو فصل بهار و تابستان (همبستگی بیشتر در تابستان) وجود دارد. با توجه به این که اینرسی حرارتی به دو عامل تغییرات آلبدو و دمای سطح زمین بستگی دارد، اجسامی که دارای اینرسی و آلبدو بالا هستند تغییرات دمایی قابل‌توجهی را نشان می‌دهند؛ بنابراین اینرسی حرارتی بسته به نوع پوشش زمین، می‌تواند متفاوت باشد که در نتیجه تغییرات در کاربری اراضی ناشی از افزایش شهرنشینی است و تأثیر مستقیمی بر تغییرات دمایی در یک محیط شهری مانند تهران دارد (چن[1] و همکاران، ۲۰۱۷). شهر تهران طی سال‌های اخیر شاهد تغییراتی در الگوی توزیعی دمایی بوده است. به‌گونه‌ای که با افزایش ساخت‌وساز در سطح شهر، مساحت پهنه‌های با دمای متوسط و بسیار خنک کاهش یافته و پهنه‌های با دمای بالا و بسیار گرم افزایش یافته است. در طی سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۰ بیش از نیمی از پوشش گیاهی نواحی غرب و جنوب غربی تهران تخریب شده است (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین افزایش تأسیسات شهری منجر به افزایش سطوح نفوذناپذیر و از بین رفتن سطوح نفوذپذیر مانند پوشش گیاهی می‌گردد. سطوح غیرقابل نفوذ مقادیر آلبدو زیاد و رطوبت کمی دارند. تبخیر و تعرق و سایه‌اندازی ساختمان‌ها میزان گرمایی که توسط نماها و سطوح سخت بازتاب می‌شود را افزایش می‌دهد (سانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی نتایج نشان می‌دهد که بین دمای سطح زمین و آلاینده SO_2 در فصل بهار همبستگی بیشتری نسبت به فصل تابستان و سایر آلاینده‌ها وجود دارد. همچنین در فصل بهار و تابستان بیشترین همبستگی بین پوشش گیاهی با آلاینده SO_2 مشاهده می‌شود که با نتیجه مطالعه وو[3] و همکاران (۲۰۲۲) منطبق است. برای اینرسی حرارتی ظاهری بیشترین همبستگی با CO در فصل تابستان مشاهده شد. افزایش غلظت آلاینده‌ها در تابستان به دلیل سیستم کم فشار حرارتی کویر مرکزی اتفاق می‌افتد. کاهش غلظت آلاینده‌ها در بهار می‌تواند به دلیل اعتدال هوا و کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی برای گرمایش و سرمایش هوا باشد (ملک حسینی و سلیمانی، ۱۳۹۷).

بررسی مقدار NDVI در شهر تهران نشان داد که هرچه پوشش گیاهی پراکنده‌تر باشد میزان دمای سطح زمین نیز بالاتر بوده و بالطبع بیشتر مستعد افزایش غلظت آلاینده‌ها هستند. این در حالی است که مناطق با پهنه‌های بزرگتر پوشش گیاهی با کاهش دما روبرو شده و از میزان غلظت آلاینده‌ها کاسته است که نتیجه مطالعات جی[4] و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیانگر این موضوع است. همچنین جاده‌های درون‌شهری و مسیرهای پر تردد مانند مراکز تجاری غلظت آلایندگی بالاتری نسبت به مناطق کم تردد دارند. تراکم ترافیک در این مناطق به دلیل استفاده از خودروهای شخصی و وسایل حمل و نقل عمومی باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌شود. مناطق صنعتی در قسمت‌های شرقی، جنوبی و

1 Chen
2 Song
3 Wu
4 Ge

مناطق پرجمعیت مرکزی شهر تهران سهم بیشتری در آلودگی هوای ناشی از ترافیک را به خود اختصاص می‌دهند؛ زیرا این قسمت‌ها به مناطق پست خشک با رطوبت و سرعت باد کمتر نزدیک‌تر است (جوانبخت و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین تمرکز عمده صنایع در غرب تهران و الگوی غالب بادهای غربی، آلاینده‌های هوا را به سمت مرکز و شرق تهران جابجا می‌کند. در این مناطق ساختمان‌های مرتفع هوای آلوده را در قسمت‌های مرکزی شهر به دام می‌اندازند (قطبی و همکاران، ۲۰۱٦). وجود سدهای کوهستانی شمال و شرق به‌عنوان مانعی برای خروج مواد زاید محسوب می‌شوند که توسط بادهای غربی به داخل فضای شهر آورده شده‌اند. در نتیجه باعث می‌شود که هوای نواحی مرکزی و شرقی آلوده‌تر باشند. افزایش فضای سبز در فصل بهار تا حدود زیادی شرایط مناسبی برای کاهش دما فراهم می‌کند، اما با افزایش دما، پایداری هوا و کاهش سرعت باد در فصل تابستان غلظت آلاینده‌ها (به ویژه NO_2 و CO) افزایش می‌یابد. آلودگی هوا تحت تأثیر عوامل زیادی مانند میزان انتشار از منابع آلودگی، موقعیت جغرافیایی و شرایط هواشناسی قرار دارد (کالیسا[1] و همکاران، ۲۰۱۸). عوامل هواشناسی نقش پررنگی در شکل‌گیری، تجمع و پراکندگی آلاینده‌های هوا ایفا می‌کند (سلیمان[2] و همکاران، ۲۰۲۱). برای مثال افزایش ساعات آفتابی موجب افزایش استفاده از انرژی، پراکندگی گازهای گلخانه‌ای و افزایش آلودگی هوا می‌شود (جوانبخت و همکاران، ۲۰۲۱) که در تابستان شهر تهران این حالت مشهود است. مطابق با نتایج مطالعات صورت گرفته در طی فصول گرم سال الگوی کم‌فشار پاکستان و ایران مرکزی در تراز ۸۵۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال باعث به وجود آمدن جوی ناپایدار و افزایش آلودگی هوا در قسمت شرقی تهران می‌گردد. با این وجود پرارتفاع عربستان عامل اصلی آلودگی هوای شهر تهران محسوب می‌شود که باعث پایداری و نزول هوا در این منطقه می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین مطالعه نشان می‌دهد که استقرار سامانه پرفشار بر روی زاگرس و نواحی جنوبی البرز، وجود زبانه کم فشار در نواحی جنوب شرق دریای خزر و وجود پرفشار دیگر در بخش‌های شمال–شرق کشور، کاهش لایه آمیختگی به حدود ۵۰ تا ۲۰۰ متر باعث تشدید آلودگی هوا در شهر تهران می‌شود. همچنین ایجاد نیروی گرادیان فشار باعث شکل‌گیری جریانات ضعیف جنوب و جنوب غربی سطح زمین می‌شود که با محدودیت در شدت و برد بادهای شبانه کوه به دشت و وجود کوه‌ها مانند سدی در مقابل این جریانات، باعث تشدید پایداری جو و انباشتگی آلاینده‌ها در یک لایه نازک سطحی بر روی شهر تهران می‌گردد (سعادت‌آبادی و قصابی، ۱۳۹۰). همه این عوامل سبب می‌شوند که مقدار آلاینده‌ها در تابستان در سطوح نفوذناپذیر که بیشتر در مناطق شرقی و مرکزی تهران متمرکز است، به اوج خود برسد.

1 Kalisa
2 Sulaymon

این مطالعه می‌تواند یک هشـــدار برای برنامه‌ریزان شـــهری و مدیران شـــهری باشـــد که اقداماتی در جهت حفظ فضـاهای سـبز و کنترل فضـاهای غیرقابل نفوذ انجام دهند تا محیط شـهری را به یک محیط سـالم با برقراری آسـایش حرارتی با افزایش فضاهای سبز و درختان همیشه سبز برای تمام گروه‌های سنی تبدیل کنند.

کتابنامه

اصغری‌سراسکانرود، صیاد؛ امامی، هادی؛ ۱۳۹۷. پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با اسـتفاده از تصـاویر سـنجنده OLI و +ETM (مطالعه موردی: شـهرسـتان اردبیل). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۱۹، شماره ۵۳، ۲۱۵-۱۹۵.

http://dx.doi.org/10.29252/jgs.19.53.195

آروین، عباســـعلی؛ ۱۳۹۷. بررســـی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شـــهر اصـــفهان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دوره ۷، شماره ۱، ۱۲۹-۱۱۵.

https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.64590

خسـروی، یونس؛ حیدری، محمدعلی؛ توکلی، آزاده؛ زمانی، عباسـعلی؛ ۱۳۹٦. تحلیل رابطه تغییرات زمانی دمای سـطح زمین و الگوی فضـایی تغییرات کاربری اراضـی (مطالعه موردی: شـهر زنجان). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۲۱، شماره ۳، ۱٤٤-۱۱۹. http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html

رفیعیان، مجتبی؛ شـــالی، محمد؛ ۱۳۹۱. تحلیل فضـــایی ســـطح توســـعه یافتگی شـــهر تهران به تفکیک مناطق شـــهری. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱٦، شماره ٤، صص ٤۷-۲٦.

http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-5052-fa.html

رنجبرســـعادت‌آبادی، عباس؛ قصـــابی، زهرا؛۱۳۹۰. مطالعه همدیدی الگوهای جوی حاکم بر روی تهران در روزهای با آلودگی بسیار شدید هوا. پژوهش‌های اقلیم شناسی، دوره دوم، شمار ۵ و ٦، ٥٦-۳۹.

https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/4007513900603.pdf

زبردسـت، اسـفندیار؛ ریاضـی، حسـین؛ ۱۳۹۳. شـاخص‌های محیط انسـان سـاخت و تأثیرات آن بر آلودگی هوا. *هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی*، دوره ۲، شماره ۱، ٦٦-٥٥.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286020.1394.20.1.5.6

ساسان‌پور، فرزانه؛ ضیائیان، پرویز؛ بهادری، مریم؛ ۱۳۹۲. بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران. *بین المللی انجمن جغرافیای ایران*، دوره ۱۱، شماره ۳۹، ۲۷۰-۲٥٦.

https://gisj.sbu.ac.ir/article_94232_fb3a7adefdf354c9f11d03655c231582.pdf

سـجادیان، ناهید؛ ۱۳۹٤. پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از حمل ونقل شهری کلانشهر تهران با بهره‌گیری از تلفیق GIS با مدل LUR و شبکه عصبی مصنوعی. *اطلاعات جغرافیایی*، دوره ۲٤، شماره ۹٥، ۱۲۰-۱۰۷.

http://ensani.ir/file/download/article/20160405114926-9987-215.pdf

شرعی‌پور، زهرا؛ مزرعه‌فراهانی، مجید؛ ۱۳۸٦. بررسی تغییرات اوزون کلی جو و نقش آلاینده SO_2 گشت سپهری (تروپوسفری) در تغییرات اوزون کلی اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۳، ۹۹-۱۱۳.

https://jesphys.ut.ac.ir/article_19311.html?lang=fa

شریفی‌سده، مریم؛ احمدی‌ندوشن، مژگان؛ ۱۳۹۷. کاربرد روش رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در مدل‌سازی فضایی آلاینده‌های هوا در شهر اصفهان. علوم *محیطی*، دوره ۱٦، شماره ۲، صص ۲۱٦-۲۰۳.

https://envs.sbu.ac.ir/article_97939_de56c3f37c9dea897a55631186b9350a.pdf

شفیعی، هادی؛ عبداللهی‌کاکرودی، عطاالله؛ کیاورزمقدم، مجید؛ ۱۳۹٦. ارزیابی روند حرارتی، پوشش گیاهی و اراضی ساخته شده کلان شهر تهران در سه دهه اخیر. *همایش ملی ژئوماتیک*، دوره ۱۰، شماره ٤، ۱۸-۱.

https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.sid.ir%2Ffa%2Fseminar%2FViewPaper.aspx%3FID%3D89954&type=0&id=20699643

صفرراد، طاهر؛ یوسفی، یداله؛ رضایی‌طالعی، عاطفه؛ ۱۳۹۸. واکاوی تغیرات سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین در قائم شهر. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲، شماره ٦۲، ۱۹۹-۱۸۳.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3374&sid=1&slc_lang=fa

کاوسی، امیر؛ سفیدکار، ریحانه؛ علوی‌مجد، حمید؛ رشیدی، یوسف؛ ایمان‌زاد، معصومه؛ نورمرادی، حشمت‌الله؛ ۱۳۹۲. تحلیل فضایی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از مدل‌های اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریگینگ نشانگر. *دانشگاه علوم پزشکی ایلام*، دوره ۲۱، شماره ۷، ۲۱٤-۲۰٦.

http://sjimu.medilam.ac.ir/article-1-1604-fa.html

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ کریمیان، ندا؛ ۱۳۹۹. بررسی الگوهای همدیدی آلودگی‌های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دوره ۹، شماره ۳، ۲۰-۱.

https://geoeh.um.ac.ir/article_34363.html

متکان، علی‌اکبر؛ پوراحمد، احمد؛ منصوریان، حسین؛ میرباقری، بابک؛ حسینی اصل، امین؛ ۱۳۸۸. سنجش کفیت مکان‌های شهری، با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره در GIS (مورد مطالعه : شهر تهران). *نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران*، دوره ۱، شماره ٤، صص ۲۰-۱.

https://gisj.sbu.ac.ir/article_94409_ba87d7a537546f4ae539cf143b05ed34.pdf

محمدی، اکبر؛ قرخلو، مهدی؛ زیاری، کرامت‌الله؛ پوراحمد، احمد؛ ۱۳۹۷. استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) برای پیش‌بینی آلاینده‌های NO2، CO و PM10 (مطالعهٔ موردی: شهر تهران). *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۵۰، شماره ۱، صص ۱-۱٦.

https://doi.org/10.22059/jhgr.2014.51225

محمودزاده، حسن؛ نقدبیشی، افسانه؛ مؤمنی، سحر؛ ۱۳۹۷. تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دوره ۷، شماره ۲۷، ۱۰۵-۱۱۹.

https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.68150

ملک حسینی، عباس؛ سلیمانی، فریبا؛ ۱۳۹۷. بررسی آلاینده‌های تاثیرگذار بر آلودگی هوای تهران و راهکارهای کنترل با توجه به شاخص کیفیت AQI. *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، دوره ۱۰، شماره ٤، ۷۳-٥٦.
https://geography.garmsar.iau.ir/article_544603.html

نورپور، علیرضا؛ فیض، سید محمدعلی؛ ۱۳۹۳. تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های گوگرد دی اکسید، نیتروژن دی اکسید و انواع ذرات معلق با استفاده از تکنیک‌های GIS در شهر تهران. *محیط‌شناسی*، دوره ٤۰، شماره ۳، ۷۲۳-۷۳۸.
https://doi.org/10.22059/jes.2014.52216

هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس؛ ۱۳۹٤. مدل‌سازی تغییرات سالانه جزیره حرارتی شهری و بررسی اثر آن بر میزان تغییرات آلودگی هوا (کلان شهر تهران). استاد راهنما علی درویشی بلورانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، گرایش مطالعات شهری و روستایی دانشگاه تهران: ۱٤۲ صفحه.
http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2745-fa.html

هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس؛ درویشی‌بلورانی، علی؛ علوی‌پناه، سید کاظم؛ ملکی، محمد؛ ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۱۹، شماره ٥۲، ۱۲۸-۱۱۳.
http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2745-fa.html

وحدت، امیرحسین؛ علی‌محمدی، عباس؛ ۱۳۹۹. بررسی تغییرپذیری ساعتی رابطهٔ بین پارامترهای کاربری اراضی و آلایندهٔ CO، با استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) در شهر تهران، *فصلنامه سنجش‌ازدور و GIS ایران*، سال ۱۲، شماره ۱، ۱۸-۱.
https://doi.org/10.52547/gisj.12.1.1

Amini, H., Taghavi-Shahri, S. M., Henderson, S. B., Naddafi, K., Nabizadeh, R., & Yunesian, M. 2014. Land use regression models to estimate the annual and seasonal spatial variability of sulfur dioxide and particulate matter in Tehran, Iran. Science of the Total Environment, 488, 343-353. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.106

Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K., 2009. Spatial–temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment* 113(12): 2606-2617. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.021

Atkinson, R. W., Carey, I. M., Kent, A. J., van Staa, T. P., Anderson, H. R., & Cook, D. G., 2013. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. *Epidemiology* 24(10): 44-53. https://doi.org/10.1097/ede.0b013e318276ccb8

Barnes, K. B., Morgan, J., & Roberge, M., 2001. Impervious surfaces and the quality of natural and built environments. Baltimore: *Department of Geography and Environmental Planning*, Towson University. www.ijesi.org/papers/Vol(4)5/E045027031.pdf

Buyadi, S. N. A., Mohd, W. M. N. W., & Misni, A., 2013. Impact of land use changes on the surface temperature distribution of area surrounding the National Botanic Garden, Shah Alam. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*101 (15):516-525. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.225

Chen, Y. C., Chiu, H. W., Su, Y. F., Wu, Y. C., & Cheng, K. S. 2017. Does urbanization increase diurnal land surface temperature variation? Evidence and implications. *Landscape and Urban Planning*, *157*, 247-258. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.014

Erqou, S., Clougherty, J. E., Olafiranye, O., Magnani, J. W., Aiyer, A., Tripathy, S., & Reis, S. E., 2018. Particulate matter air pollution and racial differences in cardiovascular disease risk. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* 38(4): 935-942. https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.117.310305

Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R., 2013. Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management* 56(9):1290-1315. http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2012.717888

Ge, X., Mauree, D., Castello, R., & Scartezzini, J. L. 2020. Spatio-temporal relationship between land cover and land surface temperature in urban areas: a case study in Geneva and Paris. *ISPRS* International *Journal of Geo-Information*, *9*(10), 593. https://doi.org/10.3390/ijgi9100593

Ghotbi, S., Sotoudeheian, S., & Arhami, M. 2016. Estimating urban ground-level PM_{10} using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model. *Atmospheric Environment*, *141*, 333-346. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.057

Gorsevski, V., Taha, H., Quattrochi, D., & Luvall, J., 1998. Air pollution prevention through urban heat island mitigation: An update on the Urban Heat Island Pilot Project. *Proceedings of the ACEEE Summer Study, Asilomar*, CA 9(10): 23-32. www.aceee.org/files/proceedings/1998/data/papers/0903.PDF

Guo, L., Liu, R., Men, C., Wang, Q., Miao, Y., & Zhang, Y. (2019). Quantifying and simulating landscape composition and pattern impacts on land surface temperature: A decadal study of the rapidly urbanizing city of Beijing, China. *Science of the Total Environment*, *654*, 430-440. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.108

Hashim Mohammed, B., & Abdullah Sultan, M., 2010. Using remote sensing data and GIS to evaluate air pollution and their relationship with land cover and land use in Baghdad City. *Iranian Journal of Earth Sciences* 2(1): 20-24. https://ijes.mashhad.iau.ir/article_522638_4213861c139f0d22ad68e0355e8dc29a.pdf

Hu, M., Wang, Y., Wang, S., Jiao, M., Huang, G., & Xia, B. 2021. Spatial-temporal heterogeneity of air pollution and its relationship with meteorological factors in the Pearl River Delta, China. Atmospheric Environment, 254, 118415. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118415

Ibrahim, F., & Rasul, G., 2017. Urban land use land cover changes and their effect on land surface temperature: Case study using Dohuk City in the Kurdistan Region of Iraq. *Climate* 5(1): 1-18. https://doi.org/10.3390/cli5010013

Javanbakht, M., Boloorani, A. D., Kiavarz, M., Samany, N. N., Zebardast, L., & Zangiabadi, M. 2021. Spatial-temporal analysis of urban environmental quality of Tehran, Iran. *Ecological Indicators*, *120*, 106901. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106901

Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A., 2008. Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE geoscience and remote sensing letters* 5(4): 806-809. http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2008.2001636

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J., 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11(10):1840-1843. https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032

Kalisa, E., Fadlallah, S., Amani, M., Nahayo, L., & Habiyaremye, G. 2018. Temperature and air pollution relationship during heatwaves in Birmingham, UK. Sustainable cities and society, 43, 111-120. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.033

Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, *74*, 136-143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005

Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., & Hamdi, H., 1996. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote Sensing of Environment* 56(1): 8-20. https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00152-2

Liang, S., 2005. Quantitative remote sensing of land surfaces (Vol. 30). John Wiley & Sons. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/047172372X

Mirzaei, P. A., 2015. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society* 19:200-206. https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001

Mozumder, C., Reddy, K. V., & Pratap, D., 2013. Air pollution modeling from remotely sensed data using regression techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 41(2): 269-277. http://dx.doi.org/10.1007/s12524-012-0235-2

Price, J. C., 1985. On the analysis of thermal infrared imagery: The limited utility of apparent thermal inertia. *Remote sensing of Environment* 18(1): 59-73. https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90038-0

Putrenko, V. V., & Pashynska, N. M. 2017. The Use of Remote Sensing Data for Modeling Air Quality in the Cities. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 57. https://doi:10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-57-2017

Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., & Becker, F., 1996. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing* 17(11): 2089-2114. http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948760

Sohrabinia, M., & Khorshiddoust, A. M. 2007. Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran. Habitat International, 31(2), 268-275. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2007.02.003

Song, J., Chen, W., Zhang, J., Huang, K., Hou, B., & Prishchepov, A. V. 2020. Effects of building density on land surface temperature in China: Spatial patterns and determinants. Landscape and Urban Planning, 198, 103794. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103794

Sulaymon, I. D., Zhang, Y., Hopke, P. K., Hu, J., Rupakheti, D., Xie, X., ... & She, Y. 2021. Influence of transboundary air pollution and meteorology on air quality in three major cities of Anhui Province, China. Journal of Cleaner Production, 329, 129641. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129641

Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J., & Moazen, S., 2014. A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 31: 21-36. https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.016

Vienneau, D., De Hoogh, K., Bechle, M. J., Beelen, R., Van Donkelaar, A., Martin, R. V., ... & Marshall, J. D. 2013. Western European land use regression incorporating satellite-and ground-based measurements of NO2 and PM10. Environmental science & technology, 47(23), 13555-13564. https://doi.org/10.1021/es403089q

Wu, C. D., Chen, Y. C., Pan, W. C., Zeng, Y. T., Chen, M. J., Guo, Y. L., & Lung, S. C. C. 2017. Land-use regression with long-term satellite-based greenness index and culture-specific sources to model PM2.5 spatial-temporal variability. Environmental pollution, 224, 148-157. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.074

Wu, H., Hong, S., Hu, M., Li, Y., & Yun, W. 2022. Assessment of the factors influencing sulfur dioxide emissions in Shandong, China. *Atmosphere*, *13*(1), 142. https://doi.org/10.3390/atmos13010142

Yuan, F., & Bauer, M. E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment* 106(3): 375-386. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003

Zheng, S., Zhou, X., Singh, R., Wu, Y., Ye, Y., & Wu, C., 2017. The spatiotemporal distribution of air pollutants and their relationship with land-use patterns in Hangzhou city, China. *Atmosphere* 8(6):1-18. https://doi.org/10.3390/atmos8060110

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.145-170 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.78332.1270 Open access

Investigating the Ecological Situation of Jiroft Region according to Land Use Change over a 30-year Period

Maryam Doustaky[a], Ardavan Kamali[b*], Mohsen Bagheri Bodaghabadi[c], Hossin Shirani[d]

[a] *PhD Candidate in Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran*
[b] *Associate Professor in of Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran*
[c] *Soil and Water Research Institute, Agricultural Extension and Education Organization (AREEO), Karaj, Iran*
[d] *Professor in Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran*

Received: 20 November 2022 ***Revised: 26 December 2022*** ***Accepted: 29 January 2023***

Abstract

This research was conducted with the aim of investigating the ecological assessment of Jiroft region under the influence of land use changes. For this purpose, from the satellite image in 1990 (Landsat 5-TM) and 2020 (Landsat 8-OLI) to extract land surface temperature with the help of single-band algorithm and land use map with the support vector machine (SVM) classification method. used. Next, to investigate the role of land cover in the creation of thermal islands, the contribution index (CI) and UTFVI index were used to evaluate the ecological situation. The results showed that in 2020, barren areas had the highest land-use change since 90 and decreased by 7,300 hectares, but man-made, agricultural, and irrigated land uses increased the most. The water area has increased with the construction of water dam in the region. The reduction of barren areas and the increase of water levels, agricultural use and gardens have improved the ecological situation compared to 1990, while the temperature of the earth's surface has increased by 11 degrees in 2020, which can be attributed to the increase in global warming. It can be said that although the ecological situation of the region is in a better state than in 1990, the presence of desert lands and rocky outcrops around Jiroft has caused the formation of thermal islands in Jiroft region.

Keywords: Ecological Index, Heat Islands, Land Cover, Land Use, Land Surface Temperature

*. Corresponding author: Ardavan Kamali E-mail: a.kamali@vru.ac.ir Tel: + 989121965474

How to cite this Article: Doustaky, M., Kamali, A., Bagheri Bodaghabadi, M., & Shirani, H. (2023). Investigating the ecological situation of Jiroft region according to land use change over a 30-year period. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 145-170.
DOI: 10.22067/geoeh.2023.78332.1270

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.78332.1270

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۱۷۰-۱۴۵

مقاله پژوهشی

بررسی وضعیت بوم‌شناختی منطقه جیرفت با توجه به تغییر کاربری اراضی طی دوره ۳۰ ساله

مریم دوستکی- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، کرمان، ایران.
اردوان کمالی[1]- دانشیار علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، کرمان، ایران.
محسن باقری بداغ‌آبادی- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران.
حسین شیرانی- استاد علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۱/۹

چکیده

این پژوهش باهدف بررسی وضعیت اکولوژیکی منطقه جیرفت تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی انجام شده است. بدین منظور از تصویر ماهواره‌ای در سال ۱۹۹۰ (سنجنده TM از لندست ۵) و سال ۲۰۲۰ (سنجنده OLI از لندست ۸) برای استخراج دمای سطح زمین با کمک الگوریتم تک باندی و نقشه کاربری اراضی با روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان[2] (SVM) استفاده شد. در ادامه به‌منظور بررسی نقش پوشش اراضی در ایجاد جزایر حرارتی از شاخص سهم[3] (CI) و برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی از شاخص UTFVI[4] استفاده شد. نتایج نشان داد در سال ۲۰۲۰ مناطق بایر بیشترین تغییر کاربری را نسبت به سال ۱۹۹۰ داشتند (کاهش ۷۳۰۰ هکتار) و مناطق ساخت انسان، پهنه کشاورزی و سطوح آبی افزایش داشته‌اند. همچنین بر اساس نتایج شاخص سهم کاربری اراضی مناطق بایر و رخنمون سنگی بیشترین و

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۹۶۵۴۷۴ Email: a.kamali@vru.ac.ir

2 Support vector machine
3 Contribution Index
4 Urban Thermal Field Variance Index

نحوه ارجاع به این مقاله:

دوستکی، مریم؛ کمالی، اردوان؛ باقری بداغ آبادی، محسن؛ شیرانی، حسین؛ ۱۴۰۲. بررسی وضعیت بوم‌شناختی منطقه جیرفت با توجه به تغییر کاربری اراضی طی دوره ۳۰ ساله. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۳). صص ۱۷۰-۱۴۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.78332.1270

سطوح آبی و مرتع کمترین سهم را در تشکیل جزایر حرارتی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ داشته‌اند. کاهش مناطق بایر و افزایش سطوح آبی، کاربری کشاورزی و باغات باعث بهتر شدن وضعیت اکولوژیکی نسبت به سال ۱۹۹۰ شده است؛ درحالی‌که دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۰ به میزان ۱۱ درجه افزایش داشته است. با توجه به نتایج می‌توان گفت بااینکه وضعیت اکولوژیک منطقه در وضعیت مناسب‌تری نسبت به سال ۱۹۹۰ قرار دارد؛ اما وجود اراضی بیابانی و رخنمون‌های سنگی اطراف جیرفت باعث تشکیل جزایر حرارتی در منطقه جیرفت شده است.

کلیدواژه‌ها: پوشش زمین، جزایر حرارتی، دمای سطح زمین، شاخص اکولوژیک، کاربری اراضی.

۱- مقدمه

دمای سطح زمین به انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت بستگی دارد (شعبانی و همکارن، ۱۳۹۸). جزایر حرارتی به پدیده‌ای گفته می‌شود که دمای سطح زمین یا هوا در ناحیه‌ای بالاتر از سایر نواحی باشد (مختاری و همکاران، ۱٤۰۰). درنتیجه آگاهی از وضعیت دمای سطح زمین و جزایر حرارتی برای ارزیابی تغییرات اقلیم و فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین، بسیار مؤثر است (کریمی‌فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹٦). درباره علت تشکیل جزایر حرارتی و ناهمگنی مکانی آن در شهرها مطالعات زیادی صورت گرفته است؛ اما در همه این پژوهش‌ها بیان شده است که دمای سطح زمین و تشکیل جزایر حرارتی به‌شدت تحت تأثیر تغییرات پوشش زمین است. کریمی فیروزجایی[1] و همکاران (۲۰۱۸) رابطه بین تغییر کاربری اراضی و دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی را در شهرستان بابل در سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ بررسی کردند آن‌ها دریافتند که میانگین دمای سطح و جزایر حرارتی در تمامی کاربری‌ها در طول دوره موردمطالعه افزایش پیداکرده است. همچنین بیان کردند که شدت جزایر حرارتی با افزایش ساخت‌وساز افزایش‌یافته است. در همین راستا ساسانپور و همکاران (۱۳۹۲) دریافتند که ارتباط مستقیم بین وجود جزایر حرارتی و افزایش ساخت‌وساز و توسعه مناطق بایر و رابطه معکوس میان شاخص پوشش گیاهی با دما و جزایر حرارتی وجود دارد. مختاری و همکاران (۱٤۰۰) نشان دادند که اراضی بایر بیشترین نقش در تشکیل جزایر حرارتی و اراضی ساخت انسان و کاربری باغات، فضای سبز و کشاورزی کمترین سهم در تشکیل جزایر حرارتی داشته‌اند. داده‌های دمای ثبت شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک فاقد قدرت تفکیک مکانی مناسب می‌باشند؛ ازاین‌رو در سال‌های اخیر از تکنیک‌های سنجش‌ازدور برای مطالعه پدیده‌های مختلف در سطح وسیع استفاده می‌شود (بابایی‌فینی ، ۱۳۹٤). با کمک رویکرد فناوری سنجش‌ازدور می‌توان دمای سطح زمین را با استفاده از تشعشع فروسرخ حرارتی و کاربرد مدل‌های فیزیکی، با دقت بالایی محاسبه کرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹٤؛ انصاری و

1 Karimi Firozjaei et al

نوروزی، ۱٤۰۰). آل فیصل[1] و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر دمای سطح زمین و کاربری اراضی بر جزایر حرارتی در شهر داکا بنگلادش بررسی کردند آن‌ها از تصاویر لندست برای ارزیابی دمای سطح زمین و کاربری استفاده کردند نتایج ایشان نشان داد که طی ۲۰سال با کاهش گوشش گیاهی دمای سطح زمین در تابستان و زمستان افزایش قابل‌توجهی داشته و از نظر اکولوژیکی ۷۲ درصد منطقه در وضعیت بدی قرار داشتند. آل‌کیف و هودانیم[2] (۲۰۲۱) به بررسی شاخص ارزیابی اکولوژیکی و رابطه بین دمای سطح زمین و کاربری اراضی پرداختند نتایج ایشان نشان داد که با کاهش پوشش گیاهی، سطوح آب دمای سطح زمین ۱۰ درجه افزایش داشته است. همچنین آن‌ها دریافتند که در سال ۱۹۸۸ فقط یک درصد منطقه تحت شرایط بد اکولوژیکی قرار داشته است اما در سال ۲۰۱۸ تقریباً ۲۷ درصد در وضعیت بد اکولوژیکی قرار دارند.

با توجه به منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی خاص، شهرستان جیرفت به‌عنوان قطب بسیاری از محصولات کشاورزی ازجمله خرما، مرکبات، سیب‌زمینی، پیاز و ... در جنوب استان کرمان تبدیل شده است. شمس‌الدینی و مزیدی (۱۳۹٤) اثر تغییر اقلیم بر خرمای در شهرستان جیرفت بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند آتی تغییرات دمای شهرستان جیرفت بر اثر پدیده گرمایش جهانی و افزایش متوسط تعداد روزهای با دمای بالاتر از ٤٥ درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۵ سال؛ موجب کاهش عملکرد محصول خرما و احتمالاً شدت یافتن برخی امراض مانند خشکیدگی خوشه نخل خواهد شد. طی پژوهش دیگری که محققان اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و زیست‌محیطی را در شهرستان جیرفت بررسی کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که بر اثر تغییرات اقلیمی امنیت غذایی و زیست‌محیطی این منطقه به خطر افتاده است (کاویانی‌راد و همکاران، ۱۳۹۸). ازاین‌رو این مطالعه با هدف بررسی وضعیت اکولوژیک و جزایر حرارتی بر اساس تغییرات کاربری در این منطقه موردمطالعه قرار گرفت. برای این منظور پژوهش کنونی به این موضوع در طی سال‌های ۱۹۹۰– ۲۰۲۰ خواهد پرداخت.

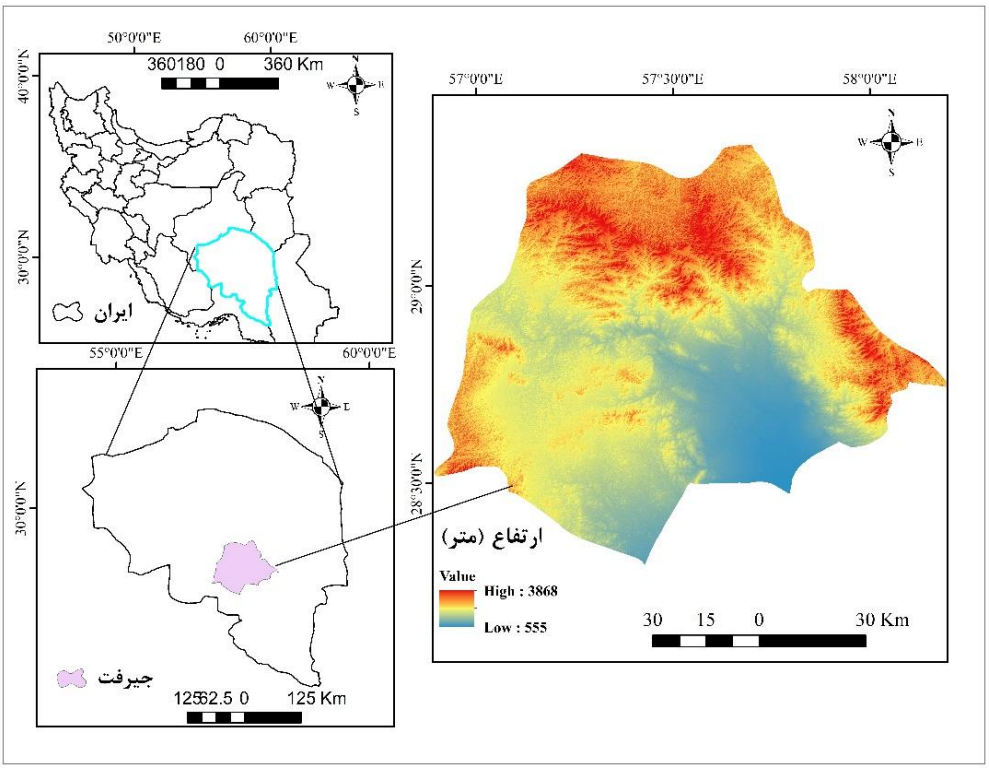
۲- مواد و روش

۲-۱-منطقه موردمطالعه

شهرستان جیرفت در جنوب استان کرمان است با مساحت ۱۳۷۹۸/٦۱۹ کیلومترمربع، بین عرض‌های جغرافیایی "٦ '١٤ ° ۲۸ شمالی تا " ۱۰ '٤٧ ° ۲۸ و طول‌های جغرافیایی"۲۷ '۲۷ ° ۵۷ شرقی تا "۸ '۵۸ ° ۵۷ و در ارتفاع ٦۹۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم این شهرستان بر اساس روش دومارتن، بیابانی نیمه‌خشک با میانگین بارش سالانه ۱٤۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۲۵ سلسیوس است. شهرستان جیرفت دارای کاربری‌های کشاورزی، بایر، رخنمون سنگی، مرتع، مسیل و مناطق ساخت انسان است. همچنین دارای سه اقلیم متفاوت جغرافیای؛ سرد

1 Al- Faisal et al
2 Al Kafy and Huda Naim

کوهستانی منطقه ساردوئیه، معتدل کوهستانی منطقه دلفارد و جبالبارز و گرم مرطوب نواحی دشت جیرفت است (عادلی‌ساردوئی و همکاران، ۱۳۹۹). شهرستان به دلیل وجود نور کافی و درجه حرارت مناسب، خاک حاصلخیز و آب تا اندازه‌ای مناسب و کافی تاکنون بیش از هفتاد درصد تولید کل محصول کشاورزی استان را به خود اختصاص داده است (سرحدی و شریف، ۱۳۹۹). به دلیل تنوع اقلیمی خاص این منطقه، محصولات مختلفی ازجمله مرکبات، خرما و محصولات جالیزی کشت می‌شود (سودایی‌زاده و جمالی، ۱۳۹۹). موقعیت این شهرستان در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

۲-۲- داده‌های ورودی

اطلاعات مورداستفاده در پژوهش حاضر داده‌های ماهواره‌ای مربوط به تصاویر لندست ۵ و ۸ برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ است که پژوهشگران زیادی از این تصاویر برای بررسی دمای سطح زمین و کاربری اراضی استفاده کرده‌اند (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸؛ منصور[1] و همکاران، ۲۰۲۰؛ آل فیسل و همکاران، ۲۰۲۱) و از سایت سازمان

1 Mansour et al

زمین‌شناسی آمریکا[1] (USGS) دریافت شدند. مشخصات این تصاویر در جدول ۱ آورده شده است. در ادامه از تمام باندهای تصاویر لندست ۵ و ۸ به جز باندهای حرارتی و پانکروماتیک برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و باند حرارتی برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده شده است.

جدول ۱ – مشخصات تصاویر مورداستفاده در کاربری اراضی حوزه جیرفت

سال	ماهواره	سنجنده	ردیف/ گذر	تاریخ
۱۹۹۰	لندست ۵	TM	۱٦٤/۳۵	۱۹۹۰/۰۵/۲۵
۲۰۲۰	لندست ۸	OLI	۱٦٤/۳۵	۲۰۲۰/۰٦/۱۲

۲-۳- طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی /پوشش اراضی[2] (LULC)

برای طبقه‌بندی LULC، بر روی تصاویر تصحیحات هندسی و اتمسفری و رادیومتریک در محیط نرم‌افزار Envi 5.3، انجام شد و سپس با استفاده از ترکیب باندی مرئی و مادون‌قرمز برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد.

۲-٤- تصحیحات تصاویر

ازآنجایی‌که تصاویر سنجش‌ازدور به‌طور خودکار زمین مرجع می‌شوند از انجام تصحیح هندسی خودداری شد. تصاویر دریافت شده از ماهواره‌ها دارای تعداد زیاد پیکسل هستند که هر پیکسل بازتاب نوری است که از عارضه‌های متفاوت سطح زمین دریافت شده است که این بازتاب‌ها دارای مقادیر رقومی[3] DN می‌باشند (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). کمترین DN در بین اجسام مختلف مربوط به آب است. برای انجام تصحیحات اتمسفری در ابتدا کمترین DN در هر یک از باندها انتخاب شد و سپس اختلاف حد پایین کمترین DNها با صفر مشخص و در قسمت محاسبات نقشه‌ای این اختلاف از تمام اعداد رقومی باندها کسر شد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۹؛ طالبی‌خیاوی[4] و همکاران،۲۰۲۱). تصحیحات رادیومتریک نیز از طریق دو رابطه ۱ و ۲ محاسبه شد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۵):

$$L\gamma = \frac{(lmax-lmin)}{(QCAlmax-QCAlmin)} * (DN - QCAlmin) + lmin$$ رابطه ۱

$$\rho_\gamma = \frac{\pi . l_\gamma . d^2}{ESUN_\gamma . cos\theta_s}$$ رابطه ۲

در این رابطه $L\gamma$، رایانس طیفی پیکسل مورد نظر برحسب (Wm-2 sr-1 µm-1)؛ DN عدد رقومی هر پیکسل، $lmin$ $lmax$ پیوستگی کالیبراسیون یا به عبارتی مقادیر حداقل و حداکثر رایانس باند حرارتی سنجنده است.

1 The United States Geological Survey
2 Land use/Land cover
3 Digital Number
4 Talebi Khiavi et al

$QCAlmax$ و $QCAlmin$ بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد رقومی است، d فاصله نجومی زمین تا خورشید، $ESUN_\gamma$ میانگین تابش خورشید فرا اتمسفری، زاویه تابش خورشید است که این مقادیر برای سنجنده‌های استفاده شده از فایل تصویر به دست آمدند(جدول ۲). در واقع در مرحله اول مقادیر DN سلول‌های تصویر به رادیانس طیفی تبدیل و در مرحله دوم رادیانس طیفی سنجنده به بازتاب زمینی تبدیل می‌شود درنهایت نقشه خروجی حاصل از پیش‌پردازش رادیومتریک به‌صورت صفر تا یک طبقه‌بندی خواهد شد (زارع و همکاران، ۱۳۹۶؛ درویشی و همکاران ۱۳۹۸؛ عبدالعلی‌زاده[1] و همکاران ۲۰۲۰). تصاویر در ۵ گروه کاربری اراضی شامل اراضی کشاورزی و باغ، مناطق بایر، مرتع، مسیل، رخنمون سنگی، مناطق انسان‌ساخت و پهنه‌های آبی با روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) طبقه‌بندی شدند. روش طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبان یک روش آماری غیرپارامتریک نظارت شده است (پاو[2]، ۱۹۸۹). در این روش با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به‌دست می‌آیند و با استفاده از آن‌ها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود که این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان می‌گویند (عبدالی‌لاکتاسرایی و حقیقی‌خمایی، ۱۳۹۹). برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری دو کلاس کاملاً جدا از هم از روش حاشیه بهینه استفاده می‌شود. در واقع تمام نمونه‌های کلاس اول در یک طرف و تمام نمونه‌های کلاس دوم در طرف دیگر مرز واقع می‌شوند و مرز تصمیم‌گیری به‌گونه‌ای است که فاصله نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی هر دو کلاس از هم در راستای عمودی بر مرز تصمیم‌گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود (آرخی و ادیب‌نژاد، ۱۳۹۰). برای ارزیابی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده LULC از ۱۵۰ نقطه کنترلی از گوگل ارث[3] استفاده شد.

۲-۵- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

صحت طبقه‌بندی از طریق صحت کلی[4] (OA) و ضریب کاپا[5] (KC) به ترتیب از رابطه ۳ و ٤ تعیین شدند (Alavipanah, 2003; Congalton and Green, 2009).

$$OA = \frac{1}{N}\sum p_{ii}$$ رابطه ۳

$$KC = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c}$$ رابطه ٤

1 Abdolalizadeh et al
2 Pao
3 Google Earth
4 Overall accuracy (OA)
5 Kappa Coefficient (KC)

که OA، صحت کلی؛ N، تعداد پیکسل‌های آزمایشی؛ $\sum p_{ii}$، جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا؛ p_0، درستی مشاهده؛ p_c، توافق مورد انتظار می‌باشند.

۲-۶- تخمین تغییرات LULC

اغلب روش‌های آشکارسازی تغییرات به مقایسه یک داده (تصویر) با داده دیگر در دو تاریخ متفاوت می‌پردازد. در وضعیتی که داده‌های بیشتری در دو تاریخ داشته باشد، امکان مقایسه چندبعدی این داده‌ها در فضا با یکدیگر وجود دارد. این روش مقایسه را آشکارسازی تغییرات[1] گویند (کلاپام[2]، ۲۰۰۵). تبدیل مختلف طبقات کاربری اراضی و تغییرات آن طی این سال‌ها در نرم‌افزار ایدریسی[3] موردبررسی قرار گرفت.

۲-۷- بازیابی دمای سطح زمین

برای استخراج دمای سطح و تبدیل آن به درجه سلسیوس، طی چند مرحله انجام شد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲-۷-۱- تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه

داده‌های بلند حرارتی با استفاده از رابطه پلانک (رابطه ۵) از تابش طیفی به دمای جسم سیاه با فرض توان تشعشعی یک در آن تبدیل می‌شوند.

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L\gamma}+1\right)}$$ رابطه ۵

که BT، دمای روشنایی سنجنده برحسب کلوین؛ Lγ، رادیانس طیفی برحسب (Wm-2 sr-1 µm-1)؛ k_1 و k_2 به ترتیب ثابت کالیبراسیون اول و دوم برای سنجنده‌های استفاده‌شده، می‌باشند که مقادیر آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است (والاوندر[4] و همکاران، ۲۰۱۴).

جدول ۲- مقدار ثابت کالیبراسیون اول و دوم در سنجنده‌ها

سنجنده	K1	K2
TM	۷۶/۶۰۷	۵۶/۱۲۶۰
OLI	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹

1 Change detection
2 Clapham
3 Idrisi
4 Walawender et al

۲- ۷- ۲- محاسبه گسیل‌مندی سطح

نسبت بین گسیلش از یک شیء به گسیلش از جسمی سیاه در دمای ثابت را گسیل‌مندی یا ضریب نشر (ε) گویند (آل‌کیف و هودانعیم[1]، ۲۰۲۲؛ رحمان و همکاران[2]، ۲۰۲۲). یکی از روش‌های مؤثر برای تخمین دمای سطح که می‌تواند استفاده شود، مدل ترکیبی درصد پوشش زمین است، با این فرض که خاک و پوشش گیاهی مقدار گسیل‌مندی را معلوم دارند و با توجه به درصد پوشش خود ترکیب می‌شوند. رابطه بین پوشش گیاهی و گسیل‌مندی (سوبرینو[3]، ۲۰۰۸) در جدول ۳ نشان داده‌شده است همچنین پوشش گیاهی[4] و نسبت پوشش گیاهی به ترتیب از رابطه ٦ و ۷ محاسبه شدند (رز و همکاران[5]، ۱۹۷۳) محدوده کلاس‌بندی شاخص NDVI در جدول ٤ آورده شده است (علی اکبر و همکاران[6]، ۲۰۱۹).

رابطه ٦
$$NDVI=(NIR - RED) / (NIR + RED)$$

رابطه ۷
$$P_v = \left(\frac{NDVI-NDNImin}{NDNImax-NDNImin}\right)^2$$

که NDVI، پوشش گیاهی؛ RED، باند قرمز؛ NIR، باند مادون‌قرمز، P_v، نسبت پوشش گیاهی؛ $NDNImax$ و $NDNImin$ به ترتیب حداکثر و حداقل NDVI است.

جدول ۳- رابطه بین NDVI و گسیل‌مندی از سطح زمین

NDVI<0.2	**خاک لخت**	ε_{soil} = ۰/۹۷
NDVI>0.5	پوشش گیاهی زیاد	ε_{veg} = ۰/۹۹
0.2<NDVI>0.5	مخلوط خاک و پوشش گیاهی	$\epsilon = \varepsilon_{veg} * P_v + \varepsilon_{soil}(1 - P_v)$

1 Al Kafy and Huda Naim
2 Rehman et al
3 Sobrino
4 Normalized difference vegetation index (NDVI)
5 Rouse et al
6 Ali Akbar et al

جدول ٤- محدوده شاخص NDVI

محدوده شاخص NDVI	نوع پوشش
۰/۰۱۵>	آب
۰/۰۱۵ – ۰/۱٤	مناطق ساختمانی
۰/۱٤ – ۰/۱۸	مناطق بایر
۰/۱۸ – ۰/۲۷	چمنزار
۰/۲۷ – ۰/۳٦	پوشش گیاهی خوب
۰/۳٦<	پوشش گیاهی انبوه

۲- ۷- ۳- برآورد دمای سطح زمین

دمای سطح زمین و تبدیل درجه کلوین به درجه سلسیوس به ترتیب از رابطه ۸ و ۹ به دست آمد (آرتیست و همکاران[1]، ۱۹۸۲):

$$LST = \frac{T}{1+(\gamma * T/p) ln\varepsilon}$$ رابطه ۸

$$T\,(^{\circ}C) = LST - 273/15$$ رابطه ۹

که γ، طول‌موج رادیانس ساطع‌شده؛ P برابر با ۱٤۳۸۰ است. جهت بررسی روند تغییرات LST در دوره زمانی موردمطالعه، مقادیر این پارامتر مطابق جدول ۵ طبقه‌بندی و مساحت هر کلاس محاسبه شد. جزایر حرارتی با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه شد (گوان و همکاران[2]، ۲۰۱۱؛ آلفراهت[3] و همکاران، ۲۰۱٦).

$$LST > \mu + 0.5std$$ رابطه ۱۰

که در این فرمول μ و std به ترتیب میانگین و انحراف معیار می‌باشد.

1 Artis et al
2 Guha et al
3 Alfraihat et al

جدول ۵- نحوه طبقه‌بندی نقشه LST

LST	Class range
خیلی سرد	$LST \leq LST\ mean - 1.5LST_{STD}$
سرد	$LST\ mean - 1.5LST_{STD} < LST \leq LST\ mean - LST_{STD}$
متوسط	$LST\ mean - LST_{STD} < LST \leq LST\ mean + LST_{STD}$
گرم	$LST\ mean + LST_{STD} < LST \leq LST\ mean + 1.5LST_{STD}$
خیلی گرم	$LST > LST\ mean + 1.5LST_{STD}$

۲- ۸- محاسبه شاخص سهم پوشش اراضی مختلف در تشکیل جزایر حرارتی

برای کمی کردن نقش هر یک از انواع کاربری اراضی و اثر آن‌ها در تشکیل جزایر حرارتی از شاخص سهم (CI) استفاده می‌شود که از رابطه ۱۱ به‌دست می‌آید (ژو و همکاران[1]، ۲۰۱۸).

$$CI = \frac{S_{ih}/S_i}{S_h/S}$$ رابطه ۱۱

S_i مساحت طبقه نوع i نقشه کاربری اراضی، S_{ih} مجموع مساحت مناطق با دمای سطح بالا و بسیار بالا (جدول ۵) طبقه i، S مجموع مساحت موردمطالعه، S_h مجموع مساحت مناطق با دمای بالا و بسیار بالا در کل منطقه است. درصورتی‌که CI بزرگ‌تر از یک باشد، کاربری اراضی سهم زیادی در تشکیل جزیره حرارتی دارد.

۲- ۹- شاخص پراکندگی عرصه حرارتی شهر یا ارزیابی اکولوژیکی UTFVI

شاخص UTFVI برای توصیف جزایر حرارتی و ارزیابی وضعیت اکولوژیکی بکار می‌رود که از رابطه ۱۲ به دست می‌آید (لی و همکاران[2]، ۲۰۱۷؛ لو و ژانگ[3]، ۲۰۱۱).

$$UTFVI = \frac{T}{T - T_a}$$ رابطه ۱۲

که T دمای سطح زمین برحسب دمای سلسیوس، و T_a میانگین آن در منطقه است. مقادیر UTFVI را با توجه به محدوده دمایی به شش طبقه (جدول ٦) تقسیم می‌کنند (لو و ژانگ، ۲۰۱۱) که هریک از مقادیر را می‌توان با ارزش‌های اکولوژیک و پدیده جزیره حرارتی تفسیر کرد.

1 Zhao et al
2 Li et al
3 Lu and Zhang

جدول ٦- طبقات شاخص UTFVI

کلاس طبقه‌بندی شاخص UTFVI	وضعیت
۰<	هیچ
۰-۰/۰۰۵	ضعیف
۰/۰۰۵ -۰/۰۱	متوسط
۰/۰۱ -۰/۰۱۵	تا حدی قوی
۰/۰۱۵ -۰/۰۲	قوی
۰/۰۲>	خیلی قوی

۳- نتایج

۳-۱-نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر

با توجه به جدول ۷ برای سال ۱۹۹۰ دقت ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰/۸۳ و ۸۹/۸ و در سال ۲۰۲۰ دقت ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰/۸۹ و ۹۲/۳ محاسبه شد، بنابراین طبقه‌بندی کاربری اراضی از دقت بالایی برخوردار است.

جدول ۷- صحت سنجی طبقه‌بندی کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

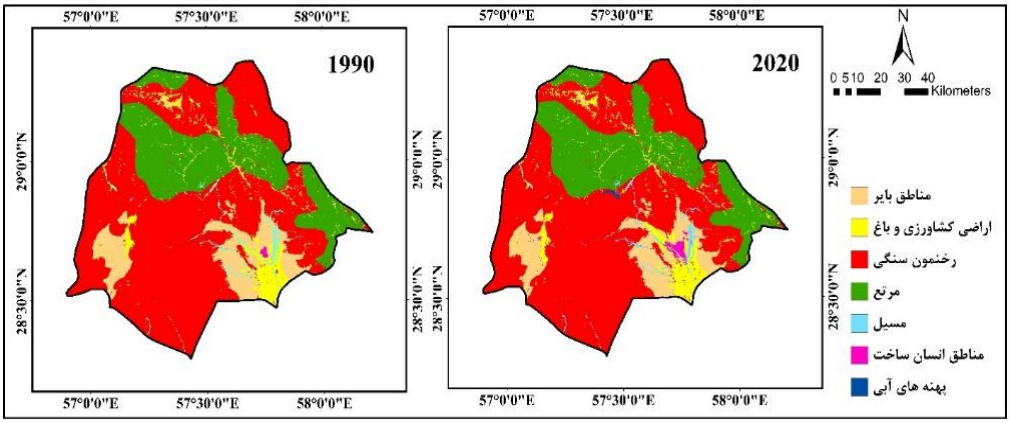
سال تصاویر	ضریب کاپا	صحت کلی
۱۹۹۰	۰/۸۳	۸۹/۸
۲۰۲۰	۰/۸۹	۹۲/۳

نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ شهرستان جیرفت با روش ماشین بردار پشتیبان در جدول ۸ و شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده‌شده است. نتایج حاصل از کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین کاربری‌ها در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب مربوط به رخنمون سنگی (٦۰/۰۱ درصد از مساحت منطقه) و مرتع (۲۳/۹۲ درصد از مساحت منطقه) است. در سال ۱۹۹۰ کاربری کشاورزی ٤٤٤٤۹/۱۱ هکتار بود که ٤۱٤۲/۲٤ هکتار به مقدار آن‌ها طی ۳۰ سال افزوده شد. اما از وسعت مناطق بایر در سال ۲۰۲۰ نسبت به ۱۹۹۰ به میزان ۷۳۳۳/۸۳ هکتار کاسته شده است. کاربری مرتع و مسیل از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ تقریباً تغییرات خیلی کمی داشتند. کاربری رخنمون‌های سنگی ۵۱۵٤۱۷/۹ هکتار در سال ۱۹۹۰ بودند که در سال ۲۰۲۰ تغییری نداشته است. مناطق ساخت انسان نیز در سال ۱۹۹۰ به میزان ۱٦۸۵/٤۳ هکتار بودند که ۷٤۷۳/۹۲ هکتار به وسعت آن‌ها در سال ۲۰۲۰ افزوده شد. نکته

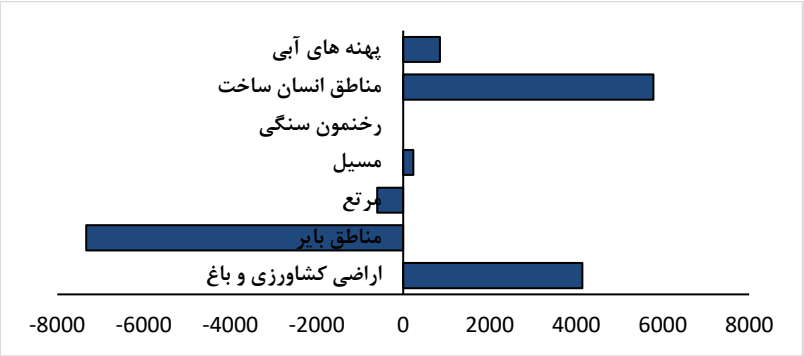
قابل‌توجه در تغییرات کاربری اراضی در جیرفت این است که وسعت مناطق آبی در سال ۱۹۹۰ تقریباً ۳ هکتار بوده است که با احداث سد جیرفت طی مدت ۳۰ سال ۸٤٦/۰۹ هکتار به پهنه آبی منطقه افزوده‌شده است.

جدول ۸- مساحت (هکتار و درصد) طبقات مختلف کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

طبقات کاربری اراضی	واحد	۱۹۹۰	۲۰۲۰
اراضی کشاورزی و باغ	مساحت	٤٤٤٤٩/۱۱	٤۸۵۹۱/٤۵
	درصد	۵/۱۷	۵/٦٦
مناطق بایر	مساحت	۸۰۵۸۱/۷۷	۷۳۲٤۷/۹٤
	درصد	۹/۳۸	۸/۵۳
مرتع	مساحت	۲۰۵٤٤٦/۱	۲۰٤۸٤۱/۳
	درصد	۲۳/۹۲	۲۳/۸۵
مسیل	مساحت	۱۱۲۸۷/۱۷	۱۱۵۲۳/۰٦
	درصد	۱/۳۲	۱/۳٤
رخنمون سنگی	مساحت	۵۱۵٤۱۷/۹	۵۱۵٤۱۷/۹
	درصد	٦۰/۰۱	۵۹/٦۵
مناطق انسان‌ساخت	مساحت	۱٦۸۵/٤۳	۷٤۷۳/۹۲
	درصد	۰/۱۹	۰/۸۷
پهنه‌های آبی	مساحت	۳/۰٦	۸٤۹/۱۵
	درصد	۰/۰۱	۰/۱



شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی‌شده حوزه جیرفت در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰



شکل ۳- تغییرات کاربری‌ها (هکتار) در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۹۰

۳- ۲- تغییرات کاربری اراضی

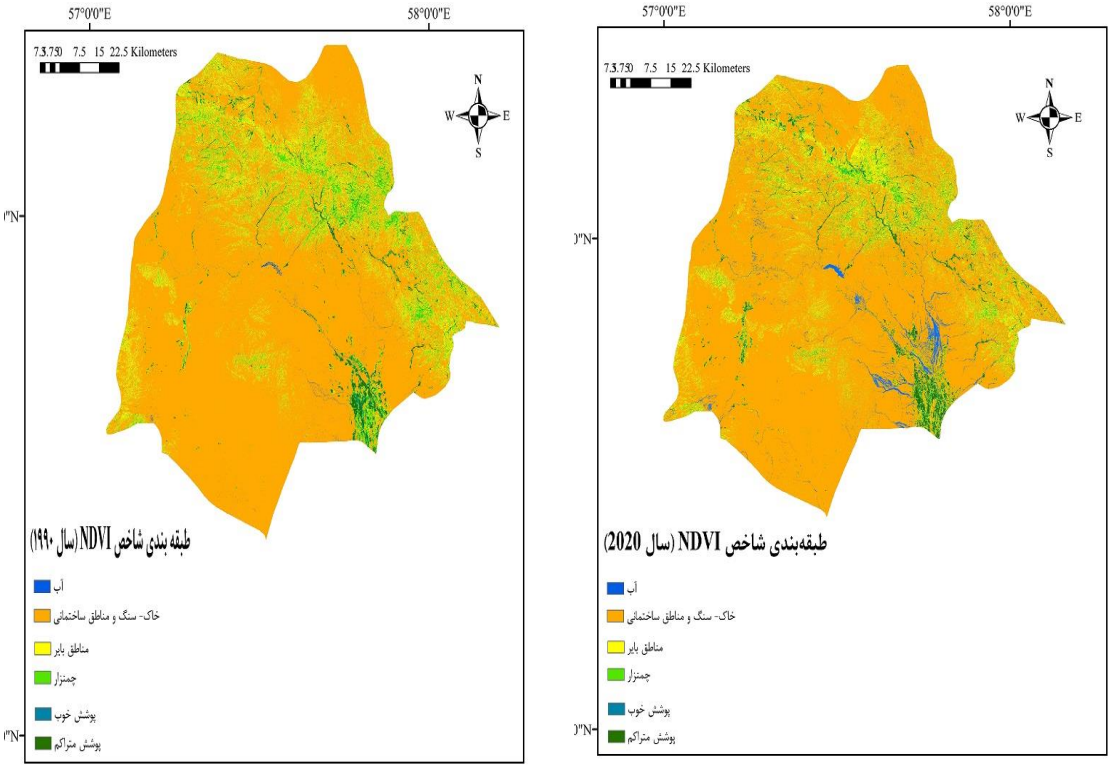
تغییرات کاربری اراضی حوزه جیرفت بین سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۰ در جدول ۹ نشان داده‌شده است. افزایش مساحت مناطق انسان‌ساخت ناشی از گسترش شهر، اراضی کشاورزی و باغی و پهنه آبی از نکات حائز اهمیت در تغییرات کاربری اراضی منطقه است. کاهش مناطق بایر در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که بخش زیادی از آن به مناطق انسان‌ساخت و اراضی کشاورزی و همچنین بخش از مناطق بایر و مسیل نیز به پهنه آبی تبدیل‌شده است. که در سال ۱۹۹۰ این پهنه بسیار ناچیز بوده است. از نکات قابل‌توجه در تغییرات کاربری اراضی منطقه این است که بخش زیادی از اراضی کشاورزی و مناطق بایر که در سال ۱۹۹۰ وجود داشته‌اند، طی ۳۰ سال گذشته به مناطق ساخت انسان تبدیل شده‌اند که بیشترین میزان افزایش کاربری مربوط به این کاربری است.

جدول ۹- نتایج حاصل از تبدیل طبقات مختلف کاربری اراضی حوزه جیرفت در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

کاربری اراضی	اراضی کشاورزی و باغ	مناطق بایر	مرتع	مسیل	رخنمون سنگی	مناطق انسان‌ساخت	پهنه‌های آبی
اراضی کشاورزی و باغ	-	۲۹/۲۵	۰	۵۰/۳۱	۰	۳۰۸۳/۱	۰
مناطق بایر	۵۲٦٦/۸۹	-	۰	۱۵۷/۵	۰	۲۷۰۰/٦۵	۸۳/۷۸
مرتع	۲۳۷/٦۹	۰	-	۸/۸۲	۵۰۱/۵۷	۲۰/۵۲	۰
مسیل	٤/۵۹	۰	۰	-	۱۰٤/۹٤	٦۵/٤۳	٦٦/۹٦
رخنمون سنگی		۰	۰	۰	-	۰	۰
مناطق انسان‌ساخت	۱۰۹/۱۷	۰	۰	۰	۰	-	۰
پهنه‌های آبی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-

۳-۳- شاخص NDVI

نقشه طبقه‌بندی شده شاخص NDVI و درصد پوشش‌های مختلف سطح در شکل ٤ و جدول ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۲۰ کلاس‌های آب، پوشش خوب و متراکم به ترتیب ۱/٤، ۰/۹ و ۰/۷ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش داشته است اما کلاس چمنزار، پوشش خاک – سنگ و بایر به ترتیب ۲/٦، ۰/٤ و ۰/۹ درصد کاهش یافته‌اند.



شکل ٤ – نقشه طبقه‌بندی شده شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

جدول ۱۰ – درصد کلاس‌های پوشش‌های مختلف سطح بر اساس شاخص NDVI

نوع پوشش سطح	۱۹۹۰	۲۰۲۰
آب	۰/۲	۱/٦
خاک – سنگ	۷۹/۲	۷۹/٦
بایر	۱۱/۹	۱۱
چمنزار	٦/۹	٤/۳

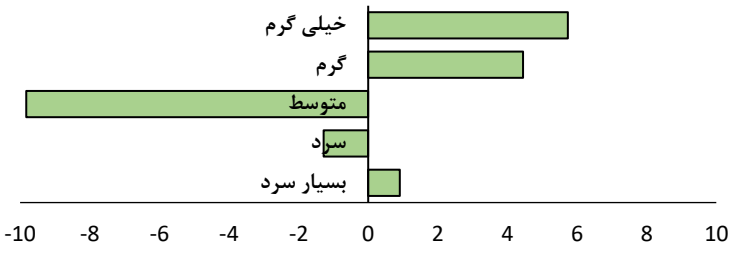
نوع پوشش سطح	۱۹۹۰	۲۰۲۰
پوشش خوب	۰/۷	۱/٦
پوشش متراکم	۱/۲	۱/۹

۳-٤- دمای سطح زمین در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

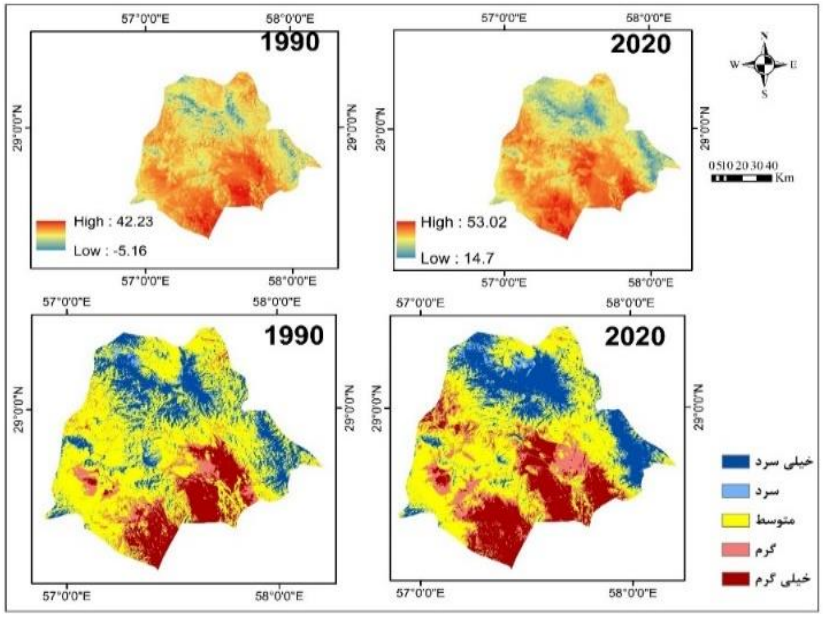
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میانگین دمای سطح زمین (جدول ۱۱) طی ۳۰ سال ۱۱/۱ درجه افزایش پیداکرده است. نقشه تغییرات، مساحت و درصد و درصد تغییرات هرکدام از طبقات پنج‌گانه LST در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب در شکل ۵ و ٦ گزارش شده است. در سال ۲۰۲۰ دمای حداقل ۱۹/۸٦ و دمای حداکثر ۱۰/۷۹ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. بر اساس نقشه‌های LST به‌دست‌آمده در هر دو سال بخش‌های جنوبی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی بیشترین دما و نواحی شمالی و شمال شرقی که مرتفع‌تر می‌باشند. کمترین دما را دارا هستند. در سال ۱۹۹۰ وسعت طبقه دمایی بسیار سرد و خیلی سرد به ترتیب ۱٦/۹۵ و ۹/۳٦ درصد بوده است که در سال ۲۰۲۰ طبقه بسیار سرد ۰/۹ درصد افزایش و طبقه سرد ۱/۲۸ درصد کاهش پیداکرده است. بیشتر سطح منطقه در هر دو سال دارای کلاس متوسط LST است که در سال ۲۰۲۰ به مقدار ۹/۸ درصد کاهش پیداکرده است و به وسعت مناطق گرم و خیلی گرم به ترتیب ٤/۵ و ۵/۷ درصد افزایش نسبت به سال ۱۹۹۰ پیداکرده است.

جدول ۱۱- میانگین دمای سطح زمین در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

سال تصویر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
۱۹۹۰	-۵/۱٦	٤۲/۲۳	۲٦/۰۷	٤/۲۳
۲۰۲۰	۱٤/۷	۵۳/۰۲	۳۷/۱۷	٤/۰۵



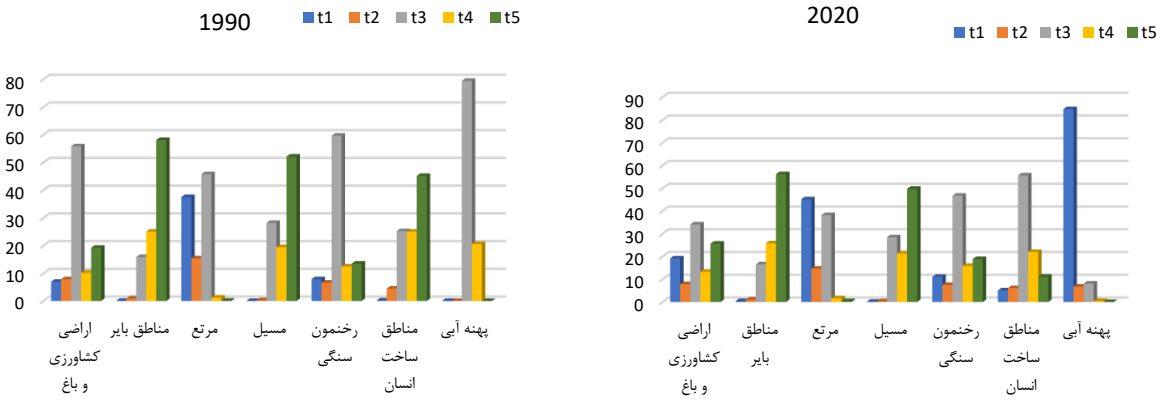
شکل ۵ - تغییر مساحت (درصد) هرکدام از طبقات دما



شکل ٦- نقشه تغییرات LST در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹

۳-۵- مساحت هر کاربری در طبقات دمایی مختلف

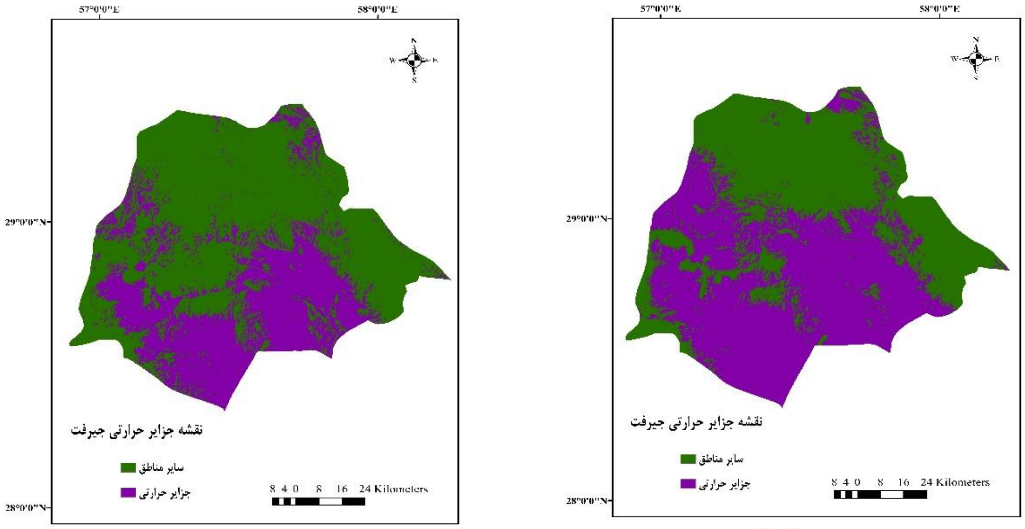
شکل ۷ مساحت هر کاربری اراضی در طبقات دمایی مختلف را نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۰ بیشترین مساحت کاربری اراضی (۵۵ درصد) در کلاس متوسط قرار داشت و ۱۹/۲ و ۱۰/۱۹ درصد به ترتیب در طبقه خیلی گرم و گرم دما قرار داشتند. اما در سال ۲۰۲۰ از مساحت این کاربری در طبقه متوسط کاسته شد (۳٤ درصد) و در عوض ۲۵/٦ و ۱۳/۲ درصد مساحت کاربری کشاورزی و اراضی باغی به ترتیب در طبقه خیلی گرم و گرم افزوده شد. بیشترین مساحت کاربری بایر نیز در هر دو سال در طبقه خیلی گرم (به ترتیب ۵۸ و ٥٦ درصد) واقع شده بود. مراتع در سال ۱۹۹۰ به ترتیب در طبقه متوسط (٤٥/۷ درصد) و پایین (۳۷/۵ درصد) و در سال ۲۰۲۰ در طبقه پایین (٤٥/۱۳ درصد) و متوسط (۳۸/۲ درصد) دما بیشترین مساحت داشتند. کاربری‌های مسیل و رخنمون سنگی در هر دو سال به ترتیب در طبقه گرمایی خیلی زیاد و متوسط بیشتر گسترش داشتند. کاربری مناطق ساخت انسان در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب در طبقه گرمایی خیلی زیاد (٤٥/۱۱ درصد) و متوسط (٥٥/٦ درصد) بیشترین مساحت را داشتند. پهنه آبی باوجود مساحت کم در سال ۱۹۹۰، در طبقه دمایی متوسط و در سال ۲۰۲۰ در کلاس دمایی پایین بیشتر قرار داشت.



شکل ۷- گسترش کاربری‌های اراضی در طبقات مختلف دمایی

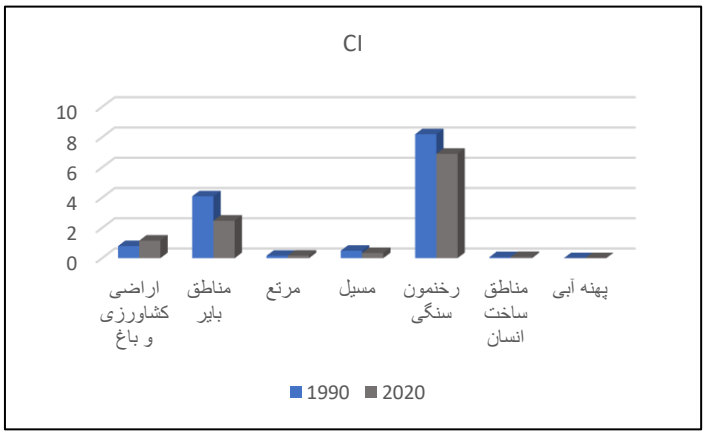
۳-۶- جزایر حرارتی شهری

نقشه‌های جزایر حرارتی شهرستان جیرفت در شکل ۸ نشان داده‌شده است. بر اساس این نقشه‌ها جزایر حرارتی در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ بیشتر در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه جیرفت دیده می‌شود که در سال ۲۰۲۰ وسعت جزایر حرارتی بسیار زیادتر و به‌صورت متمرکزتر از سال‌های ۱۹۹۰ می‌باشند و به‌جز نواحی شمالی و شمال شرقی در بقیه مناطق مشاهده می‌شوند. شکل ۹ سهم هر کاربری را در تشکیل جزایر حرارتی نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص در درجه اول رخنمون سنگی و سپس مناطق بایر بیشترین سهم در به وجود آوردن جزایر در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ دارند. اما سهم این دو کاربری در سال ۱۹۹۰ نسبت به ۲۰۲۰ بیشتر بوده است. اراضی کشاورزی نسبت به پهنه آبی، مناطق ساخت انسان و مراتع سهم بیشتری در تشکیل جزایر حرارتی داشته‌اند.



۱۹۹۰ ۲۰۲۰

شکل ۸- موقعیت جزایر حرارتی در شهرستان جیرفت



شکل ۹- سهم هر کاربری اراضی در تشکیل جزایر حرارتی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

۳- ۷- وضعیت اکولوژیکی منطقه جیرفت

جدول ۱۲ مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد شاخص UTFVI را نشان می‌دهد. حداقل، حداکثر و میانگین شاخص UTFVI در سال ۱۹۹۰ به ترتیب ۱/۱۹-، ۰/٦ و ۰/۱۱ و در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۰/٦-، ۰/٤۲ و ۰/۰۳۱ است. شاخص UTFVI در شش کلاس طبقه‌بندی می‌شود (لئو و ژانگ، ۲۰۱۱)؛ اما استفاده از طبقه‌بندی شش‌تایی نتوانست به‌خوبی طبقات را در منطقه موردمطالعه از یکدیگر مجزا کند. بنابراین با اعمال چندین

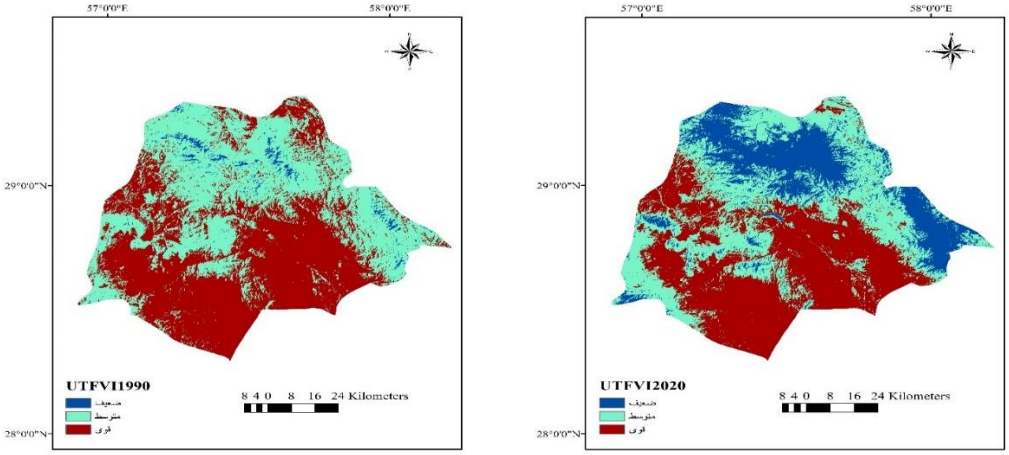
طبقه‌بندی با آستانه‌های مختلف به روش صحیح و خطا، طبقه‌بندی نهایی با استفاده از حد آستانه‌های جدول ۱۳ صورت گرفت که درصد مساحت طبقات مختلف شاخص UTFVI آورده شده است. در سال ۱۹۹۰ تقریباً ۴۸ درصد منطقه در کلاس متوسط (وضعیت اکولوژیکی نرمال) و ۵۰ درصد در کلاس قوی (وضعیت اکولوژیکی بد) ارزیابی شد. اما در سال ۲۰۲۰ از کلاس وضعیت اکولوژیکی ضعیف و متوسط کاسته و در عوض به کلاس وضعیت اکولوژیک خوب افزوده شد؛ به‌طوری‌که این کلاس طی ۳۰ سال ۲۰ درصد افزایش پیدا کرد. پهنه‌بندی شاخص UTFVI در شکل ۱۰ نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش از ۹۰ درصد منطقه در کلاس وضعیت اکولوژیک متوسط و ضعیف قرار دارد و فقط بخش کوچکی که در نواحی شمالی دیده می‌شود در وضعیت اکولوژیک خوب دیده می‌شود. اما در سال ۲۰۲۰ وضعیت اکولوژیکی خوب در بخش‌های شمالی و شمال شرقی به مقدار بیشتر افزایش پیداکرده و به‌صورت متمرکز دیده می‌شود و وضعیت اکولوژیکی ضعیف در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی بیشتر مشاهده می‌شود.

جدول ۱۲- میانگین شاخص UTFVI در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

سال تصویر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
۱۹۹۰	-۱/۱۹	۰/۶	۰/۱۱	۰/۲۳
۲۰۲۰	-۰/۶	۰/۴۲	۰/۰۳۱	۰/۱۶

جدول ۱۳- درصد مساحت طبقات مختلف شاخص UTFVI در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

وضعیت اکولوژیکی	خوب	نرمال	ضعیف
UTFVI	ضعیف	متوسط	قوی
۱۹۹۰	۱/۷	۴۸/۱	۵۰/۲
۲۰۲۰	۲۱/۶	۳۷/۳	۴۱/۱



شکل ۱۰- طبقه‌بندی شاخص UTFVI در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ در شهرستان جیرفت

۳- ۸- رابطه بین کاربری اراضی و شاخص UTFVI

جدول ١٤ وضعیت شاخص UTFVI در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. شاخص UTFVI در سال ۲۰۲۰ در همه کاربری‌ها به‌جز رخنمون سنگی (بدون تغییر) نسبت به ۱۹۹۰ افزایش داشته است. طی ۳۰ سال گذشته بخشی از اراضی کشاورزی به کاربری‌های دیگر و نواحی از کاربری‌های دیگر به بخش‌های کشاورزی افزوده شده است اما درمجموع این کاربری افزایش پیداکرده است درنتیجه وضعیت اکولوژیکی کاربری کشاورزی به نسبت بهبود یافته است. مناطق بایر چون طی مدت ۳۰ سال کاهش چشم‌گیری داشته است، باعث شده است شاخص UTFVI نیز تقریباً به نصف میزان آن در سال ۱۹۹۰ کاهش یابد. اما این شاخص در کاربری مرتع طی دوره مطالعاتی کاهش پیداکرده که علت آن را می‌توان به دلیل کاهش این کاربری طی ۳۰ سال دانست. احداث سد جیرفت باعث شد کاربری پهنه آبی افزایش یابد، و شاخص UTFVI در این کاربری کمترین مقدار نسبت به بقیه کاربری‌ها و نسبت به سال ۱۹۹۰ داشت. درنتیجه این کاربری ازنظر وضعیت اکولوژیکی در وضعیت عالی قرار می‌گیرد. باوجود افزایش مناطق ساخت انسان طی ۳۰ سال، شاخص UTFVI کاهش داشته است درصورتی‌که انتظار می‌رفت که افزایش یابد. سد جیرفت در بالادست شهر جیرفت واقع است، وجود جریان آب از سد به سمت شهر باعث شده است که زمین‌های کشاورزی اطراف شهر گسترش یابند، از طرفی پوشش گیاهی شهر جیرفت نیز افزایش‌یافته است درنتیجه این امر وضعیت اکولوژیکی در کاربری مناطق ساخت انسان در وضعیت بهتری نسبت به سال ۱۹۹۰ قرار گرفته‌است که نتایج این بخش از مطالعه با جمالی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد.

جدول ١٤- میانگین شاخص UTFVI در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

کاربری اراضی	۱۹۹۰	۲۰۲۰
کشاورزی و باغات	۰/۰۵	۰/۰۳
مناطق بایر	۰/۲٦	۰/۱۲
مرتع	-۰/۲۱	-۰/۱۵
مسیل	۰/۲٤	۰/۱۵
رخنمون سنگی	۰/۰۳	۰/۰۳
مناطق ساخت انسان	۰/۱۹	۰/۰٤
پهنه‌های آبی	۰/۱۱	-۰/۲۳

٤- جمع‌بندی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، طی مدت ۳۰ سال از وسعت مناطق بایر کاسته شده و به کاربری کشاورزی و مناطق ساخت انسان افزوده‌شده است و درصدی از رخنمون سنگی به پهنه آبی تبدیل شده است. سطوح آبی منطقه به علت گرمای ویژه بالای آب، میزان انرژی ورودی بیشتری از خورشید را در خود ذخیره کرده و از میانگین دمای سطح پایین‌تری نسبت به سایر کاربری‌ها برخوردار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹٤). افزایش تراکم پوشش گیاهی موجب کاهش دمای سطح زمین می‌شود، زیرا در نواحی با پوشش گیاهی بخشی از انرژی تابش‌های ورودی صرف تبخیر و تعرق و فتوسنتز گیاه می‌شود، مصرف انرژی خورشیدی برای تعرق گیاه به‌صورت گرمای نهان ظاهر می‌شود و افزایش گرمای نهان موجب کاهش گرمای محسوس می‌شود و ازآنجایی‌که گرمای محسوس ارتباط مستقیمی با دمای محیط دارد درنتیجه مقدار دمای سطح زمین نیز کاهش می‌یابد (کریمی فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹٦؛ درویشی و همکاران، ۱۳۹۸). تقسیم‌بندی طبقات دمای سطح زمین نشان داد که طبقات خیلی گرم و گرم که در بخش‌های جنوبی در سال ۲۰۲۰ افزایش و طبقه متوسط (بیشترین تغییر) و سرد کاهش داشته است. بالا رفتن دمای سطح زمین باعث تشکیل جزایر حرارتی شده است که بیشتر در نواحی جنوبی و جنوب شرقی دیده می‌شود. بر اساس شاخص UTFVI در سال ۱۹۹۰ منطقه در وضعیت اکولوژیکی خوبی قرار نداشت بطوریکه ۵۰ درصد مساحت منطقه در کلاس اکولوژیک بود که به‌تدریج در سال‌های ۲۰۲۰ از شدت کلاس بد کاسته شد و به کلاس خوب افزوده شد. در سال ۱۹۹۰ بهترین وضعیت اکولوژیکی منطقه را کاربری مرتع و در سال ۲۰۲۰ کاربری پهنه آبی داشتند، بدترین وضعیت اکولوژیکی نیز در هر سه سال متعلق به کاربری مناطق بایر و مسیل بود. در این مطالعه مناطق ساخت انسان نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش پیدا کرده است که به علت استفاده از سوخت‌های فسیلی، از بین بردن پوشش گیاهی برای ساخت‌وساز، استفاده زیاد از ماشین‌آلات این عامل باعث افزایش دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شده است

(جیان و تیان[1]، ۲۰۱۰). از طرفی با افزایش پهنه‌های آبی در شهرستان پوشش گیاهی خوب و متراکم نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش داشته است و این امر باعث شده است که با وجود افزایش دمای سطح زمین و افزایش جزایر حرارتی به علت افزایش گرمایش جهانی، وضعیت اکولوژی شهرستان نسبت به سال ۱۹۹۰ بهتر شده باشد. با توجه به نتایج باید راهکارهای مدیریتی درستی را در زمینه حفظ و بهبود وضعیت اکولوژی شهرستان جیرفت انجام داد وگرنه در آینده باوجود افزایش دمای سطح زمین، جزایر حرارتی خسارات جبران‌ناپذیری در منطقه وارد خواهد شد. بدین منظور پیشنهاد می‌شود از پوشش‌های گیاهی سازگار و بومی منطقه مخصوصاً پوشش متراکم بیشتر استفاده شود.

کتابنامه

احمدی، بهروز؛ قربانی، اردوان؛ صفرراد، طاهره؛ سبحانی، بهروز؛ ۱۳۹۳. بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، سال ٦، شماره ۱، ۷۷-٦۱. https://journals.iau.ir/article_516774.html

آرخی، ص؛ ادیب‌نژاد، م، ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM^+ لندست (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام). *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. جلد ۱۸، شمارهٔ ۳، صفحهٔ ٤٤۰- ٤۲۰ . https://www.sid.ir/paper/107095/#downloadbottom

امیدوار، کمال؛ مویدفر، سعیده؛ فاطمی، مهران؛ نارنگی فرد، مهدی؛ ۱۳۹۹. ارزیابی ارتباط کاربری اراضی شهری و جزایر حرارتی مطالعه موردی: شهر بیابانی یزد. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال سیزدهم، شماره ٤، ۱۷-۱. https://journals.iau.ir/article_674239.html

انصاری، محمدرضا؛ نوروزی، آذین؛ ۱٤۰۰. بررسی تغییرات دمای سطح زمین با کاربری اراضی در کانون گردوغبار جنوب شرق اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸. *مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران*، دوره ۵۲، شماره ۷، ۱۸۲٦-۱۸٤۰. https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.324040.668978

بابایی‌فینی، ام‌السلمه؛ ۱۳۹٤. بررسی رابطه دمای سطح زمین و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط شهری (مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال ۸، شماره ۲۹، ۹۰-۷۵. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1394.8.29.5.6

جمالی، زهرا؛ اونق، مجید؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ ۱۳۹۸. تحلیل ارتباط دمای سطح زمین با کاربری اراضی و شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده در دشت گرگان. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۲۳، شماره ۳، ۱۹٤-۱۷٦.

https://hsmsp.modares.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-48803-1&slc_lang=fa&sid=21

1 Jiang and Tian

درویشی، شادمان؛ رشیدپور، مصطفی؛ سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۸. بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: شهرستان مریوان. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ٥٤. ١٦٢-١٤٣. https://doi.org/10.22111/gdij.2019.4361

زارع، محمد؛ تیموریان، تیمور؛ جوری، محمدحسن؛ ۱۳۹۵. پایش تغییرات کاربری اراضی/ پوشش با استفاده از شاخص‌های شدت تغییرات، درجه پویایی و مقایسه پس از طبقه‌بندی. *فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، دوره ۸، شماره ۱. ۱۲۳-۱۳٦. https://neijournal.nour.iau.ir/article_533200.html

ساسانپور، فرزانه؛ ضیائیان، پرویز؛ بهادری، مریم؛ ۱۳۹۲. بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران. *فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران*، دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۹، ۲۷۰-۲۵۷. https://www.sid.ir/fA/Journal/ViewPaper.aspx?id=201846

سرحدی، جواد؛ شریف، مهری؛ ۱۳۹۹. ضرورت مدیریت خاص در خاکهای منطقه جیرفت و کهنوج. *نشریه فنی ۵۹۰*، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات آب و خاک.
http://www.swri.ir/fa-IR/DouranPortal/1/Articles/view/14965/141

سودایی زاده، حمید؛ جبالی، عاطفه؛ ۱۳۹۸. پایش تغییرات سطح اراضی کشاورزی تحت سیستم اگروفارستری در باغباغوئیه جیرفت. *نشریه مدیریت اراضی*، جلد ۸، شماره ۱، ١٤-٢٦. https://www.sid.ir/paper/963488/fa

شعبانی، مرتضی؛ درویشی، شادمان؛ سلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۸. بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سقز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۰ (۷۳)، ۳۷-٥٤. https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=507253

شمس الدینی، جواد؛ مزیدی، احمد؛ ۱۳۹٤. بررسی تغییرات آب و هوایی و تاثیرات آن بر خرمای جیرفت، دومین کنفرانس ملی کشاورزی و توسعه، تهران. https://civilica.com/doc/431620

عادلی ساردوئی، محسن؛ اسدی، علی؛ کلانتری، خلیل؛ براتی، علی اکبر؛ خسروی، حسن؛ ۱۳۹۹. بررسی تغییرات کاربری اراضی دشت جیرفت در دوره حال و آینده (با نگاهی بر تناسب کاربری اراضی کشاورزی). *مجله منابع طبیعی ایران، مرتع و آبخیزداری*، دوره ۷۳، شماره ٤، ۹۱۳-۸۹۳.
https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.307198.1522

عبدلی‌لاکتاسرایی، مهسا؛ حقیقی‌خمامی، مریم؛ ۱۳۹۹. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: پارک ملی بوجاق). *مجله پژوهش و فناوری محیط زیست*، ٥(۸)، ٦۰-٤۷. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=250103

علوی‌پناه، کاظم؛ ۱۳۸۵. *سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*. انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ دوم. ٤٥۳ صفحه.

کاویانی راد، مراد؛ آفتابی، زکیه؛ ولی زاده، حوا؛ ۱۳۹۸. تبین نسبت امنیت غذایی و امنیت زیست محیطی با تغییر اقلیم نمونه پژوهی: شهرستان جیرفت. *مجله دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*، سال اول، شماره دوم، ٤۰-۲۲.
https://cccd.znu.ac.ir/article_44662.html

کریمی‌فیروزجایی، محمد؛ کیاورز، مجید؛ علوی‌پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹٦. پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹٤-۱۳٦٤. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، دوره ۵، شماره ۳، ۱۵۱-۱۲۳. https://www.sid.ir/paper/230031/fa

مختاری، زهرا؛ برق جلوه، شهیندخت؛ سیاح نیا، رومینا؛ ۱٤۰۰. بررسی الگوی ناهمگنی محیط حرارتی شهر و ارزیابی اکولوژیک آن در منطقه شهری کرج. *جغرافیا و پایداری محیط*، دوره ۱۱، شماره ٤. ۳۷-۵۸. https://doi.org/10.22126/ges.2021.6654.2418

مرادی، ساجده؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ ۱۳۹۹. تحلیل زمانی ـمکانی جزیر حرارتی شهر ارومیه با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره سی و چهارم، ۹۹-۸۳. https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.87137

هاشمی، م.؛ علوی‌پناه، س.ک.؛ دیناروندی، م؛ ۱۳۹۱. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست‌شهری با کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی، *محیط شناسی*، ۳۹ (۱)، ۸۱-۹۲.

https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=195323

Abdolalizadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R. et al., 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. Arabian Journal of Geosciences13, 245. http://dx.doi.org/10.1007/s12517-020-5150-1

Abdulla-Al Kafy A, Huda Naim M N., 2021. Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. Journal of Environmental Challenges, 4(100107): 1-14. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107

Al- Faisal, A., Al Kafy, A., Al Rakib, A., Shaleha Akter, K., Jahir, D.M., Sikdar, M.S., Ashrafi, T. J., Mallik, S., Rahman, M.M., 2021. Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. Journal of Environmental Challenges, 4 (100192). 1-20. http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192

Alavipanah, S.K., 2003. Study of Lut desert surface temperature using field measurements and satellite thermal data. Desert. 1(7): 85-99. https://jast.modares.ac.ir/article-23-555-en

Alfraihat R, Mulugeta G, Gala T S., 2016. Ecological evaluation of urban heat island in Chicago City, USA. Journal of Atmospheric Pollution, 4(1): 23-29. http://pubs.sciepub.com/jap/4/1/3

Ali Akbar, T., K. Hassan, Q., Ishaq, S., Batool, M., Butt, H. J., Jabbar, H., 2019. Investigative Spatial Distribution and Modelling of Existing and Future Urban Land Changes and Its Impact on Urbanization and Economy. Journal of Remote sensing, 11(105), 1-15. https://doi.org/10.3390/rs11020105

Artis DA, Carnahan WH., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. Remote Sens. Environ. 12: 313–329. https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8

Clapham, W.B., 2005. Quantitive classification as tool to show change in an urbanizing watershed. International journal remote sensing. 26: 4923-4939. https://doi.org/10.1080/01431160500222665

Congalton RG and K, Green., 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Press, Boca Raton, Florida, 137 p. https://doi.org/10.1201/9781420055139

Guan D, Li H, Inohae T, Su W, Nagaie T, Hokao K., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. Ecol. Model. 222 (20): 3761 –3772. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009 https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1411719

Jiang, J, Tian G., 2010. Analysis of The Impact of Land Use/ Land Cover Change on Land Surface Temperature with Remote Sensing, Procedia Environmental Sciences, 2: 571- 575. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.062

Karimi Firozjaei M, Kiavarz M, Alavipanah S K, Lakes T, Qureshi S., 2018. Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. Journal of Ecological Indicators 91: 155–170. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.052

Li W, Cao Q, Lang K, Wu J., 2017. Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on surface temperature. Science of the Total Environment, 586: 457-465. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.191

Liu L, Zhang Y., 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. Remote Sensing, 3: 1535-1552. https://doi.org/10.3390/rs3071535

Liu L, Zhang Y., 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. Remote Sensing, 3: 1535-1552. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.191

Mansour, S., Al-Belushi, M., Al-Awadhi, T. 2020. Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. Journal of Land Use Policy, 91 (104414). 1-15. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104414

Pao, Y.H., 1989. Adaptive pattern recognition and neural networks. Addison-Wesley Longman Publishing Co.,Inc. https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceI =9369

Rehman A, Qin J, Pervez A, Sadiq Khan M, Ullah S, Ahmad KH, Ur Rehman N. 2022. Land-Use/Land Cover Changes Contribute to Land Surface Temperature: A Case Study of the Upper Indus Basin of Pakistan. Journal of Sustainability 14(934): 1-15. https://doi.org/10.3390/su14020934

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite–1 Syposium, 1: 309-317.

Sobrino JA, Jimenez-Munoz JC, Paolini L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing Environment. 90 (4): 434 –440. https://doi.org/ 10.1016/j.rse.2004.02.003

Talebi Khiavi, H., Mostafazadeh, R., 2021. Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. Arabian Journal of Geosciences 14, 2257. http://dx.doi.org/10.1007/s12517-021-08690-z.

Walawender, J.P., Szymanowski, M., Hajto, M.J. and Bokwa, A., 2014. Land surface temperature patterns in the urban agglomeration of Krakow (Poland) derived from Landsat-7/ETM+ data. Pure and Applied Geophysics Geophys, 171 (6), 913-940. https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-013-0685-7

Zhang Y., 2006. Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. Journal of Remote Sensing, 10: 789-797. https://doi.org/10.11834/jrs.200605117

Zho H, Zhang H, Miao G, Ye X, Min M., 2018. Linking Heat Source–Sink Landscape Patterns with Analysis of Urban Heat Islands: Study on the Fast-Growing Zhengzhou City in Central China. Remote Sens, 10: 1268. https://doi.org/10.3390/rs10081268

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.171-191 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2023.79999.1313 Open access

Evaluating Fire Hazard Potentials using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Logistic Regression Approaches in Golestan National Park

Mehdi Teimouri[a*], Aiding Kornejady [b]

[a] *Assistant Professor in Watershed Management, University of Bojnord, Bojnord, Iran*
[b] *Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran*

Received: 11 December 2022 ***Revised: 14 February 2023*** ***Accepted: 27 February 2023***

Abstract

Nowadays, the creation of a spatial distribution map for assessing fire risk is widely recognized as a crucial management tool at various levels. This tool helps monitoring natural resource sustainability and the effective control of this environmental hazard. Through the integration of field operations, remote sensing data, geographic information system techniques, and diverse statistical methods, it becomes feasible to develop a dependable spatial prediction of fire hazard potential for different regions. In this research, nine factors were identified to be effective in fire risk modeling, including altitude, slope, aspect, distance from the road, NDVI, LST, TWI, and TPI. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and Logistic Regression (LR) were employed to identify risk areas and determine the most significant factors influencing the occurrence and spread of fire. Historical fire areas were identified using Google Earth Engine and MODIS images. The initial results showed that both models assign the highest coefficients to NDVI, LST, and distance from the road. However, during the verification phase, the performance characteristic curve of both models was relatively similar (0.847 for FAHP method and 0.837 for LR method). Upon examining historical fire pixels, it was found that FAHP method correctly identified approximately 87% of the pixels belonging to classes with high and very high risk, whereas LR method only overlapped with 22% of these pixels. This suggests that FAHP method is better at identifying areas with a high risk potential compared to LR method. While it is important to acknowledge that the creation of risk prediction maps using various models cannot completely eliminate all fires, it can greatly diminish their frequency and help their management by offering effective solutions.

Keywords: Multi-criteria Decision Making, Hazard Prediction, Google Earth Engine, Performance Characteristic Curve, MODIS

[*]. Corresponding author: Mehdi Teimouri Email: m.teimouri@ub.ac.ir Tel:+9809306103602

How to cite this Article: Teimouri, M., & Kornejady, A. (2023). Evaluating fire hazard potentials using fuzzy analytic hierarchy process and logistic regression approaches in Golestan National Park *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 171-191.
DOI:10.22067/geoeh.2023.79999.1313

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79999.1313

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۱۹۱-۱۷۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی با استفاده از رویکردهای تحلیل سلسله مراتبی فازی و رگرسیون لجستیک

مهدی تیموری[1] - استادیار گروه مهندسی طبیعت. دانشکده کشاورزی شیروان. دانشگاه بجنورد. بجنورد. ایران.
آیدینگ کرنژادی- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۲/۸

چکیده

امروزه تهیه نقشه توزیع مکانی خطر آتش‌سوزی یکی از ابزارهای ضروری مدیریت در سطوح مختلف جهت پایش پایداری منابع طبیعی و کنترل این مخاطره محیط‌زیستی است. تلفیق عملیات میدانی، داده‌های دورسنجی، تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و آماری مختلف می‌تواند پیش‌بینی فضایی قابل‌اعتمادی از پتانسیل خطر آتش‌سوزی برای مناطق مختلف ایجاد کند. در این تحقیق از ۹ عامل مؤثر در مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی شامل عوامل ارتفاع، شیب، جهت، انحنای دامنه، فاصله از جاده و شاخص‌های NDVI، LST، TWI و TPI با دو روش تحلیل فازی سلسله مراتبی و رگرسیون لجستیک برای شناسایی مناطق خطر و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز و گسترش آتش استفاده شد. برای شناسایی مناطق حریق تاریخی نیز از سامانه ابری گوگل ارث انجین و تصاویر مادیس استفاده شد. نتایج اولیه نشان داد در هر دو مدل، عوامل NDVI، LST و فاصله از جاده بیشترین ضرایب را به خود اختصاص داده‌اند. در مرحله صحت سنجی نیز اگرچه منحنی مشخصه عملکرد هر دو مدل، نسبتاً یکسان (مقدار ۰/۸۴۷ در روش تحلیل

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۰۶۱۰۳۶۰۲ Email: m.teimouri@ub.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

تیموری، مهدی؛ کرنژادی، آیدینگ؛ ۱۴۰۲. ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی با استفاده از رویکردهای تحلیل سلسله مراتبی فازی و رگرسیون لجستیک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۱۹۱-۱۷۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79999.1313

سلسله مراتبی فازی و مقدار ۰/۸۳۷ در روش رگرسیون لجستیک) بود، با بررسی پیکسل‌های حریق تاریخی مشخص شد در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی حدود ۸۷ درصد پیکسل‌های طبقات با خطر زیاد و خیلی زیاد و در روش رگرسیون لجستیک فقط ۲۲ درصد پیکسل‌های طبقات مزبور با مناطق دارای سابقه حریق همپوشانی داشته‌اند. لذا به نظر می‌رسد روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بهتر از روش رگرسیون لجستیک توانسته مناطق با پتانسیل خطر بالا را شناسایی کند. اگرچه تهیه نقشه‌های پیش‌بینی خطر توسط مدل‌های مختلف از وقوع کلیه حریق‌ها جلوگیری نخواهد کرد ولی می‌توان با ارائه راهکارهای مدیریتی، وقوع آن را کاهش داده و کنترل آن را تسهیل نمود.

کلیدواژه‌ها: تصمیم‌گیری چندمعیاره، پیش‌بینی خطر، گوگل ارث انجین، منحنی مشخصه عملکرد، ماهواره مادیس.

۱- مقدمه

جنگل‌ها یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدید شونده بوده و به‌عنوان سوپاپ اطمینان، تعادل اکولوژیکی جهانی و پایداری تمدن بشر را حفظ می‌کنند (نوتاماکت و استراتولیاس[1]، ۲۰۲۱). اگرچه معیارهای مختلفی با توجه به نوع اقلیم و شرایط جغرافیایی منطقه به‌عنوان شاخص‌های مدیریت پایدار منابع طبیعی وجود دارد، لیکن اصول اولیه تمام آن‌ها بر اساس سلامت اکوسیستم، تجدید حیات، عدم روند تخریب و عدم‌تغییر کاربری آن استوار است (زارع چاهوکی، ۱۳۹۸). یکی از مهم‌ترین مصادیق تخریب و تهدید آن، آتش‌سوزی سیستم‌های جنگلی در سطح جهان است (جعفری و همکاران، ۲۰۱۹). وقایع آتش‌سوزی اثرات منفی بر تنوع زیستی، بیلان اکولوژیکی، حیات‌وحش، فرایندهای فیزیکی و شیمیایی زمین، تغییر اقلیم، خصوصیات هیدرولوژیکی، فعالیت‌های انسانی و اجتماعی–اقتصادی دارد (ونکاتش[2] و همکاران، ۲۰۲۰). اگرچه مهار کامل این پدیده امکان‌پذیر نیست، ولی با اقداماتی می‌توان به پیشگیری بخشی و کاهش اثرات سوء آن دست یافت. یکی از اقدامات ممکن، پهنه‌بندی خطر از نظر احتمال وقوع و تعیین مناطق با پتانسیل بالای حریق است (اسکندری و اسکندری، ۱۴۰۰). به‌صورت کلی، چهار عامل توپوگرافی، اقلیمی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان عوامل اشتعال‌زا در جنگل‌ها محسوب می‌شوند (چلاک و سونار[3]، ۲۰۲۰). همچنین روش‌های مختلف مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی شامل رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، تحلیل تصمیم چند معیاره و روش‌های همپوشانی وزنی مورداستفاده قرار گرفته است (عابدی، ۲۰۲۲؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۲۱). روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های مکانی با موفقیت بالا در شناسایی چنین مناطقی در بسیاری از مناطق دنیا مورداستفاده قرار گرفته است (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۶). مثلاً

1 Nuthammachot and Stratoulias
2 Venkatesh
3 Çolak and Sunar

در ایران، عابدی قشلاقی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ساج در جنگل‌های نوشهر پرداخته و نتیجه گرفتند که حدود ۳۲ درصد منطقه در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. تومار[1] و همکاران (۲۰۲۱) نیز به ارزیابی خطر حریق در جنگل‌های هند با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مدل‌سازی مکانی پرداخته و مناطق با طبقات مختلف حریق را مشخص نمودند. بوسیکو[2] و همکاران (۲۰۱۹) نیز به مدل‌سازی آتش تحت شرایط تغییر اقلیم در جنگل‌های ایتالیا پرداخته و نتایج آن را قابل‌قبول دانستند.

در سال‌های اخیر تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری نوین چندمعیاره در گستره مکانی و همچنین مدل‌های آماری جدیدتر، چارچوب مناسبی را به‌منظور ارزیابی مناطق مستعد آتش‌سوزی قرار داده است (نوو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). مثلاً اردین و چاگلار[4] (۲۰۲۱) و عابدی قشلاقی و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی خطر آتش‌سوزی با ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی با منطق فازی پرداخته و نتایج حاصله را منطقی و قابل‌قبول‌تر نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی دانستند. یاتیش[5] و همکاران (۲۰۱۹) به استفاده از دو روش رگرسیون لجستیک و روی‌هم‌گذاری وزنی در ترسیم مناطق خطر جنگل‌های هند پرداخته و روش رگرسیون لجستیک را روش مناسب‌تری بخصوص در شرایط وجود داده تاریخی عنوان نمودند.

یکی از ملزومات مدل‌سازی آتش، دسترسی به داده‌های باکیفیت زمانی و مکانی مناسب است (پیائو و همکاران، ۲۰۲۲). ماهواره مادیس این قابلیت را همراه با ارائه محصولات متنوع پردازشگر فراهم آورده است. مثلاً شریف‌نژاد و همکاران (۱٤۰۰) به ارزیابی قابلیت محصولات آتش سنجنده مادیس در استان گلستان پرداخته و اذعان نمودند که این محصولات فقط نیمی از حریق‌های صورت گرفته را نشان دادند و در مورد آتش‌سوزی‌های جزئی ضعیف عمل می‌کنند که این موضوع را به مقیاس مورداستفاده این محصولات که در سطوح بزرگ کارایی دارد مرتبط دانستند. هیسلوپ[6] و همکاران (۲۰۲۰) نیز به بررسی سری زمانی داده‌های حریق جنگل‌ها در تصاویر مادیس و شاخص نسبت نرمال آتش‌سوزی پرداخته و نتیجه گرفتند که بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸، حدود ۱۸۰ میلیون هکتار از ۲ میلیارد هکتار جنگل‌های مناطق معتدل مورد مطالعه، دچار حریق شده و روند افزایش حریق در جنگل‌های شیلی و روند کاهشی در جنگل‌های چین مشاهده می‌شود.

هرچند تصاویر ماهواره‌ای مثل مادیس کمک شایانی در این امر می‌کنند، حجم بالا و زمان طولانی پردازش محدودیت‌هایی را به همراه دارد. لذا استفاده از محصولات ماهواره‌ای که دارای قابلیت تحلیل بدون ذخیره داده‌ها

1 Tomar
2 Busico
3 Novo
4 Erdin and Çağlar
5 Yathish
6 Hislop

باشند بسیار مفید به نظر می‌رسد (پیائو و همکاران، ۲۰۲۲). این موضوع توسط سامانه پردازش ابری گوگل ارث انجین مهیا شده است. چاوداراوغلو[1] (۲۰۲۱) و پیائو[2] و همکاران (۲۰۲۲) به مدت‌زمان پردازش سریع این سامانه در تشخیص مناطق حریق اشاره داشته‌اند.

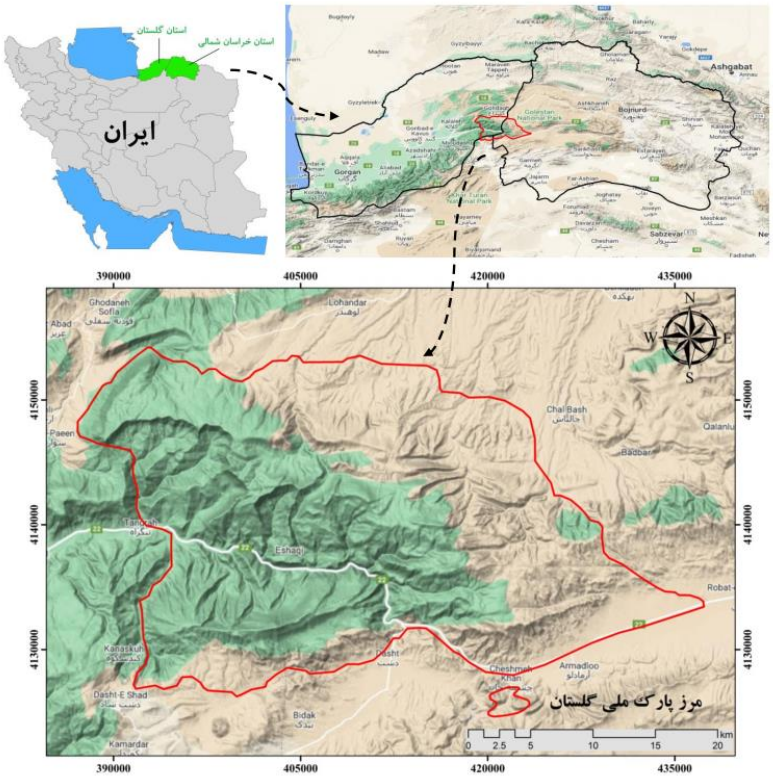
بررسی سوابق مطالعاتی گذشته در داخل و خارج از ایران نشان می‌دهد که جهت تعیین پتانسیل خطرات آتش‌سوزی‌ها، استفاده از داده‌های میدانی و مدل‌سازی مکانی توأم با داده‌های تاریخی ماهواره‌ای که قابلیت تحلیل سری زمانی حریق را فراهم می‌سازد، بسیار مناسب هستند. لذا در این تحقیق از قابلیت مدل‌سازی فازی در تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه آن با مدل رگرسیون لجستیک همراه با صحت‌سنجی تصاویر حریق ماهواره مادیس در محیط گوگل ارث انجین برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در گسترش و تهیه مدل و نقشه خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پارک ملی گلستان به‌عنوان قدیمی‌ترین پارک ملی ثبت شده در ایران در محدوده ۲ استان گلستان و خراسان شمالی واقع است. محدوده پارک بین طول‌های جغرافیایی "۹ ′٤۳ ٥٥ ° تا "٤۲ ′۱۷ ٥٦ ° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۱ ′۱٦ ۳۷ ° تا "٥۹ ′۳۱ ۳۷ ° شمالی واقع است و مساحتی حدود ۸٥۸ کیلومترمربع و محیط ۱٤٥ کیلومتر دارد. اقلیم منطقه در بخش‌های مرتفع، معتدل کوهستانی و در ارتفاعات کمتر، اقلیم معتدل و نیمه مرطوب است. در شکل ۱ موقعیت پارک ملی گلستان در ایران و استان‌های خراسان شمالی و گلستان نشان داده شده است.

1 Cavdaroglu
2 Piao



شکل ۱- موقعیت پارک ملی گلستان در ایران و استان‌های خراسان شمالی و گلستان

۲-۲- داده‌های مورداستفاده

ازآنجایی‌که ماهواره مادیس، اولین ماهواره‌ای است که از سنجنده‌های حرارتی برای پایش آتش‌سوزی‌ها و ثبت تصاویر آن‌ها استفاده می‌کند (گیگ لیا[1] و همکاران، ۲۰۰۳)، لذا از این ماهواره برای شناسایی نقاط آتش‌سوزی ضمن تطبیق با گزارش‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان استفاده شد. برای پردازش داده‌های مزبور از سامانه پردازشی ابری گوگل ارث انجین استفاده شد. شاخص مورداستفاده در شناسایی آتش‌سوزی‌ها شاخص نسبت سوختگی نرمال شده[2] است (معادله ۱).

$$NBR = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR) \qquad (۱)$$

که NIR باند مادون‌قرمز نزدیک و SWIR باند مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه است.

1 Giglioa
2 Normalized Burn Ratio (NBR)

با گذشت مدت‌زمانی از آتش‌سوزی و رشد مجدد/ بازسازی پوشش گیاهی، شاخص NBR تأثیر کمتری دارد. لذا شاخص $dNBR$ به‌عنوان ابزاری برای درک بهتر وسعت و شدت آتش، پس از محاسبه تفاوت بین شرایط قبل و بعد از آتش‌سوزی (معادله ۲) ارائه شد (فاسناچت[1] و همکاران، ۲۰۲۱).

$$dNBR = PrefireNBR - PostfireNBR \quad (۲)$$

با توجه به لحاظ نمودن موقعیت مکانی، زمانی، مطالعات قبلی و نظرات کارشناسان محلی، تعداد ۹ عامل شامل ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از جاده، انحنای دامنه و همچنین شاخص‌های LST[2]، NDVI[3]، TPI[4]، TWI[5] که به ترتیب بیانگر دمای سطحی، تراکم پوشش گیاهی، موقعیت توپوگرافی و رطوبت منطقه هستند، به‌عنوان عوامل مؤثر در شروع و گسترش آتش‌سوزی جهت استفاده در مدل‌های تحقیق انتخاب شد.

ازآنجایی‌که نوع پوشش گیاهی در هر منطقه معمولاً به‌صورت ترکیبی از جوامع گیاهی مختلف است، لذا استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای بسیار معمول و کاربردی است. یکی از این شاخص‌ها، شاخص NDVI است که بیانگر فرایند فتوسنتز و درنتیجه محتوای رطوبت گیاه و خاک است (لی[6] و همکاران، ۲۰۲۱) که در تصاویر لندست ۸ از معادله ۳ قابل‌تعیین است.

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R) \quad (۳)$$

که در رابطه فوق، NIR، باند مادون‌قرمز نزدیک (۰/۹–۰/۷٦ میکرومتر) و R، محدوده باند قرمز (۰/٦۹–۰/٦۳ میکرومتر) است (یاتیش و همکاران، ۲۰۱۹).

همچنین ازآنجایی‌که پتانسیل حریق با کاهش رطوبت دامنه افزایش پیدا می‌کند، استفاده از شاخصی که بیانگر رطوبت سطحی و کنترل کننده گسترش آتش است بسیار حائز اهمیت است (ماسیندا[7] و همکاران، ۲۰۲۱). معمول‌ترین شاخصی که به تمایل پیکسل‌ها در نگهداشت رطوبت می‌پردازد شاخص TWI است (ماتیوی و همکاران، ۲۰۱۹). لذا در این تحقیق از شاخص مزبور (معادله ٤) استفاده شده است.

$$TWI = ln(\alpha/tan\beta) \quad (٤)$$

که α مساحت تجمعی زهکشی بالادست و $\tan\beta$ زاویه شیب هر نقطه است که در این مطالعه برای تهیه فایل آن از نرم‌افزار SAGA-GIS (کنراد[8] و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده شده است. مناطق مستعد به تجمع آب (شبکه زهکشی) مقادیر بالای شاخص و مناطقی که زهکشی خوبی دارند مقادیر کمتری دارند. اگرچه بررسی دقیق این شاخص به

1 Fassnacht
2 Land Surface Temperature
3 normalized difference vegetation index
4 Topographic Position Index
5 topographic wetness index
6 Li
7 Masinda
8 Conrad

نوع اقلیم، نوع دامنه و مقیاس تهیه آن بستگی دارد (آگرن[1] و همکاران، ۲۰۱٤). از سایر متغیرهای اقلیمی مهم در شیوع و گسترش آتش نیز می‌توان به دمای سطح زمین اشاره کرد که برای بررسی دقیق آن از شاخص LST و محصول آماده MOD11A2 که داده‌های حداقل و حداکثر دمایی را به‌خوبی ثبت می‌کند (آیانلاده[2]، ۲۰۱٦) استفاده می‌شود. برای بررسی داده‌ها و شاخص‌های ذکر شده، تمام عوامل در قالب فایل رستری با اندازه پیکسل ۳۰ متری تهیه شدند.

۲-۳- روش AHP فازی

AHP یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره است که در آن معیارها در یک ساختار سلسله مراتبی سازمان‌دهی می‌شوند (زارعیان و همکاران، ۲۰۲۱). در این رویکرد، اهمیت نسبی معیارها بر اساس وزن آن‌ها (با توجه به نظرات کارشناسان، متخصصان و بررسی سوابق قبلی) مشخص شده و ماتریس مقایسات زوجی ساخته می‌شود که نشان‌دهنده میزان قوت هر معیار (از عدد یک تا ۹) نسبت به سایر معیارها است. سپس این مقادیر نسبی، به کمیت‌های عددی تبدیل شده و درنهایت باید بزرگ‌ترین مقدار ویژه (λ_{max}) در محاسبه شاخص ناسازگاری (CI) محاسبه شود (معادله ۵).

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \qquad (۵)$$

که n تعداد معیارهای مورد بررسی است. نرخ ناسازگاری نیز با مقایسه شاخص ناسازگاری با شاخص تصادفی که توسط ساعتی[3] (۱۹۸٤) ارائه شده از معادله ٦ قابل محاسبه است.

$$CR = CI/RI \qquad (٦)$$

چنانچه عدد مزبور کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری سیستم قابل‌قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود.

گاهی اوقات هنگام ایجاد یک ماتریس مقایسه نمی‌توان مقادیر واضحی را برای مقایسه معیارهای مختلف تعیین کرد. در این موارد می‌توان از منطق فازی بهره گرفت که اعتبار هر معیاری را با طیف خاکستری (عدد بین صفر و یک) نشان می‌دهد. لذا با اعمال تابع عضویت خطی و جمع لایه‌های وزن‌دار، نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی به‌صورت رستری تهیه می‌شود. بدیهی است هرچه مقدار پیکسلی به عدد یک نزدیک شود بیانگر خطر بالاتر است. همچنین نقشه تهیه شده با طبقه‌بندی مجدد و به روش جنکز (آجین[4] و همکاران، ۲۰۱۷) قابل‌تقسیم به طبقات مختلف خواهد بود.

1 Ågren
2 Ayanlade
3 Saaty
4 Ajin

۲-٤-روش رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یک روش از مدل‌های موسوم به خطی تعمیم‌یافته است که قابلیت پیش‌بینی خروجی‌های مجزا از مجموعه‌ای پیوسته یا غیرپیوسته را دارد. استفاده از این روش در مجموعه داده‌های غیرخطی بسیار کارا بوده و هدف اصلی آن یافتن بهترین مدل برای بیان رابطه بین یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل است (چویکو[1] و همکاران، ۲۰۱۰). معادله اساسی مدل مزبور به‌صورت معادله ۷ است.

$$ln(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_n x_n \quad (۷)$$

که p احتمال وقوع پیکسل مکانی آتش‌سوزی، x عوامل مؤثر و β ضرایب اکتشافی متغیرهای معادله هستند (حیدری و همکاران، ۱٤۰۰). در تحقیق حاضر، متغیر وابسته وقوع یا عدم وقوع آتش‌سوزی و عوامل ۹ گانه، متغیرهای مستقل هستند.

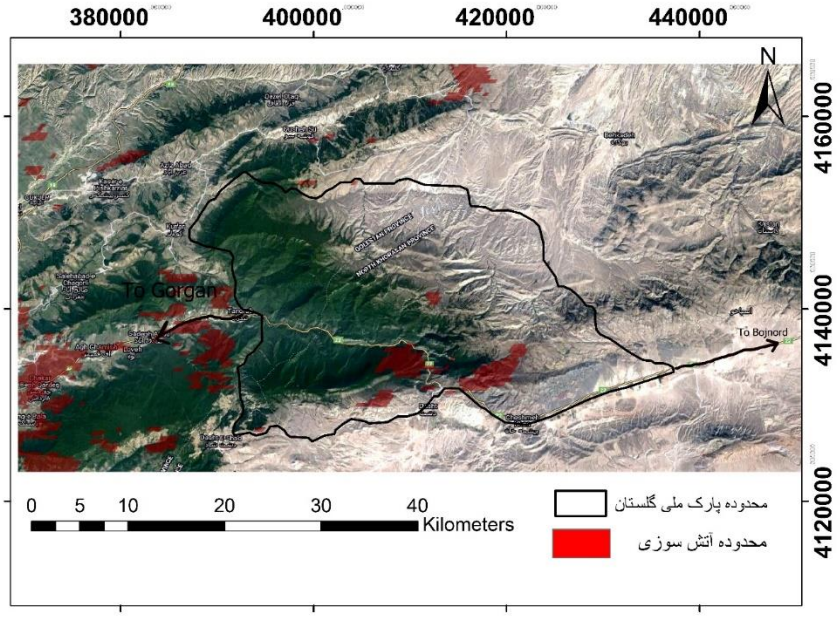
۲-۵- منحنی ROC

ازآنجایی‌که اعتباریابی یک فرایند ضروری در ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی است، از روش منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC-AUC) که یکی از متداول‌ترین روش‌های کمی برای پهنه‌بندی و ارزیابی مخاطرات طبیعی استفاده می‌شود که انعطاف‌پذیری زیادی در بیان درجه حساسیت مدل‌ها دارد (فام و همکاران، ۲۰۲۱). این منحنی بر اساس تقسیم درصد مثبت‌های صحیح بر درصد منفی‌های کاذب ترسیم می‌شود و سطح زیر آن بیانگر احتمال پیش‌بینی صحیح یک پیکسل تصادفی است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷) و به‌صورت محدوده‌های ۰/٦-۰/۵، ۰/۷-۰/٦، ۰/۸-۰/۷، ۸/۹-۰/۰ و ۱-۰/۹ به ترتیب پیش‌بینی ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی دسته‌بندی می‌شود (پورقاسمی، ۲۰۱۵).

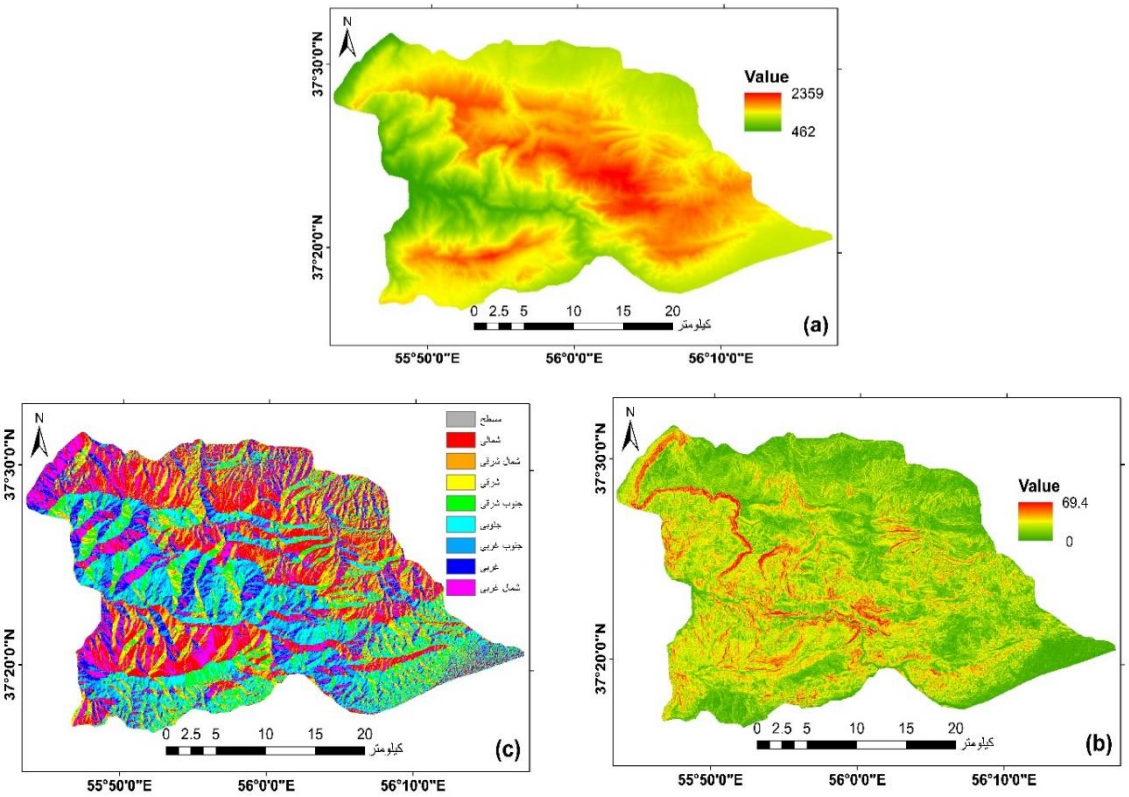
۳- نتایج

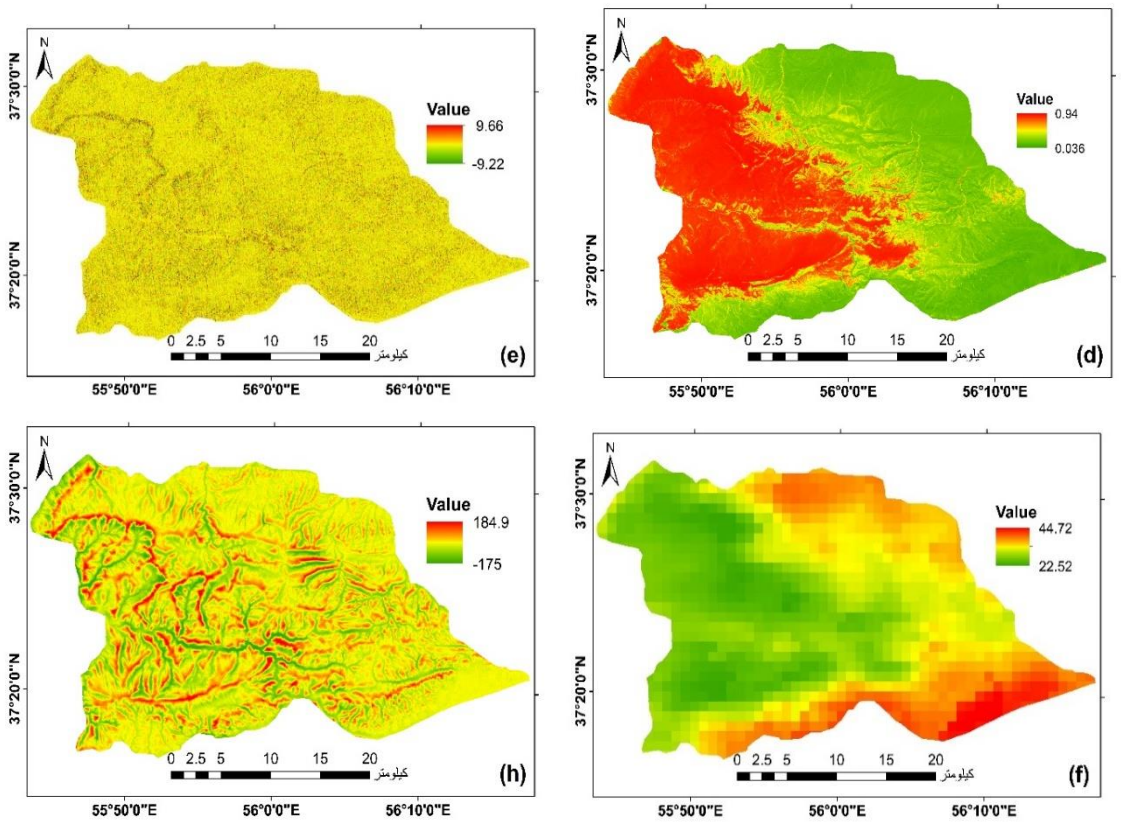
عوامل ۹ گانه مؤثر بر آتش‌سوزی که در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفتند به‌صورت لایه‌های رستری و با اندازه پیکسل‌های یکسان تهیه شد. سری زمانی نقاط حریق بین سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۲۰ نیز از ماهواره مادیس توسط کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین استخراج (شکل ۲) و پس از انطباق با داده‌های مشاهدات زمینی گستره آن‌ها برای اهداف واسنجی و صحت‌سنجی مشخص شد. تعداد ۱۲۲ موقعیت آتش‌سوزی بین سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۲۰ استخراج شد که از ۷۰ درصد آن‌ها برای واسنجی و ۳۰ درصد برای صحت‌سنجی استفاده شد. لایه‌های موضوعی تولید شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

1 Chuvieco



شکل ۲- نقشه مناطق دچار آتش‌سوزی در سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۲۰ مستخرج از سامانه گوگل ارث انجین در پارک ملی گلستان

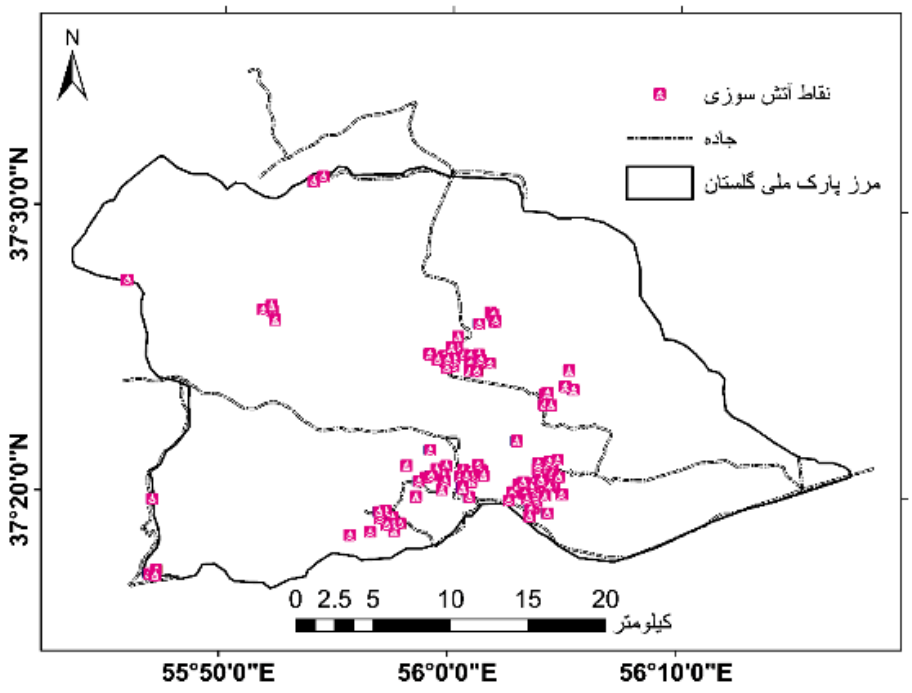




شکل ۳- نقشه‌های موضوعی پارک ملی گلستان شامل نقشه ارتفاعی (a)، نقشه شیب (b)، نقشه جهت شیب (c)، نقشه NDVI (d)، نقشه انحنای دامنه (e)، نقشه LST (f)، نقشه Wetness (g)، نقشه TPI (h)

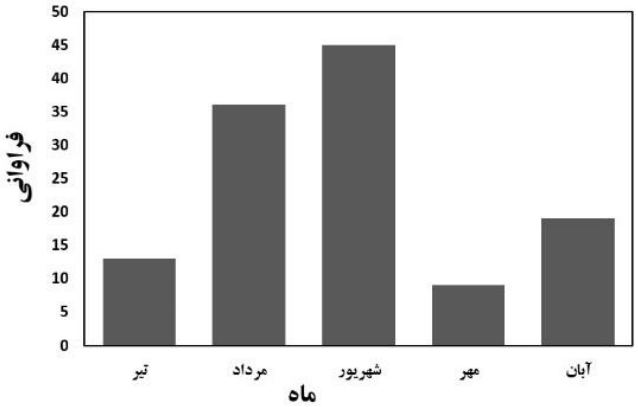
همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، ارتفاع پارک ملی گلستان بین ٤٦٢ تا ۲۳۵۹ متر از سطح دریا با میانگین ۱٤۲۵ متر و حداکثر شیب طولی منطقه ٦۹/٤ درجه است. جهت دامنه‌ها عمدتاً شمالی (حدود ۳٤ درصد منطقه) و قسمت متراکم پوشش گیاهی در بخش غربی پارک و در محدوده استان گلستان قرار دارد. ازآنجایی‌که شاخص NDVI معادل عدد یک، بیانگر پوشش کاملاً متراکم است، وجود مقادیر بالاتر از ۰/۵ در بخش بزرگی از منطقه بیانگر پوشش جنگلی است. بررسی نقشه‌های کاربری اراضی رقومی شده نیز نشان می‌دهد حدود ٤۷/۵ درصد از پارک پوشیده از جنگل متراکم، ۳۳ درصد جنگل تنک و مابقی به بیشه‌زارها و مراتع اختصاص دارد. در مورد شاخص انحنای دامنه نیز با توجه به اینکه مقادیر مثبت و منفی به ترتیب بیانگر شیب‌های محدب و مقعر است، علیرغم دامنه تقریبی ۹- تا ۹+ این شاخص، مقدار میانگین ۰/۰۲۸- و بررسی هیستوگرام شاخص در هر پیکسل نشان‌دهنده آن است که بیشتر دامنه‌ها دارای شیب یکنواختی هستند. بررسی نقشه LST نیز نشان می‌دهد این متغیر تقریباً بین ۲۲/۵ تا ٤٤/۷ درجه با میانگین ۳۱/٤ در قسمت‌های مختلف منطقه نوسان داشته و مقادیر کم در قسمت غربی پارک نشان‌دهنده اثر تعدیلی جنگل‌های متراکم بر دما است و طبیعی است که بخش شرقی منطقه که جنگل کم تراکم و

بیشه‌زارها را به خود اختصاص می‌دهد دمای بالاتری را نشان دهد. نقشه TWI نیز حداقل مقدار ۲/۵۳ و حداکثر ۱۶/۷ را نشان می‌دهد که مقدار عددی متوسط ۶/۱۷ بیانگر شرایط زهکشی متوسط است. لایه موضوعی TPI (شکل h) نیز شاخص موقعیت توپوگرافی را نشان می‌دهد که بین ۱۸۵- تا ۱۸۵+ با میانگین ۱/۰۵- متغیر بوده که نشان‌دهنده این است که به‌صورت معمول منطقه دارای شیب‌های میانی، یال‌های موضعی و دره‌های باریک u شکل است. با توجه به گزارش‌های فنی قبلی ازجمله گزارش منتشر شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس (۱۳۹۹) که عامل انسانی را یکی از دلایل اصلی بروز آتش‌سوزی‌ها عنوان نموده است، نقشه موضوعی فاصله از جاده و حریق‌های ثبت شده به‌صورت نقشه جداگانه در شکل ٤ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اکثر آتش‌سوزی‌های رخ داده در حاشیه یا فاصله نزدیکی از جاده‌ها به وقع پیوسته‌اند که احتمال منشأ انسانی (عمدی یا غیرعمدی) آن‌ها را تقویت می‌کند. بخصوص قسمت جنوبی پارک که جاده آسیایی گرگان- مشهد از بین آن می‌گذرد و میزان توقف و اسکان مسافران و گردشگران بسیار زیاد است.



شکل ٤- نقشه پراکنش جاده در سطح پارک و مناطق دچار آتش‌سوزی در سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۲۰ در پارک ملی گلستان

پراکنش زمانی آتش‌سوزی‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در ماه‌های تیر الی آبان که مصادف با دمای بالا، پوشش گیاهی و زیر اشکوب جنگلی متراکم‌تر و تردد بالای گردشگران است، فراوانی آتش‌سوزی‌ها بیشتر است. این موضوع فرض تلفیق دلایل طبیعی و غیرطبیعی به‌عنوان منشأ بروز و گسترش حریق را تقویت می‌کند. علی نیا و همکاران (۱٤۰۰) نیز فراوانی وقوع حریق‌های ماه خرداد تا شهریور را در مراتع، جنگل‌ها و اراضی زراعی لرستان گزارش نموده بودند. بروز آتش‌سوزی در ماه مهر و آبان نیز با کاهش رطوبت نسبی هوا و وزش بادهای گرم موسمی مرتبط است که در گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس (۱۳۹۹) اشاره شده است.



شکل۵- تعداد وقایع حریق رخ داده مورد بررسی در ماه‌های مختلف بین سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۲۰

برای درک ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی و آتش‌سوزی‌های رخ داده، با برش فایل رستری لایه‌های موضوعی با مرز حریق‌های تاریخی در سامانه گوگل ارث انجین، به بررسی متغیرها در پیکسل‌های دچار حریق پرداخته شده است که نتایج آن در جدول ۱ ملاحظه می‌شود. برای تبیین تغییر میانگین متغیرها در مناطق دچار حریق نسبت به میانگین شرایط پارک از روش شکستگی‌های طبیعی (جنکز) استفاده شده است. بدین ترتیب که دامنه حداقل و حداکثر متغیر به ۵ طبقه تقسیم شده و مقایسه صورت می‌پذیرد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود فقط در مورد متغیر ارتفاع و شیب، تغییر طبقه صورت گرفته است و بدین معناست که فقط میانگین دو پارامتر ارتفاع و شیب مناطق دچار حریق نسبت به میانگین شرایط پارک متفاوت بوده و سایر پارامترها تغییر خاصی نداشته‌اند.

البته دو عامل جهت دامنه و شاخص NDVI قابل تبیین با روش جنکز نیستند و با بررسی تعداد پیکسل‌های جهت‌های مختلف استنباط شد که کماکان جهت دامنه‌های شمالی جهت غالب بوده و برای شاخص NDVI هم مقادیر میانگین حدود ۰/٤۸ محدوده پوشش جنگلی و بیشه‌زارهای متراکم است که تغییری نیافته است.

جدول۱- مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر متغیرهای مورد بررسی در سطح پارک و در محدوده حریق‌های تاریخی

متغیر	واحد	سطح پارک ملی گلستان			طبقه	سطح حریق‌های مشاهداتی			طبقه
		میانگین	حداقل	حداکثر		میانگین	حداقل	حداکثر	
ارتفاع	متر	۱٤۲٥	٤٦۲	۲۳٥۹	۳	۱٦۱٥	۸۷۳	۲۲۸۰	٤
شیب	درجه	۱٦/۷۹	۰	٦۹/٤٤	۲	۱۷/۳۱	۰	٦٥/٦۳	۳
جهت	-	شمالی (۳۳/۷درصد)- جنوبی (۳۰درصد)- غربی (۱۸/٤درصد)- شرقی (۱۷/۸درصد)			-	شمالی (۳۸درصد)- جنوبی (۲٦درصد)- غربی (۱۹درصد)- شرقی (۱۷درصد)			-
انحنای دامنه	-	-۰/۰۲۸	-۹	+۹	۳	۰/۰۱۲	-٥/۰۲	٥/۱	۳
NDVI	-	۰/٥	۰/۰۳٦	۰/۹٤	-	۰/٤۸	۰/۰۷۳	۰/۹۲	-
TPI	-	-۱/۰٥	-۱۸٥	+۱۸٥	۳	٤/٦۸	-۱۲٦/٦	۱۷۰/٤	۳
TWI	-	٦/۱۷	۲/٥۳	۱٦/۷	۲	٦/۱	۲/٦٤	۱٦	۲
LST	سلسیوس	۳۱/٤	۲۲/٥	٤٤/۷	۳	۳۱/۹	۲٤/۲۷	٤۰/۸٤	۳

در روش AHP فازی، بعد از مرور عوامل مؤثر در آتش‌سوزی‌ها و تعیین وزن هر متغیر توسط منابع و مستندات، ماتریس مقایسات زوجی به‌عنوان ورودی به ابزار تشکیل و نرخ سازگاری با عدد ۰/۰۸ به دست آمد که با توجه به اینکه کمتر از عدد ۰/۱ است ماتریس به دست آمده قابل‌قبول می‌باشد. وزن‌های به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی برای تهیه معادله خطر آتش‌سوزی (معادله ۸) در نرم‌افزار Terrset مورداستفاده قرار گرفت. پیکسل‌های خروجی به‌صورت طبقه‌بندی شده در ۵ طبقه استخراج که مساحت هر طبقه در جدول ۲ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که حدود ۳۲ درصد پارک در این روش، پتانسیل زیادی در بروز آتش‌سوزی داشته و تقریباً نیمی از پارک خطر آتش‌سوزی متوسط به پایین (٤۷/۸ درصد) و نیمی دیگر (٥۲/۲ درصد) دارای خطر متوسط به بالا هستند.

$$FR_{FAHP} = 0.2967D + 0.18LST + 0.1746N + 0.1029S - 0.0862TW + 0.0823A + 0.0332H + 0.0204C - 0.0237TP \quad (۸)$$

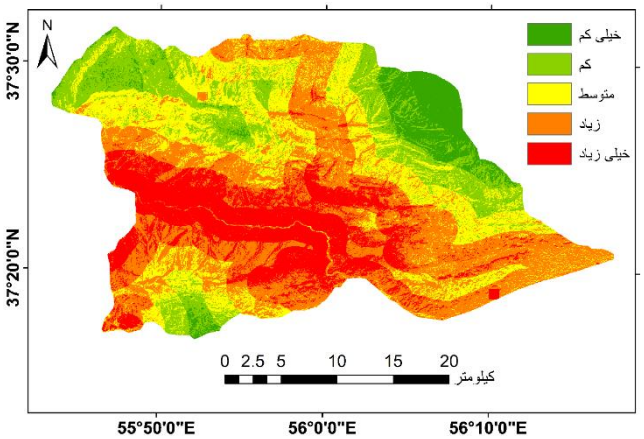
که FR خطر آتش‌سوزی، D فاصله از جاده، LST دمای سطحی، N شاخص NDVI، S شیب دامنه، TW شاخص TWI، A جهت دامنه، H ارتفاع، C عامل انحنای دامنه و TP شاخص TPI است.

همان‌طور که در معادله ۸ مشخص است، عوامل فاصله از جاده (با ضریب ۰/۲۹)، دمای سطحی (۰/۱۸) و تراکم پوشش گیاهی (۰/۱۷) از مؤثرترین عوامل بروز و گسترش حریق در پارک محسوب می‌شوند و ضرایب بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول۲- مساحت طبقات خطر آتش‌سوزی در روش فازی سلسله مراتبی

درجه خطر آتش‌سوزی	مساحت (کیلومترمربع)	درصد	درصد تجمعی
خیلی کم	٥٧/٢٦	٦/٦٧	٦/٦٧
کم	١٤٣/٤٥	١٦/٧٢	٢٣/٤
متوسط	٢٠٩/٤٨	٢٤/٤٢	٤٧/٨
زیاد	٢٧٧/٢	٣٢/٣	٨٠/١
خیلی زیاد	١٧٠/٥٨	١٩/٨٨	١٠٠

نقشه طبقات خطر روش فازی سلسله مراتبی در شکل ٦ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که به دلیل اثر بالای جاده و تراکم پوشش گیاهی، مناطق مرکزی، جنوبی و غربی پارک مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد آتش‌سوزی را به خود اختصاص داده و نیمه شمالی پارک درجات کمتری از خطر را نشان داده است.



شکل ٦- نقشه طبقات خطر روش فازی سلسله مراتبی در پارک ملی گلستان

در روش رگرسیون لجستیک، لایه‌های رستری موضوعی به‌عنوان متغیرهای مستقل و مناطق دچار حریق تاریخی به‌عنوان متغیر وابسته (با ارزش عددی یک) در مرحله واسنجی برای مدل‌سازی رگرسیون وارد نرم‌افزار Terrset شد. معادله به دست آمده به‌صورت معادله ۹ است. سپس پیکسل‌های خروجی به‌صورت طبقه‌بندی شده در ۵ طبقه استخراج که مساحت هر طبقه در جدول ۳ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که تنها حدود ۱۱ درصد مساحت پارک در این روش، پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در بروز و گسترش آتش‌سوزی داشته و حدود ۸۹ درصد پارک، خطر متوسط به پایینی در بروز و گسترش آتش‌سوزی دارند.

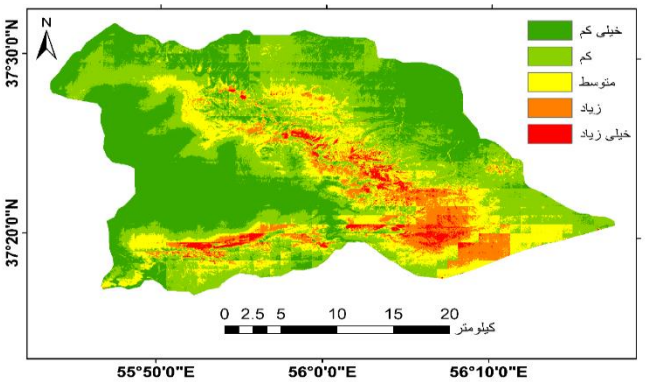
$$FR_{LOG} = -14.6385 + 0.2D + 0.213527LST + 3.085010N + 0.006821S - 0.020914TW + 0.000279A + 0.002415H + 0.018821C - 0.002181TP \quad (۹)$$

که مخففـهای هر پارامتر مشابه معادله ۸ است. در معادله ۹ نیز با توجه به ضرایب اختصاص یافته می‌توان مشابه روش فازی سلسله مراتبی تأثیر عوامل فاصله از جاده، دمای سطحی و تراکم پوشش گیاهی را مشاهده نمود. با این تفاوت که به ترتیب عامل پوشش گیاهی (۳/۰۸)، دمای سطحی (۰/۲۱) و در رتبه بعدی، فاصله از جاده (۰/۲) وزن بیشتری را کسب نموده‌اند. سایر عوامل نیز با ضرایب کمتر و دارای اثرات مثبت (مثل شیب، ارتفاع، جهت و انحنای دامنه) و منفی (عوامل TWI و TPI) در تهیه نقشه نهایی خطر مورداستفاده قرار می‌گیرند.

جدول۳- مساحت طبقات خطر آتش‌سوزی در روش رگرسیون لجستیک

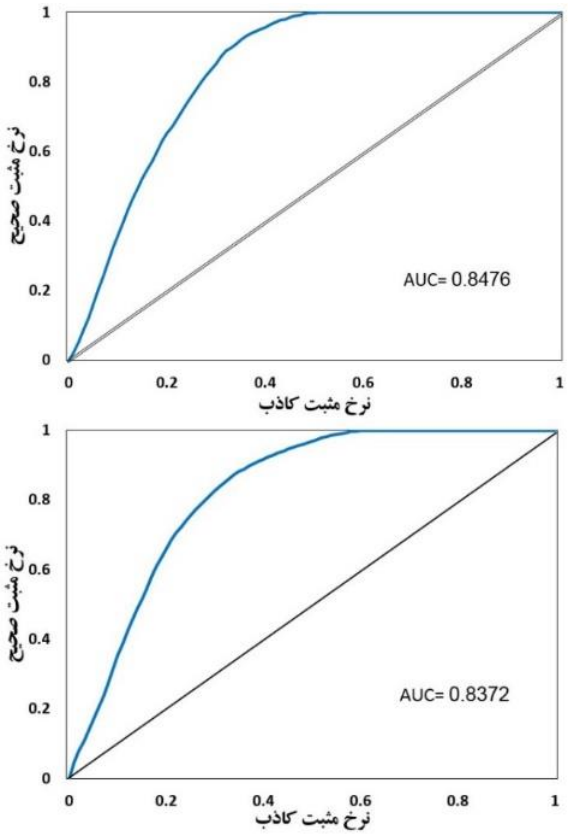
درجه خطر آتش‌سوزی	مساحت (کیلومترمربع)	درصد	درصد تجمعی
خیلی کم	۳٤٤/۲۸	٤۰/۱۵	٤۰/۱۵
کم	۲۷٤/۵۸	۳۲/۰۲	۷۲/۲
متوسط	۱٤۹/۳	۱۷/٤۱	۸۹/٦
زیاد	۷۰/۰۲	۸/۱٦	۹۷/۷
خیلی زیاد	۱۹/۳۱	۲/۲۵	۱۰۰

نقشه طبقات خطر روش رگرسیون لجستیک (شکل ۷) نشان می‌دهد که به دلیل رطوبت بالا و دمای سطحی متعادل‌تر در قسمت مرکزی پارک، مناطق با خطر کم، وسعت بیشتری دارند و مناطقی که در حاشیه جنگل‌های متراکم‌تر قرار داشته و دمای سطحی بیشتر و رطوبت کمتری را تجربه نموده و در حاشیه جاده نیز قرار دارند، خطر بروز و گسترش بیشتری از حریق را نشان می‌دهند.



شکل ۷- نقشه طبقات خطر روش رگرسیون لجستیک در پارک ملی گلستان

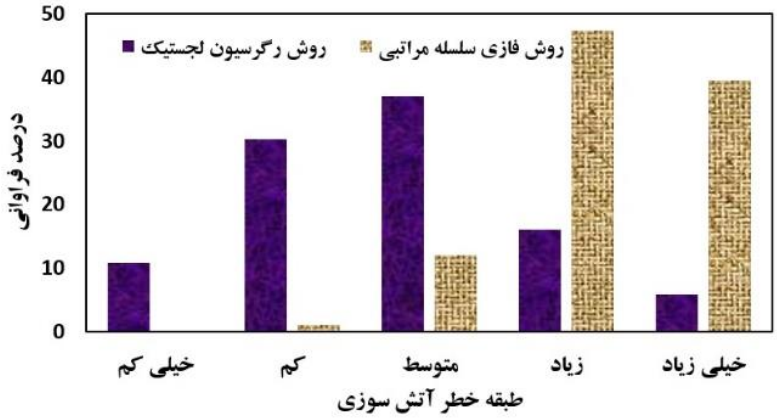
در شکل ۸ منحنی مشخصه عملکرد و سطح زیر نمودار دو روش مورداستفاده در مرحله صحت سنجی نشان داده شده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، سنجه سطح زیر نمودار عدد ۰/۸٤ و در روش رگرسیون لجستیک عدد ۰/۸۳ ملاحظه می‌شود که صحت پیش‌بینی را مشابه یکدیگر و سطح "خیلی خوب" توصیف می‌کنند.



شکل۸- منحنی مشخصه عملکرد در روش سلسله مراتبی فازی (راست) و روش رگرسیون لجستیک (چپ)

ازآنجاکه مقادیر سنجه مزبور مشابه یکدیگر است،به مقایسه فراوانی پیکسل‌های مناطق حریق مرحله صحت‌سنجی در طبقه‌های مختلف در دو روش نیز پرداخته شده است که نتایج آن در شکل ۹ ملاحظه می‌شود. همان‌طور که مشهود است، روش فازی سلسله مراتبی حدود ۸۷ درصد پیکسل‌های مناطق دارای حریق تاریخی مرحله صحت‌سنجی را در طبقه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد پوشش داده است؛ درصورتی‌که این مقدار در روش رگرسیون لجستیک حدود ۲۲ درصد است. از طرفی روش رگرسیون لجستیک حدود ٤۱ درصد منطقه را در محدوده

طبقه با خطر کم و خیلی کم توجیه نموده که با توجه به قابلیت اشـــتعال بالای منطقه از لحاظ پوشـــش گیاهی و دما منطقی نیست.



شکل ۹- مقایسه درصد فراوانی کلاس‌های مختلف خطر آتش‌سوزی در دو روش مورد مقایسه

٤- نتیجه‌گیری

مدل‌ســازی و پهنه‌بندی خطر وقوع حریق، یکی از ملاحظات مخاطرات منابع طبیعی در هر منطقه اســت. در این مقاله به مقایسه دو مدل شامل رگرسیون لجستیک و مدل ترکیبی فازی سلسله مراتبی در پهنه‌بندی طبقات مختلف آتش‌ســوزی و تعیین عوامل مؤثر در این مخاطره محیط زیســتی پرداخته شــد. جهت دســترســی به ســوابق تاریخی آتش‌ســوزی‌های منطقه از ســامانه پردازش ابری گوگل ارث انجین اســتفاده شــد. بررســی نتایج ضــرایب عوامل ۹ گانه مورد بررسی در هر دو مدل نشان داد نزدیکی به جاده، دمای سطحی و NDVI از مهم‌ترین عوامل در بروز و گسترش حریق‌ها بوده اســت. یاتیش و همکاران (۲۰۱۹) نیز در تحقیق خود به نقش مؤثر NDVI و دمای ســطحی در بروز و گسترش حریق اشاره نموده‌اند. همچنین در مورد اهمیت عامل نزدیکی به جاده و عدم تأثیر بالای شاخص TWI در نتایج مدل، پیائو و همکاران (۲۰۲۲) نیز به نتیجه مشابهی رسیده‌اند. در مورد دو عامل ارتفاع و شیب، علیرغم وجود ضریب بالا در معادلات نهایی، ملاحظه شد که میانگین ارتفاع و شیب‌هایی که حریق در آن‌ها رخ داده، کمی بیشتر از میانگین منطقه اســت. این موضــوع را منابع متعدد ازجمله پیائو و همکاران (۲۰۲۲)، اســکندری و میســل (۲۰۱۷) و حیدری و همکاران (۱٤۰۰) و جانباز قبادی (۱۳۹۸) نیز عنوان نموده بودند. علیرغم اینکه هر دو مدل منحنی مشخصه عملکرد و سطح زیر نمودار مشابهی داشتند، بررسی پیکسل‌های مناطق دچار حریق در مرحله صحت‌سنجی نشان داد که نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی فازی منطقی‌تر از روش رگرسیون لجستیک است. چون حدود ۸۷ درصد مناطق

دارای حریق در طبقات با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند؛ درحالی‌که این مقدار برای روش رگرسیون لجستیک حدود ۲۲ درصد است. اردین و چاگلار (۲۰۲۱) نیز نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را بسیار منعطف و قابل‌قبول عنوان نموده‌اند. ازآنجایی‌که در فازی نمودن لایه‌های مورد بررسی از تابع عضویت فازی خطی استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به سایر توابع عضویت و مقایسه آن‌ها پرداخته شود. همچنین بررسی نقشه طبقات خطر در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان می‌دهد که قسمت‌های مرکزی و جنوبی پارک که بیشتر جنبه تفرجگاهی داشته و دسترسی مناسبی از جاده‌ها دارند در طبقه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. این موضوع لزوم فرهنگ‌سازی گردشگری، پایش مستمر مأموران محیط‌بانی و استقرار پایگاه‌های کمک‌رسانی در این مناطق در ماه‌های خرداد تا آبان را مضاعف می‌سازد.

کتابنامه

ابراهیمی، حمید؛ رسولی، علی‌اکبر؛ مختاری، داوود؛ ۱۳۹۷. بررسی تغییرات خطر آتش‌سوزی و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل حداکثر بی نظمی، مطالعه موردی: جنگل ها و مراتع استان آذربایجان شرقی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۷. شماره ۱. صص ۷۳-۵۷. https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.59628

اسکندری، سعیده؛ اسکندری، سمانه؛ ۱٤۰۰. آتش‌سوزی جنگل‌های ایران، پیامدها، روش‌های مقابله و راهکارها. انسان و محیط‌زیست. شماره ٥٦. صص ۱۸۷-۱۷۵. https://he.srbiau.ac.ir/article_10459.html

جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۳۹۸. بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان بر اساس شاخص خطر آتش-سوزی با بهره‌گیری از تکنیک GIS. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. دوره ٦. شماره ۳. صص ۱۰۲-۸۹. https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.3.89

حیدری، مهدی؛ عطار روشن، سینا؛ جافریان، الهام؛ عبیات، محمد؛ ۱٤۰۰. مدل‌سازی و پهنه‌بندی مناطق مستعد آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بر پایه رگرسیون لجستیک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۱۰. شماره ۲. صص ۵۸-٤۳.*

https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.68903.1019

زارع چاهوکی، محمدعلی؛ ۱۳۹۸. معیارها و شاخص‌های مؤثر در ارزیابی پایداری منابع طبیعی. *پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. دوره ٤. شماره ۱. صص ۱٦-۱.

http://srj.asnr.ias.ac.ir/article_112964_620d4cfa05028856720ee893aabffde8.pdf

شریف نژاد، طوبی؛ خاوریان نهزک، حسن؛ ورامش، سعید؛ ۱٤۰۰. ارزیابی قابلیت محصولات آتش سنجنده مادیس در شناسایی آتش‌سوزی‌ها در استان گلستان. *مخاطرات محیط طبیعی*. دوره ۱۰. شماره ۳۰. صص ۱٦-۱. https://doi.org/10.22111/jneh.2021.34138.1661

عابدی قشلاقی، حسن؛ ولی زاده، خلیل؛ ۱۳۹۷. ارزیابی و پهنه بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS. *مخاطرات طبیعی*. دوره ۷. شماره ۱۵. صص ٦٦-٤۹.

https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3204

علی‌نیا، اکرم؛ گندمکار، امیر؛ عباسی، علیرضا؛ ۱٤۰۰. تحلیل زمانی - مکانی رخدادهای مخاطره آتش‌سوزی‌های طبیعی در استان لرستان با استفاده از محصولات سنجندهٔ مادیس. *جغرافیا و پایداری محیط*. دوره ۱۱. شماره ۱. صص ۱۲۷-۱۱۳.

https://doi.org/10.22126/ges.2021.6469.2392

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی؛ ۱۳۹۹. علل، آثار، چالش‌ها و راهکارهای مقابله با آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع کشور. معاونت پژوهش‌های تولیدی و زیربنایی. شماره مسلسل: ۱۷۲۸۸. ٦٥ ص.

https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1632235

Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2020. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. Journal of Environmental Planning Management, 63, 481–499. https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726

Abedi, R., 2022. Application of multi-criteria decision making models to forest fire management. International Journal of Geoheritage and Parks, 10 (1): 84-96. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.02.005

Ågren, A.M., Lidberg, W., Strömgren, M., Ogilvie, J., Arp, P.A., 2014. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping–a Swedish case study. Hydrology and Earth System Sciences. 18(9): 3623–34. https://doi.org/10.5194/hess-18-3623-2014, 2014

Ajin, R.S., Loghin, A.M., Vinod, P.G., Jacob, M.K., 2017. Forest fire risk zone mapping using RS and GIS techniques a study in Achankovil Forest Division, Kerala, India. Journal of Earth, Environment and Health Sciences, 23: 109–115. https://doi.org/10.4103/2423-7752.199288

Ayanlade, A., 2016. Variation in diurnal and seasonal urban land surface temperature: landuse change impacts assessment over Lagos metropolitan city. Modeling Earth Systems and Environment. 2, 193.https://doi.org/10.1007/s40808-016-0238-z

Busico, G., Giuditta, E., Kazakis, N., Colombani, N., 2019. A Hybrid GIS and AHP Approach for Modelling Actual and Future Forest Fire Risk Under Climate Change Accounting Water Resources Attenuation Role. Sustainability. 11(24), 7166. https://doi.org/10.3390/su11247166

Cavdaroglu, G., 2021. Google Earth Engine Based Approach for Finding Fire Locations and Burned Areas in Muğla, Turkey. American Journal of Remote Sensing. 9 (2): 72-77.https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20210902.12

Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M.P., Vilar, L., Martínez-Vega, J., Martín, S., Ibarra, P., et al. 2010. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. Ecological Modelling. 221: 46–58.https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017

Çolak, E., Sunar, F., 2020. Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. International Journal of Disaster Risk Reduction. 45, 101479.https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101479

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007. https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015

Erdin, C., Çağlar, M., 2021. Rural Fire Risk Assessment in GIS Environment Using Fuzzy Logic and the AHP Approaches. Polish Journal of Environmental Studies, 30(6), 4971-4984. https://doi.org/10.15244/pjoes/136009

Eskandari, S., Miesel, JR., 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8:2, 933-949.https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1289249

Faramarzi, H., Hosseini, SM., Pourghasemi, HR., Farnaghi, M., 2021. Forest fire spatial modelling using ordered weighted averaging multi-criteria evaluation. Journal of Forest Science, 67, 87−100. https://doi.org/10.17221/50/2020-JFS

Fassnacht, F., Schmidt-Riese, E., Kattenborn, T., Hernández, J., 2021. Explaining Sentinel 2-based dNBR and RdNBR variability with reference data from the bird's eye (UAS) perspective. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 95, 102262.https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102262

Giglioa, L., Descloitresa, J., Justicec, C., Kaufman, Y.J., 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment. 87: 273–282.https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6

Hislop, S., Haywoodc, A., Jonesa, S., Soto-Berelova,M., Skidmore A., Nguyena, T., 2020. A satellite data driven approach to monitoring and reporting fire disturbance and recovery across boreal and temperate forests. International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation. 87. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102034

Jaafari, A., Mafi-Gholami, D., Pham, B.T., Tien Bui, D., 2019. Wildfire probability mapping: Bivariate vs. multivariate statistics. Remote Sensing. 11, 618. https://doi.org/10.3390/rs11060618

Li, J., Zhao, Y., Zhang, A., Song, B., Hill, R.L., 2021. Effect of grazing exclusion on nitrous oxide emissions during freeze-thaw cycles in a typical steppe of Inner Mongolia. Agriculture Ecosystem Environment. 307, 107217. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107217

Masinda, M.M., Sun, L., Wang, G., Hu, T., 2021. Moisture content thresholds for ignition and rate of fire spread for various dead fuels in northeast forest ecosystems of China. Journal of Forestry Research. 32: 1147–1155. https://doi.org/10.1007/s11676-020-01162-2

Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A. Bitelli, G., 2019. TWI computation: a comparison of different open source GISs. Open Geospatial Data, Software and Standards. 4, 6. https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y

Novo, A., Fariñas-Álvarez, N., Martínez-Sánchez, J., González-Jorge, H., Fernández-Alonso, JM., Lorenzo, H., 2020. Mapping forest fire risk—a case study in Galicia (Spain). Remote Sensing. 12(22):1–20. https://doi.org/10.3390/rs12223705

Nuthammachot, N., Stratoulias, D. 2021. A GIS-and AHP-based approach to map fire risk: A case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. Geocarto International., 36, 212–225.https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1611946

Pham, B.T., Jaafari, A., Phong, T.V., Yen, H., Tuyen, T., Luong, V., Nguyen, H.D., Le, H.V., Foong, L.K., 2021. Improved flood susceptibility mapping using a best first decision tree integrated with ensemble learning techniques. Geoscience Frontiers. 12, 101105.https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.003

Piao, Y., Lee, D., Park, S., Gul, H. Jin, Y., 2022. Forest fire susceptibility assessment using google earth engine in Gangwon-do, Republic of Korea. Geomatics, Natural Hazards and Risk. 13(1): 432-450. https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2030808

Pourghasemi, H.R., 2015. GIS-based forest fire susceptibility mapping in Iran a comparison between evidential belief function and binary logistic regression models. Scandinavian Journal of Forest Research, 9(3), 155–165. https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1052750

Pourghasemi, H.R., Beheshtirad, M., Pradhan, B., 2016. A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (MAHP) and Mamdani fuzzy

logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(2):861–885. https://doi.org/10.1080/19475705.2014.984247

Saaty, L.T., 1984. The Analytic Hierarchy Process: Decision Making in Complex Environments. In: Avenhaus, R., Huber, R.K. (eds) Quantitative Assessment in Arms Control. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12

Tomar, J.S., Kranjcic, N., Đurin, B., Kanga, S., Singh, S.K. 2021. Forest Fire Hazards Vulnerability and Risk Assessment in Sirmaur District Forest of Himachal Pradesh (India): A Geospatial Approach. ISPRS International Journal of Geo-Information. 10, 447. https://doi.org/10.3390/ijgi10070447

Venkatesh, K., Preethi, K., Ramesh, H., 2020. Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps. Ecological Indicators. 110, 105856.https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856

Yathish, H., Athira, K.V., Preethi, K., Pruthviraj, U., Shetty, A., 2019. A Comparative Analysis of Forest Fire Risk Zone Mapping Methods with Expert Knowledge. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 47: 2047-2060. https://doi.org/10.1007/s12524-019-01047-w

Zareian, G.R., Azadi, A. and Shakeri, S., 2021. Evaluation of soil fertility map for bean cultivation in Eghlid Plain by using Hybrid Fuzzy-AHP and GIS techniques. Iran Agricultural Research, 40(1):101-112. https:// iar.shirazu.ac.ir/ article_ 6291_ 533038d9a 7eeebb64d797f9eb3b6d291.pdf?lang=fa

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.193-215 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77009.1239 Open access

Landslide Hazard Zoning Using Hierarchical Analysis Process (AHP) Model and GIS Technology (Case Study: Baghmalek County)

Morteza Lajmorak[a*], Zahra Piri[b]

[a] *MA in Geomorphology, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran*
[b] *MA in Geomorphology, Tabriz University, Tabriz, Iran*

Received: 4 October 2022 ***Revised: 3 December 2022*** ***Accepted: 21 December 2022***

Abstract

Landslide phenomenon is a kind of danger in mountainous areas, which has always caused a lot of damages in Iran. Therefore, identifying areas that are prone to landslides can prevent the occurrence of this phenomenon and save human life and property. The purpose of this research was to prioritize the effective components in the occurrence of landslides and zoning the risk of its occurrence in Bagh Malek county. For zoning the risk of landslides, 9 factors were considered, including: slope, geology, water drainage network, height, rainfall, land use, fault, slope direction and road. The method used in landslide zoning is AHP. Geographic information system (GIS) software was also used to combine the layers. In the Hierarchical Analysis Process (AHP) method, the weight of each of the nine factors was calculated and applied to the desired layers according to the importance of each of them in the occurrence of landslides, and by stacking the layers, a landslide risk zoning map was produced. The results showed that the factor of slope, land type and surface water network with the highest rank of 1 to 3, and the road and slope direction with the 8th and 9th rank have the least impact on the occurrence of landslides in this region. Low risk areas have 43.25% and high risk areas have 4.01% of the area. The results showed that most landslides in the region are related to the slope and type of land. The most sensitive parts of the region to landslides are the southwest and parts of the east and west of the region, and the most resistant parts of the region are some parts of the north, northwest, and some parts of the east of the region.

Keywords: Zoning, Landslide, Hierarchical Analysis Process (AHP), GIS, Baghmalek

[*]. Corresponding author: Morteza Lajmorak Email: m.lajmoorak@modares.ac.ar Tel:+989168949488

How to cite this Article: Lajmorak, M., & Piri, Z. (2023). Landslide hazard zoning using Hierarchical Analysis Process (AHP) Model and GIS technology (Case study: Baghmalek County). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 193-215.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.77009.1239

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77009.1239

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۲۱۵-۱۹۳

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعهٔ موردی: شهرستان باغملک)

مرتضی لجم اورک[1]- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
زهرا پیری- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۳۰

چکیده

پدیدهٔ زمین‌لغزش یکی از انواع حرکت‌های دامنه‌ای است که همواره خسارات زیادی را در کشور به وجود آورده است. انتقال بخشی از رسوبات دامنه به سمت پایین آن علاوه بر خسارت‌های مالی، خطرات جانی زیادی را نیز در پی خواهد داشت؛ بنابراین شناسایی مناطقی که مستعد زمین‌لغزش می‌باشند می‌تواند در حد ممکن از وقوع این پدیده جلوگیری کند و باعث حفظ جان و مال انسان‌های در معرض خطر شود. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در سطح شهرستان باغملک است. برای اولویت‌بندی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش ۹ عامل در نظر گرفته‌شده، این عوامل ۹ گانه شامل: شیب، زمین‌شناسی، شبکه زهکش آب، ارتفاع، بارندگی، کاربری اراضی، گسل، جهت شیب و جاده است. روش مورداستفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش AHP است و برای تلفیق لایه‌ها نیز از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیا استفاده‌شده است. درروش فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن هریک از عوامل ۹ گانه با توجه به اهمیت هر یک از آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش در منطقه موردنظر محاسبه‌شده و در لایه‌های موردنظر اعمال می‌شود و با روی‌هم قرارگیری لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۶۸۹۴۹۴۸۸ Email: m.lajmoorak@modares.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

لجم اورک، مرتضی؛ پیری، زهرا؛ ۱۴۰۲. **پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعه موردی: شهرستان باغملک)**. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳)، صص ۲۱۵-۱۹۳

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77009.1239

تولید می‌شود. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که عامل شیب، جنس زمین و شبکه آب‌های سطحی با رتبه یک تا سوم بیشترین تأثیر و جاده و جهت شیب با رتبه هشتم و نهم نیز کمترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در این منطقه داشته است. مناطق با خطر کم ۴۳.۲۵ درصد و مناطقی با خطر زیاد ٤.۰۱ درصد از منطقه را داشته‌اند. نتیجه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در منطقه در ارتباط با شیب و جنس زمین بوده؛ چراکه این عوامل با دخالت فعالیت‌های شبکه آب‌های سطحی، بارندگی و دیگر عوامل یادشده، باعث سست شدن پیوند بین رسوبات شده و حرکت آن‌ها را موجب می‌شود. حساس‌ترین قسمت‌های منطقه نیز جنوب غرب و قسمت‌هایی از شرق و غرب منطقه بوده و مقاوم‌ترین قسمت منطقه قسمت‌های شمال، شمال غرب و بخش‌هایی از شرق منطقه بوده است.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، GIS، باغملک.

۱- مقدمه

زمین‌لغزش‌ها، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی و یا سطوح شیب‌دار هستند که به‌واسطهٔ دخالت‌های انسانی و یا عوامل طبیعی به وجود می‌آیند (لن[1] و همکاران، ۲۰۰٤). عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه، خاک و سنگ‌ها را با کمک نیروی جاذبه به‌طرف پایین دامنه انتقال داده و زمین‌لغزش را موجب می‌شوند (کرم،۱۳۸۰). زمین‌لغزش‌ها علاوه بر خسارت‌های جانی، خسارات مالی فراوانی دارند. عواملی مانند تخریب جاده، پل و اماکن مسکونی ضمن اینکه باعث زیان‌های مالی می‌شود، خود یک نوع تهدید جانی هستند (ایلوو[2] و یاماگیشی، ۲۰۰۵). پدیده زمین‌لغزش در کشور ایران به‌عنوان یک مخاطره طبیعی همواره هزینه‌های جانی و مالی زیادی را به وجود آورده است. بر اساس یک برآورد اولیه سالانه بیش از ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود (حق‌شناس، ۱۳۷٤). یکی از مکان‌هایی که بیشترین حساسیت را در رابطه با لغزش دارند مناطق مسکونی شهری و روستایی است (الوتی[3]، ۱۹۹۹). در این مناطق به سبب وجود سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی و صنعتی... رخداد زمین‌لغزش از اهمیت زیادی برخوردار است (صالحی و همکاران، ۱۳۹٦). جلوگیری از وقوع زمین‌لغزش‌ها به‌صورت کلی تقریباً امری غیرممکن است؛ زیرا تمامی شرایط توپوگرافیکی و لیتولوژیکی همراه با دیگر پدیده‌های مؤثر طبیعی و انسانی، شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کند؛ بنابراین شناسایی، اولویت‌بندی و پهنه‌بندی مهم‌ترین عوامل در رخداد زمین‌لغزش‌ها با استفاده از روش‌های دقیق، به متخصصین علاوه بر تشخیص مناطق حساس برای لغزش، در انجام برنامه‌ریزی‌ها و امور عمرانی – توسعه‌ای نیز یاری می‌رساند (اونق، ۱۳۸۲). از مهم‌ترین عواملی که باعث به وجود آمدن زمین‌لغزش می‌شوند و یا اینکه شرایط مساعدی را برای وقوع

1 Lan et al, 2004
2 Ayalew & Yamagishi
3 Aloetti

آن فراهم می‌کنند می‌توان به شیب، جهت شیب، جنس زمین، ارتفاع منطقه، بارندگی، شبکه آب‌های سطحی، گسل، راه‌ها و همچنین کاربری اراضی اشاره کرد. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش یکی از راه‌های شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از عوامل یادشده است (لی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). هدف بیشتر پژوهش‌هایی که در رابطه با حرکات دامنه‌ای و بخصوص پدیده زمین‌لغزش انجام می‌شود، پهنه‌بندی و درنهایت تولید نقشه مناطق حساس به زمین‌لغزش بر اساس داده‌های مربوطه و در ارتباط با عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده است (پادوزکو[2]، ۲۰۰۹). درزمینه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش تحقیقات زیادی صورت گرفته که تعدادی از آن‌ها به این شرح است: (رنجبر، ۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه کرگانرود با استفاده از AHP پرداخته و به این نتیجه رسیده است که سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب و جاده به ترتیب مهم‌ترین عواملی هستند که در ایجاد حرکات دامنه‌ای مؤثر هستند. (حاتمی فر و همکاران، ۱۳۹۱) به بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از AHP و فن GIS در شهرستان خرم‌آباد پرداخته و به این نتیجه رسیده است که فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰) به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز کارون بزرگ با استفاده از روش AHP در سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پرخطرترین سطوح حوضه ازنظر لغزش اغلب در مجاورت مراتع و تپه‌ماهورها بوده و همچنین تغییرات اراضی و توپوگرافیکی و همچنین فعالیت دام‌ها نیز در تشدید این پدیده مؤثر بوده‌اند. (فیض نیا و همکاران،۱۳۸۳) به بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه آبریز شیرین رود سد تجن با به‌کارگیری مدل AHP و نرم‌افزار GIS پرداخته و به این نتیجه رسیده است که دو عامل شیب و شبکه هیدروگرافی کمترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. (جمالی، ۱۳۸۸) در پژوهشی به کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز منشاد یزد پرداخته نتایج نشان می‌دهد که فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش است. محمدخان (۱۳۸۱) زمین‌لغزش حوضه آبریز طالقان را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[3] پهنه‌بندی نموده و به این نتیجه رسیده است که از بین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش عامل لیتولوژی با توجه به خصوصیات طبیعی منطقه، بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در این منطقه داشته است. (شادفر و همکاران، ۱۳۸٦) با به‌کارگیری عوامی مانند شیب، جهت دامنه، ارتفاع، گسل، شبکه آب، راه‌های ارتباطی و سنگ‌شناسی حوضه آبریز چالکرود تنکابن و با استفاده از AHP به پهنه‌بندی این منطقه ازنظر وقوع زمین‌لغزش پرداخته و به این نتیجه رسیده است که این روش به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی نتیجه

1 Li et al
2 Podvezko
3 Analytical Hierarchy Process

بهتری را ارائه می‌دهد. (یوشیماتسو و آبه،[1] ۲۰۰۶) با استفاده از مدل AHP به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر وقوع پدیده زمین‌لغزش در ژاپن پرداخته و درنهایت روشی را برای پیش‌بینی مناطقی زمین‌لغزش در آن‌ها وجود دارد به وجود آورده است. (یالسین و همکاران،۲۰۱۱[2]) به ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی و GIS در ترابزون ترکیه پرداخته و به این نتیجه رسیدند که زمین‌شناسی، ارتفاع، فاصله از جاده و تغییر کاربری اراضی مهم‌ترین عوامل وقوع زمین‌لغزش در منطقه هستند. (الجزولی[3] و همکاران، ۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی حساسیت زمین‌لغزش در مراکش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته است و به این نتیجه رسیده که مناطقی که دارای حساسیت بسیار زیادی ازنظر زمین‌لغزش هستند در داخل دره‌های رودخانه‌ای و زمین‌های شیب‌دار هستند. (آبای[4] و همکاران، ۲۰۱۹) به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از AHP در اتیوپی پرداخته نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی، نزدیکی به گسل، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. (سارولی[5]، ۲۰۰۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کره جنوبی پرداخته است، لایه‌های اطلاعاتی مورداستفاده در این پژوهش شامل شیب، جهت شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی هستند که پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی و مطابقت آن با پراکندگی لغزش‌ها مشخص‌شده این روش نتایج نسبتاً مناسبی را ارائه داده است. (چون هنگ وو و سوچین چن[6]، ۲۰۰۹)، در تایوان دلایل انواع زمین‌لغزش‌ها را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که فعالیت‌های مانند ساخت جاده و از همه مهم‌تر شیب دامنه و بارندگی ازجمله مهم‌ترین عوامل در ایجاد حرکات توده‌ای می‌باشند. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مؤلفه‌های یادشده در سطح شهرستان باغملک است.

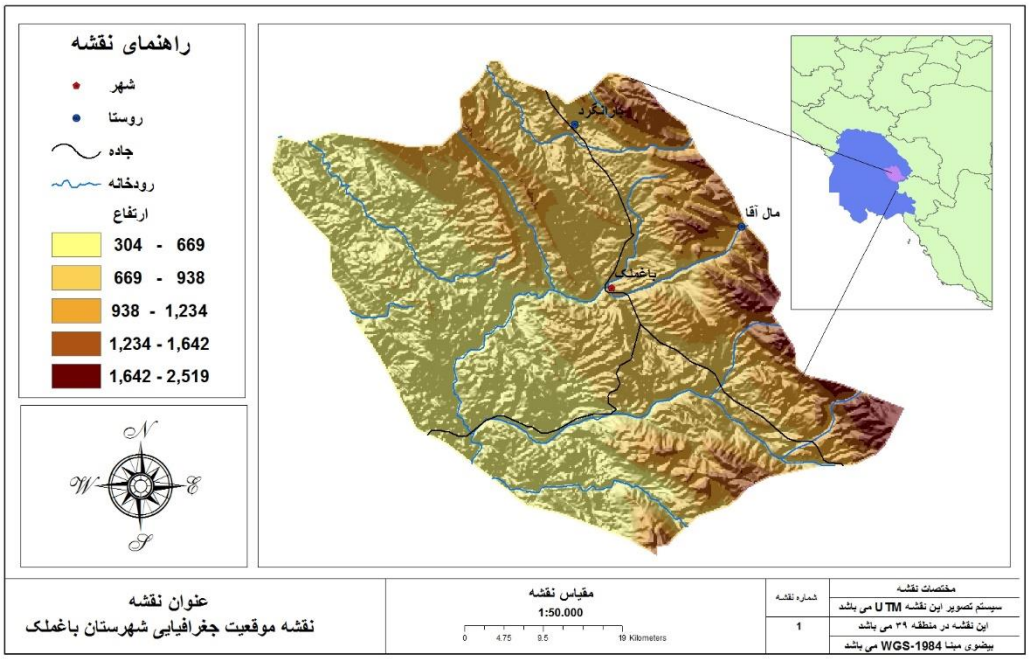
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-موقعیت محدوده موردمطالعه

شهرستان باغملک یکی از شهرستان‌های شرقی استان خوزستان است که دارای مساحتی در حدود ۲.۲۵۹ کیلومترمربع است. این شهرستان ازنظر جغرافیایی در ٤۹ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۹۱۷ متری از سطح دریا واقع‌شده است. بیشترین ارتفاع شهرستان بیش از ۲۵۰۰ متر است و کمترین آن ۳۰٤ متر است. بیشترین زمین‌های شیب‌دار منطقه در اراضی کوهستانی است و زمین‌های هموار منطقه

1 Yoshimatsu & Abe
2 Yalcin & et al
3 El jazouli
4 Abay
5 Saro lee & kyungduck Min
6 Chun-Hung we,Su-Chin Chen

نیز در قسمت‌های جنوب غرب و غرب شهرستان است. تعدادی از رودخانه‌های این منطقه فصلی و تعدادی نیز به‌صورت دائمی می‌باشند که یکی از رودخانه‌های دائمی این شهرستان رودخانه ابوالعباس است. اقلیم شهرستان نیز از نیمه‌خشک تا نیمه مرطوب است؛ این مسئله خود باعث تنوع در شرایط آب و هوایی و همچنین خاک و پوشش گیاهی شده است (لجم اورک و همکاران، ۱٤۰۰). شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت محدوده موردمطالعه

۲-۲- روش و مواد پژوهش

در این پژوهش، روش تحقیق توصیفی- تحلیلی بوده و از داده‌های مرتبط باهدف پژوهش و حاصل پژوهش‌های دیگر محققان نیز استفاده‌شده است. در فرایند تحقیق از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده‌شده است. در یک تعریف کلی روش AHP یک روش کمی و کیفی است که بر اساس نظر خبرگان و سپس امتیازدهی به‌صورت ماتریس مقایسات زوجی که در رابطه با نظرات و کارشناسی‌های خبرگان برای هر یک از معیارها است، انجام‌شده؛ این امتیازدهی بر اساس جدول کمیتی ساعتی است. (اصغر پور،۱۳۹۲). روش AHP یکی از مدل‌هایی است که معیارهای تصمیم‌گیری را به‌صورت سلسله مراتبی بررسی کرده، به‌گونه‌ای که معیارهای هر سطح نسبت به عوامل مربوط به خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده و درنهایت وزن مربوط به هر معیار به دست خواهد آمد. در این مقایسات تصمیم‌گیرنده از قضاوت‌های شفاهی که بر اساس جدول کمیتی ساعتی است، برای امتیازدهی به

معیارها استفاده می‌کند؛ این قضاوت‌ها از اهمیت برابر تا کاملاً بااهمیت و مهم می‌باشند (شادفر، ۱۳۸٦). اطلاعات به‌دست‌آمده در قالب امتیاز و سپس وزن، برای معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش نمایش داده می‌شوند. درنهایت با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، وزن‌های مربوطه را به لایه‌های متناسب با آن‌ها نسبت داده و نقشه نهایی پهنه‌بندی شده که گویای مناطق مستعد زمین‌لغزش است، به دست خواهد آمد. برای دست‌یابی به داده‌های موردنیاز، منابع اطلاعاتی در رابطه با منطقه موردمطالعه بررسی‌شده و سپس عواملی که در ایجاد زمین‌لغزش‌ها در منطقه مؤثر بوده‌اند شناسایی و نقشه‌هایی متناسب با آن‌ها ساخته‌شده است. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارندگی، گسل، جاده، شبکه زهکش، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی می‌باشند. علاوه بر لایه‌های مذکور از مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1]) به‌عنوان پایه کار و از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای تهیه نقشهٔ زمین‌شناسی و گسل شناسی منطقه استفاده‌شده است. جدول ۱ وضعیت ارزش‌گذاری شاخصه‌ها نسبت به هم درروش (AHP) را نشان می‌دهد.

جدول ۱–وضعیت ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم (قدسی پور، ۱۳۸۸)

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً i از j مهم‌تر و قابل‌مقایسه با j نیست.
۲ و ٤ و ٦ و ۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

برای انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش AHP، پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و امتیازدهی به آن‌ها بر اساس جدول ۱، وزن نسبی هر یک از معیارها را می‌توان با توجه به رابطه ۱ به دست آورد، به این‌گونه که ابتدا باید مقادیر ماتریس مقایسات زوجی را به‌صورت ستونی جمع کرده و در مرحله بعد هر یک از معیارها را بر جمع ستونی تقسیم نموده با این کار ماتریس موجود نرمالایز شده است. در مرحله بعد با توجه به رابطه ۲ می‌توان میانگین هر یک

1 Digital elevation model

از سطرهای ماتریس نرمال شده را به‌صورت میانگین حسابی محاسبه کرد و درنهایت وزن هر یک از معیارها را به دست آورد.

رابطه ۱: $rij= aij/\sum_{i=1}^{m} aij.$

رابطه ۲: $wi= \sum_{i=1}^{n} rij/n$

در رابطه ۱، m تعداد ستون ماتریس مقایسات، aij درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی و در رابطه ۲، n تعداد سطرهای ماتریس، rij درایه‌های ماتریس نرمال شده به ازای گزینه i آم و شاخص j آم و wi وزن گزینه i آم است.

یکی از مواردی که در رابطه با روش AHP برای انجام یک کار پژوهشی عنوان می‌شود، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی است. چنانکه بر طبق نظر ساعتی اگر این نرخ ناسازگاری ماتریس بیشتر از ۰/۱ باشد باید در امتیازات موردنظر تجدیدنظر کرد و اگر این نرخ ۰/۱ یا کمتر باشد نشان‌دهنده دقت امتیازات موجود است (خضری، ۱۳۹۱). برای انجام نرخ ناسازگاری نیز باید از جدول شاخص تصادفی و رابطه‌های زیر استفاده کرد:

رابطه ۳: $II=max-n/n-1$

رابطه ٤: $IR=II/IRI$

در روابط ۳، max مقدار ویژه حاصل از ماتریس، n تعداد گزینه‌های موجود در مسئله و ۱ عدد ثابت در معادله. در رابطه ٤، IR نرخ ناسازگاری تصادفی، II شاخص ناسازگاری و IRI شاخص تصادفی ناسازگاری است. جدول ۲ شاخص تصادفی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-شاخص تصادفی (قدسی پور، ۱۳۸٤)

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
I.R. I	۰	۰	۰/٥۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٥۱

۲-۳-ابزارهای پژوهش

نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، یکی از ابزارهایی است که می‌توان با استفاده از آن، داده‌های خام را به نقشه‌ها تبدیل کرد و همچنین می‌توان با استفاده از توابع موجود در آن، هر یک از وزن‌های به‌دست‌آمده درروش

تحلیل فرایند سلسله مراتبی را به لایه‌های موردنظر نسبت داد و درنهایت آن‌ها را همپوشانی کرد. نرم‌افزار expert choice[1] نیز یکی از نرم‌افزارهای کاربردی جهت مشخص کردن وزن هر یک از معیارها با توجه به امتیازات داده‌شده به معیارها درروش AHP است. این نرم‌افزار قابلیت انجام تمام مراحل وزن گیری شامل تشکیل ماتریس امتیازدهی، نرمالایز کردن، وزن دهی و به دست آوردن نرخ ناسازگاری را به روش AHP دارد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-نتایج

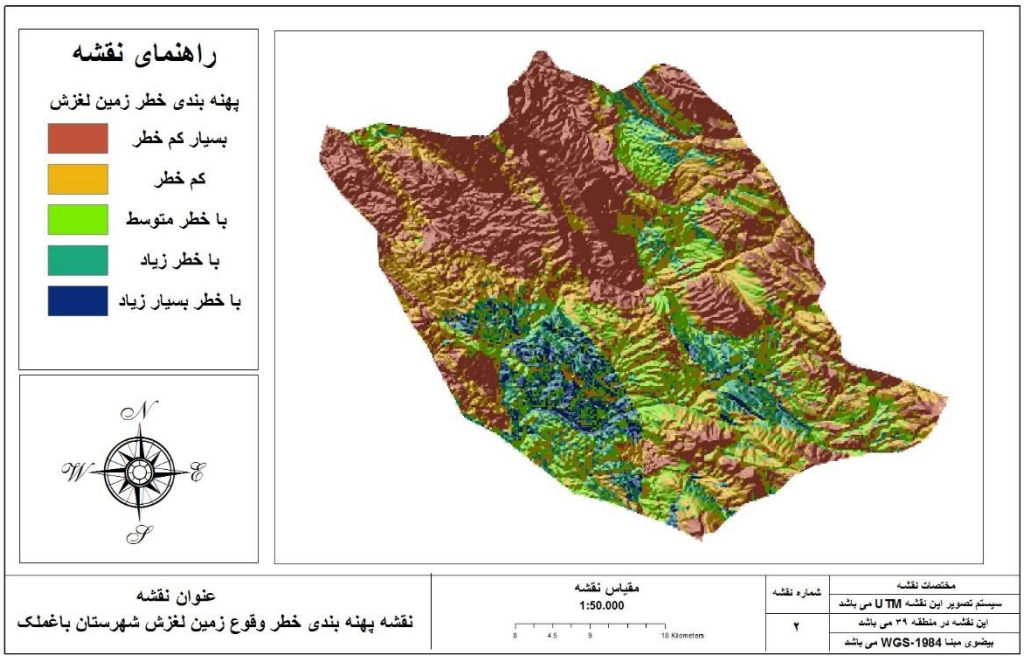
با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از عوامل موجود، مشخص‌شده است که عامل شیب با وزن ۰/۱۳۵ بیشترین تأثیر را بر روی رخداد زمین‌لغزش داشته و بعدازآن جنس زمین با وزن ۰/۱۲٦ در رتبه دوم قرار دارد. شبکه آب‌های سطحی با توجه به تراکم و عملکرد خود با وزن ۰.۱۲۱ سومین عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شناسایی‌شده است. ارتفاع، بارندگی، کاربری اراضی و گسل، با وزن‌های ۰.۱۱٦–۰.۱۱۲ – ۰.۱۰٦ و ۰.۱۰۰ به ترتیب در رتبه‌های بعدی ازنظر میزان اهمیت در رخداد زمین‌لغزش قرار دارند؛ جهت شیب و جاده نیز با وزن ۰/۰۸۸ و ۰.۰۹٦ کمترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. نرخ ناسازگاری ماتریس نیز ۰.۰۰۲۸٦ است. جدول ۳ وزن معیارها در نرم‌افزارexpert choice را نشان می‌دهد.

جدول۳- وزن معیارها محاسبه‌شده در نرم‌افزار expert choice

ردیف	معیار	وزن
۱	شیب	۰.۱۳۵
۲	زمین‌شناسی	۰.۱۲٦
۳	شبکه زهکش آب	۰.۱۲۱
٤	ارتفاع	۰.۱۱٦
٥	بارندگی	۰.۱۱۲
٦	کاربری اراضی	۰.۱۰٦
۷	گسل	۰.۱۰۰
۸	جهت شیب	۰.۰۹٦
۹	جاده	۰.۰۸۸

۱ انتخاب خبرگان

با به دست آمدن وزن هر یک از عوامل ۹ گانه و تولید نقشه‌هایی به‌تناسب هر یک از عوامل، لایه‌های وزن‌دار شده نیز بر اساس نسبت دادن وزن هر یک از مؤلفه‌های موجود به لایه‌های مربوط به خود، تولیدشده است. درنهایت به‌وسیلهٔ همپوشانی لایه‌ها وزن‌دار شده در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی شده خطر وقوع زمین‌لغزش به‌دست‌آمده است. شکل ۲ و جدول ٤ به ترتیب نقشه پهنه‌بندی شدهٔ خطر وقوع زمین‌لغزش و مساحت طبقات پهنه‌بندی شده زمین‌لغزش را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی شده خطر وقوع زمین‌لغزش

جدول ٤- مساحت و درصد مساحت طبقات پهنه‌بندی شده زمین‌لغزش درروش AHP

ردیف	نام طبقه	مساحت (KM2)	درصد مساحت (٪)
۱	بسیار کم‌خطر	۹۰۹.٤۷	٤۳.۲٥
۲	کم‌خطر	٥٥۳	۲٦.۲۹
۳	متوسط	۳٥۳.۳۸	۱٦.۸۰
٤	با خطر زیاد	۲۰۲.٥۲	۹.٦۳
٥	با خطر بسیار زیاد	۸٤.۳۲	٤.۰۱

۳-۲-بحث

۳-۲-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

در این پژوهش، از ۹ مؤلفه شامل شیب، زمین‌شناسی، شبکه زهکش آب، ارتفاع، بارش، کاربری ارضی گسل، جهت شیب و راه ارتباطی که بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته‌اند استفاده‌شده است. پس از بررسی میزان تأثیر هرکدام از عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش و با در نظر گرفتن خصوصیات عوامل ۹ گانه، امتیازدهی به آن‌ها بر اساس مؤثر بودن در وقوع زمین‌لغزش بر طبق نظر خبرگان درروش فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام‌شده است. مبنای این امتیازدهی بر اساس تأثیرگذاری هر یک از پدیده‌ها در رخداد زمین‌لغزش است. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و متناسب با آن، امتیازات به‌دست‌آمده در نرم‌افزارExpert choice، امتیازات نرمالایز شده و درنهایت وزن هر یک از عوامل، با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار یادشده، محاسبه‌شده است و اوزان نهایی نیز در جدول ۳ نمایش داده‌شده است. جدول ۵ فرایند امتیازدهی به عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش بر اساس اولویت برای هر یک از معیارها را نشان می‌دهد.

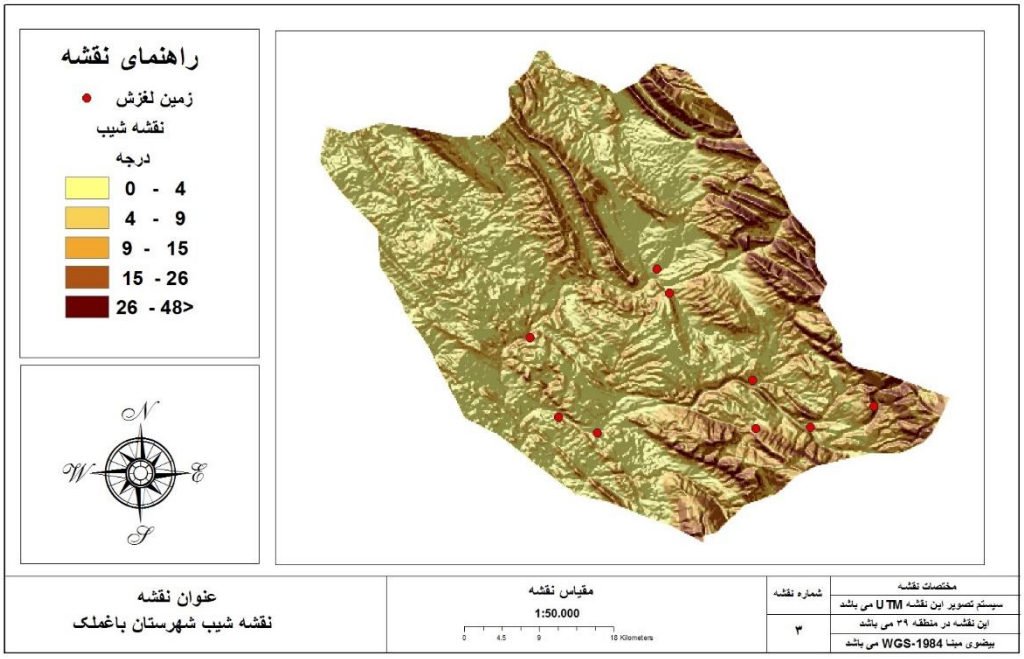
جدول ۵- امتیازدهی به عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

جاده	جهت شیب	گسل	کاربری اراضی	بارندگی	ارتفاع	شبکه زهکش	زمین‌شناسی	شیب	معیارها
۱.۳۷	۱.۲۳	۱.۳۲	۱.۲۹	۱.۲۵	۱.۲۲	۱.۲۰	۱.۱۷	۱	شیب
۱.۳۰	۱.۲۶	۱.۲٤	۱.۲۲	۱.۱٤	۱.۱۹	۱.۱۷	۱	–	زمین‌شناسی
۱.۳۱	۱.۲۵	۱.۲۳	۱.۱٤	۱.۱۹	۱.۲۱	۱	–	–	شبکه زهکش
۱.۲٦	۱.۲۱	۱.۲٤	۱.۲۲	۱.۲۰	۱	–	–	–	ارتفاع
۱.۲۷	۱.۲۵	۱.۲٤	۱.۲۲	۱	–	–	–	–	بارندگی
۱.۲۸	۱.۲۵	۱.۲۱	۱	–	–	–	–	–	کاربری اراضی
۱.۲۷	۱.۲٤	۱	–	–	–	–	–	–	گسل
۱.۲۸	۱	–	–	–	–	–	–	–	جهت شیب
۱	–		–	–	–	–	–	–	جاده

۳-۲-۲-تحلیل مؤلفه‌ها بر اساس اولویت

۳-۲-۲-۱- شیب

لایه شیب منطقه موردمطالعه در ۵ طبقه به درجه، تقسیم‌بندی شده است. با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده مشخص‌شده است که عامل شیب با وزن ۰.۱۳۵ بیشترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش داشته است. بامطالعه و بررسی نقاط زمین‌لغزش و لایه شیب منطقه مشخص‌شده است که شیب‌های بین ۰ تا ۱۵ درجه مناطقی هستند که بیشترین تعداد زمین‌لغزش‌ها در آن محل رخ‌داده است. این شیب‌ها به سبب نوع رسوبات، الگوی شبکه آب‌های سطحی و پوشش گیاهی، حساسیت بیشتری نسبت به زمین‌لغزش دارند. تنها مقدار کمی از نقاط زمین‌لغزش در منطقه کوهستانی و در دیواره کوهستان رخ‌داده است. شکل ۳ میزان شیب شهرستان باغملک را نشان می‌دهد.

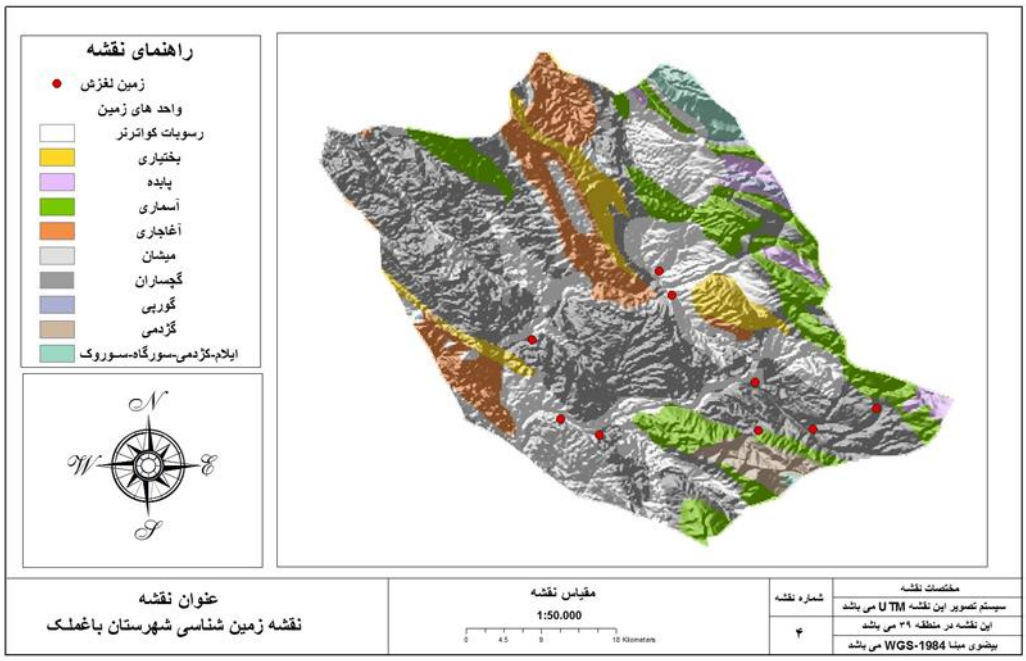


شکل ۳- نقشه شیب

۳-۲-۲-۲-زمین‌شناسی

نقشه زمین‌شناسی شهرستان باغملک در ۱۰ طبقه و شامل سازندهای بختیاری، گورپی، آسماری، آغاجاری، گژدمی-ایلام-سورگاه-سوروک، میشان، گچساران، پابده، رسوبات کواترنر و کژدمی می‌باشند. با توجه به وزن به‌دست‌آمده عامل سازند زمین‌شناسی با وزن ۰.۱۲۶ در رتبه دوم اهمیت قرار دارد. به‌مانند نقشه شیب، با مقایسه نقشه زمین‌شناسی با نقاط زمین‌لغزش منطقه مشخص‌شده است که رسوبات کواترنر و سازند گچساران بیشترین حساسیت

را نسبت به زمین‌لغزش‌ها داشته‌اند چراکه تمام زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در این دو سازند هستند. در این میان سازند گچساران به سبب نوع رسوبات خود که شامل گچ، نمک و مارن های قرمز و خاکستری است، نسبت به رسوبات کواترنری حساسیت بیشتری را نشان داده است. ضخامت رسوبات کواترنر در منطقه موردمطالعه نیز متفاوت بود و بیشترین زمین‌لغزش‌ها هم در اطراف مجرای شبکه آب‌ها و یا در مکان‌هایی است که شبکه آب‌های سطحی مقداری رسوب را در مجرا یا اطراف خود به‌جای گذاشته که پیوند و مقاومت این رسوبات با توجه به ماهیت آن‌ها کم بود و مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. شکل ٤ سازندهای زمین‌شناسی شهرستان باغملک را نشان می‌دهد.

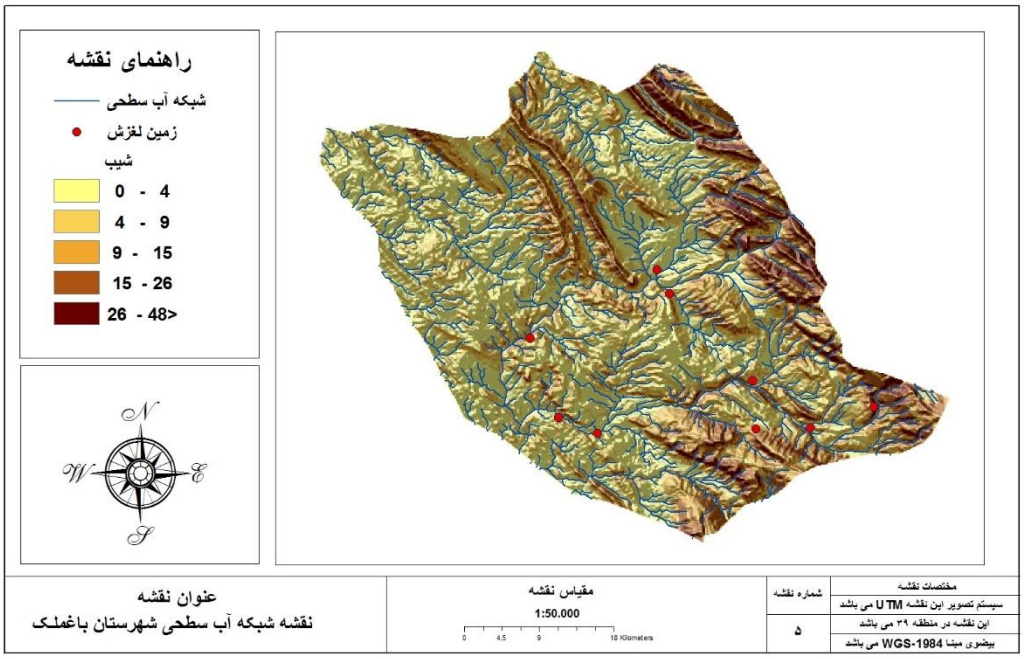


شکل ٤- سازندهای زمین‌شناسی

۳-۲-۲-۳- شبکه آب‌های سطحی

شبکه سطحی آب یکی دیگر از مؤلفه‌های مهم در رخداد زمین‌لغزش در این پژوهش است. با توجه به نقشه شبکه آب‌های سطحی منطقه، مشخص‌شده است که شبکه آب‌ها به شکل پراکنده‌ای در سطح منطقه وجود دارند و همین عامل باعث تحریک بیشتر مواد بر روی دامنه شده و علاوه بر اینکه حساسیت دامنه را برای زمین‌لغزش بیشتر می‌کند، باعث زمین‌لغزش نیز می‌شود. با مقایسه نقاط زمین‌لغزش و نقشه شبکه آب‌ها مشخص‌شده است که همهٔ نقاط زمین‌لغزش در منطقه با شبکه آب‌ها در ارتباط بوده و شبکه آب با حرکت خود بر روی سطح دامنه باعث وقوع زمین‌لغزش شده است. وزن به‌دست‌آمده در فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای شبکه آب‌های سطحی ۰.۱۲۱ است که

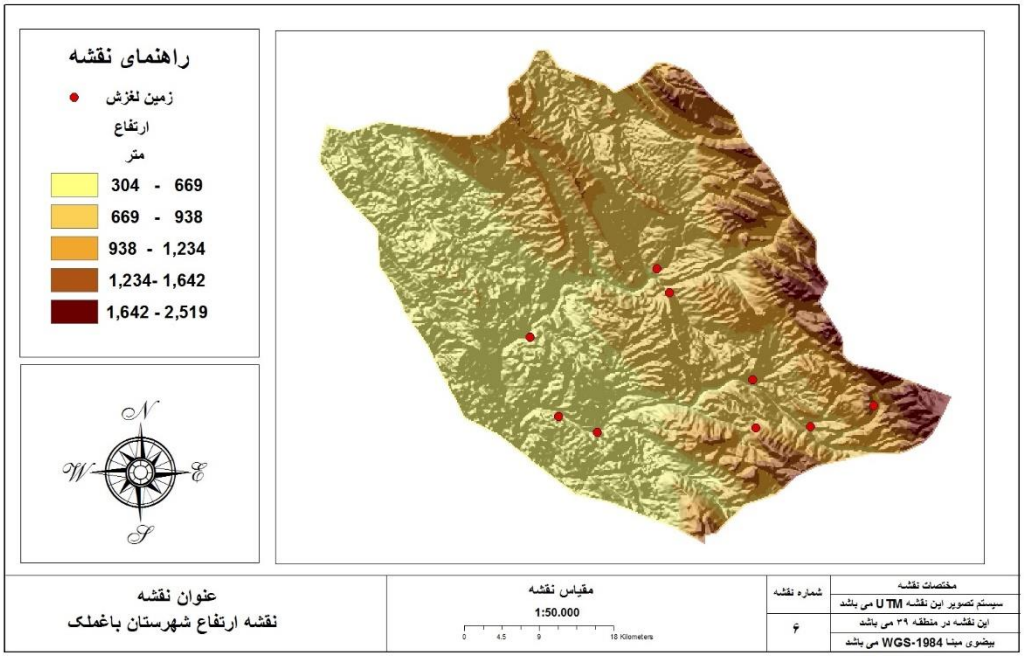
در رتبه سوم قرار دارد. این مؤلفه در کنار عواملی مثل شیب و جنس زمین از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در وقوع زمین‌لغزش شناخته‌شده‌اند. شکل ۵ شبکه آب‌های سطحی شهرستان باغملک را نشان می‌دهد.



شکل ۵- شبکه سطحی آب

۳-۲-۲-٤- ارتفاع

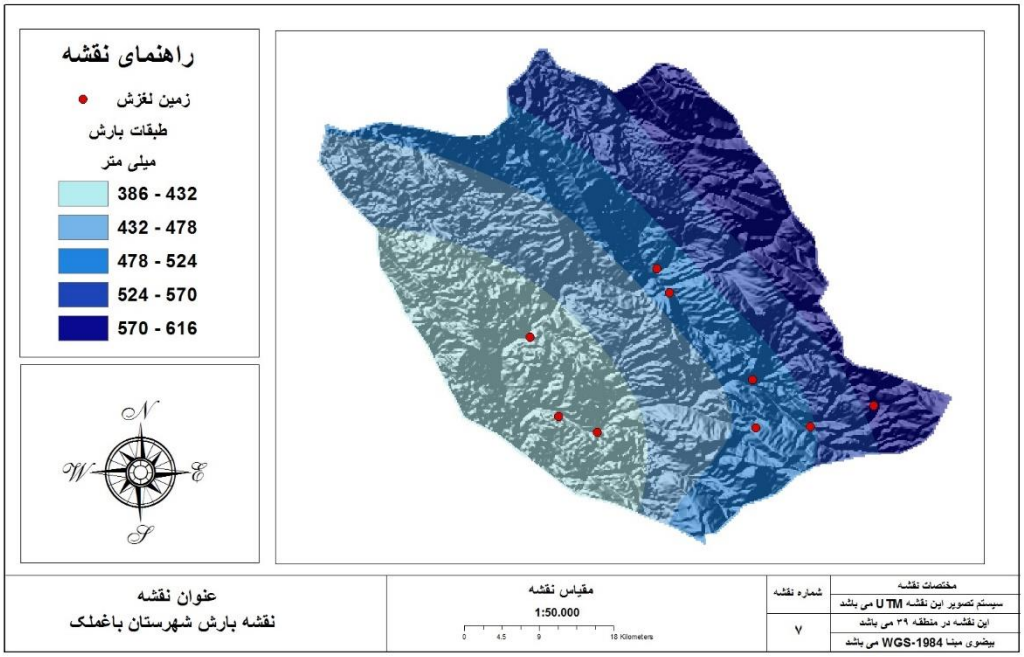
لایه ارتفاع در ۵ طبقه از ۳۰٤ متر تا ۲۵۱۹ متر است. بیشترین ارتفاع در مناطق شرقی شهرستان و کمترین آن در قسمت‌های غرب و جنوب غربی منطقه قرار دارند. تأثیر ارتفاع در رخداد زمین‌لغزش بسیار بااهمیت بوده است. با بررسی منطقه موردنظر و نقاط زمین‌لغزش در منطقه مشخص‌شده است که بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در ارتفاع ٦٦۰ متر تا بیش از ۹۰۰ متر است و پس‌ازآن ارتفاع ۳۰٤ تا بیش از ٦۰۰ متر بیشترین حساسیت و بیشترین رخدادهای زمین‌لغزش را داشته است. در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر زمین‌لغزش‌های کمی رخ‌داده است که می‌تواند به علت جنس زمین در این قسمت از منطقه باشد که بیشتر از صخره‌های سنگی تشکیل‌شده است؛ این مکان‌ها بیشتر مناطق دارای استعداد ریزش هستند. وزن به‌دست‌آمده برای ارتفاع منطقه ۰.۱۱٦ است که متناسب بااهمیت این مؤلفه و نقشی که در وقوع زمین‌لغزش دارد است، بنابراین در رتبه چهارم اهمیت قرار می‌گیرد. شکل ٦ سطوح ارتفاعی در شهرستان باغملک را نشان می‌دهد.



شکل ٦- میزان ارتفاع

۳-۲-۲-۵- میزان بارندگی

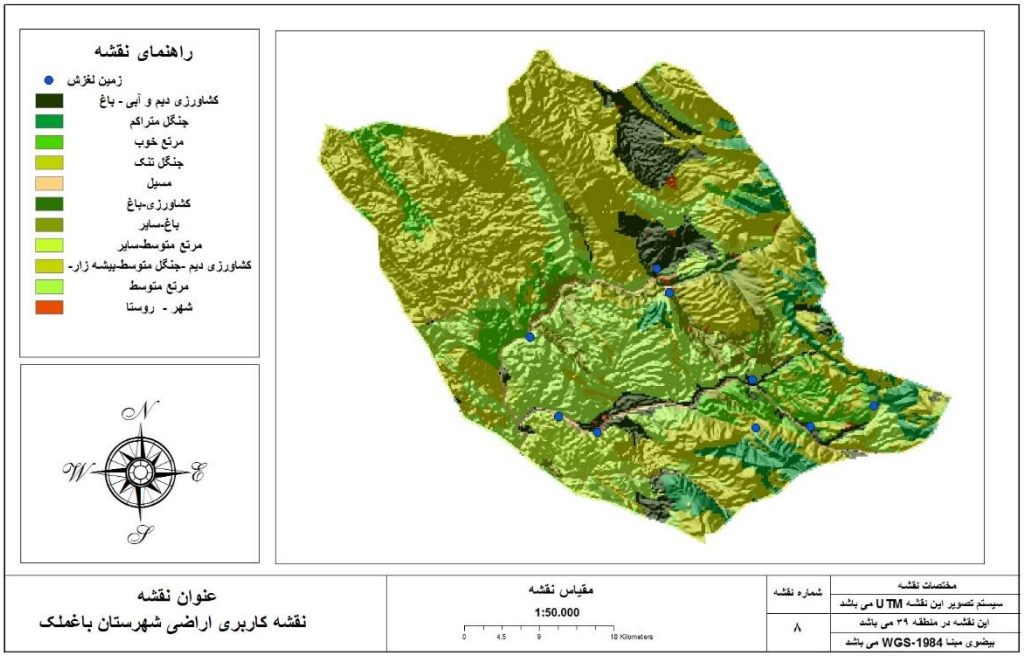
لایه بارندگی منطقه موردنظر به ۵ طبقه تقسیم‌شده که میزان بارش از ۳۸٦ میلی‌متر در غرب شهرستان تا ٦٦١ میلی‌متر در مناطق شرقی و شمال شرقی متغیر است. مقایسه موقعیت نقاط زمین‌لغزش و لایه مربوط به میزان بارش در منطقه موردنظر نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ‌داده شده در طبقاتی با ٤٧٨ تا بیش از ۵۰۰ میلی‌متر و پس‌ازآن طبقه ۳۸٦ تا بیش از ٤۰۰ میلی‌متر بوده است. در وقوع زمین‌لغزش در این دوطبقه بارشی عوامل یادشده پیشین مانند شیب، جنس زمین، فعالیت شبکه آب‌ها و دیگر موارد اثر خود را گذاشته و باعث به وجود آمدن زمین‌لغزش شده است. لایه بارندگی با وزن ۰.۱۱۲ در بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در رتبه پنجم قرار دارد. شکل ۷ میزان بارش در شهرستان باغملک را نشان می‌دهد.



شکل ۷- میزان بارش

۳-۲-۲-۶-کاربری اراضی

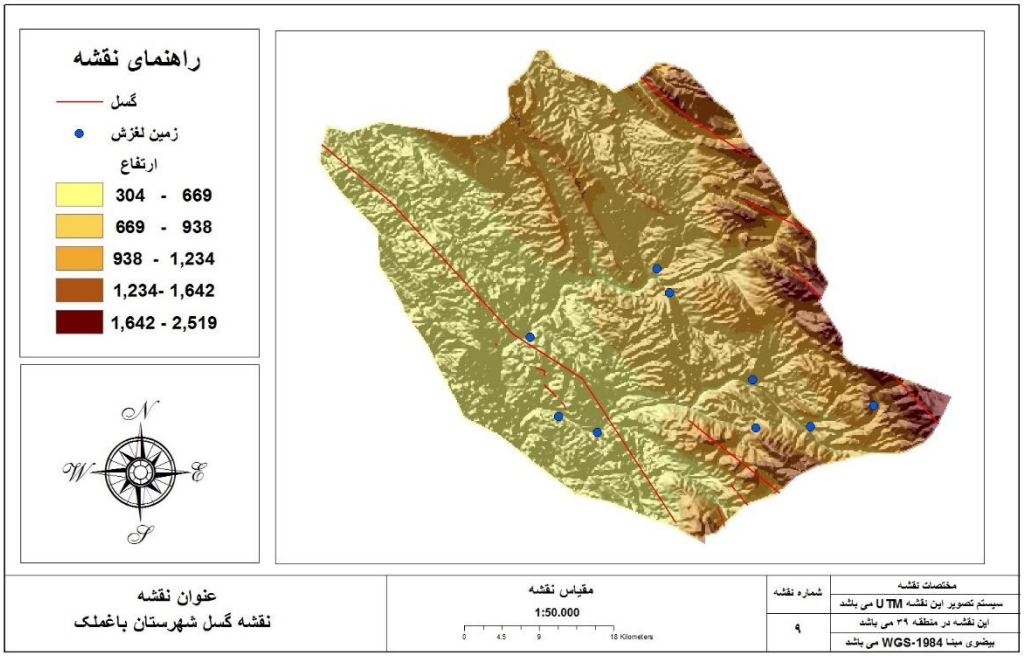
نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه در ۱۱ طبقه، بخش‌بندی شده است. طبقات کاربری اراضی شامل کشاورزی‌های دیم و آبی، باغ، جنگل انبوه و تنک، مرتع ضعیف و خوب، مسیل، بیشه‌زار و منطقه شهری و روستایی است. با توجه به پراکندگی نقاط زمین‌لغزش منطقه و مقایسه آن‌ها با نقشه کاربری اراضی مشخص‌شده است که بیشترین کاربری‌هایی که مستعد زمین‌لغزش بوده و باعث حساسیت دامنه‌ها به زمین‌لغزش شده است شامل مراتع و مسیل، باغات و زمین‌های کشاورزی آبی می‌باشند و مابقی کاربری‌ها در وقوع این پدیده در این منطقه نقش کمرنگ‌تری را داشته‌اند. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در رابطه با رخداد زمین‌لغزش است؛ چراکه نشان‌دهنده ماهیت پوشش و کاربری سطح زمین است. کاربری اراضی با وزن ۰.۱۰۶ در رتبه ششم قرار دارد. شکل ۸ کاربری اراضی منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۸- کاربری اراضی

۳-۲-۲-۷-گسل

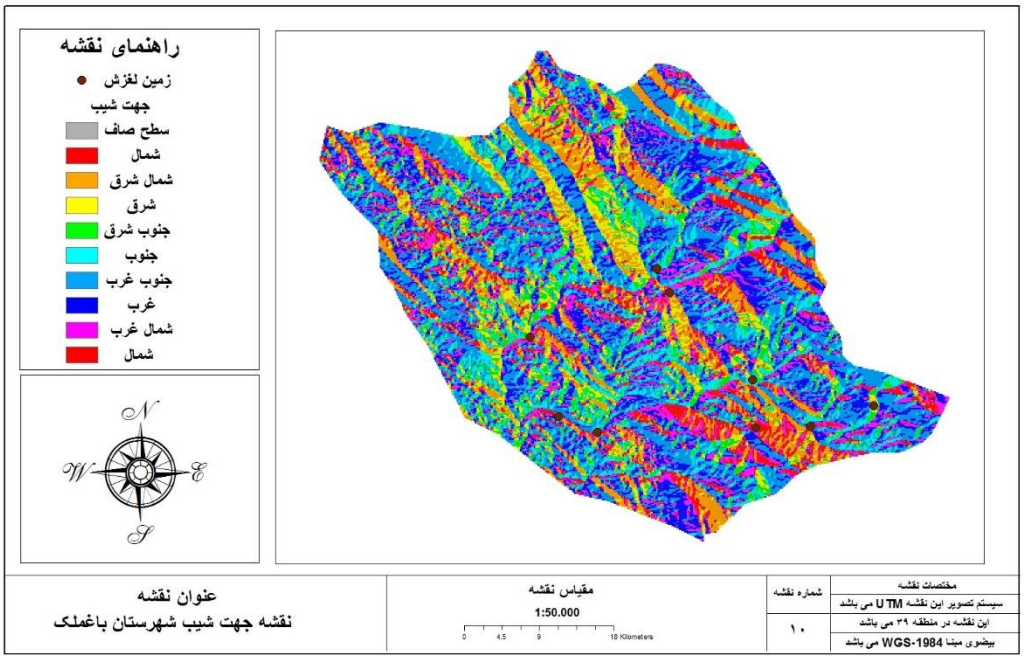
نقشه گسل شهرستان نشان‌دهنده تأثیر گسل بر وقوع زمین‌لغزش است. اهمیت گسل‌ها در رخداد زمین‌لغزش‌ها زیاد بوده چراکه حرکات ناشی گسل باعث تحریک موارد روی دامنه می‌شوند. گسل یک مخاطره است که ساخت‌وسازها را تهدید می‌کند، بنابراین مطالعه پراکندگی گسل‌ها در رابطه با شناسایی مناطق مناسب برای ساخت‌وسازهای شهری و روستایی از اهمیت خاصی برخوردار است (نصیری گله خانه و همکاران، ۱۳۸۵). در این پژوهش با توجه به خصوصیات گسل‌ها ازنظر فعال بودن و همچنین موقعیت گسل‌ها در منطقه موردمطالعه نقشه گسل تهیه‌شده است. با مقایسه نقاط زمین‌لغزش و نقشه موقعیت گسل‌ها مشخص‌شده است که ارتباط زمین‌لغزش‌ها در غرب و جنوب غرب منطقه با گسل‌ها بیشتر از سایر نقاط منطقه است. در قسمت‌های شرقی منطقه باوجود گسل‌های فراوان، نقاط لغزش بسیار کم است که به دلایلی مانند جنس زمین مربوط می‌شود. با توجه به شواهد مربوطه وزن به‌دست‌آمده برای نقش گسل‌ها ۰.۱۰۰ است که در رتبه هفتم قراردارد. شکل ۹ پراکندگی گسل‌ها را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۹- پراکندگی گسل

۳-۲-۲-۸- جهت شیب

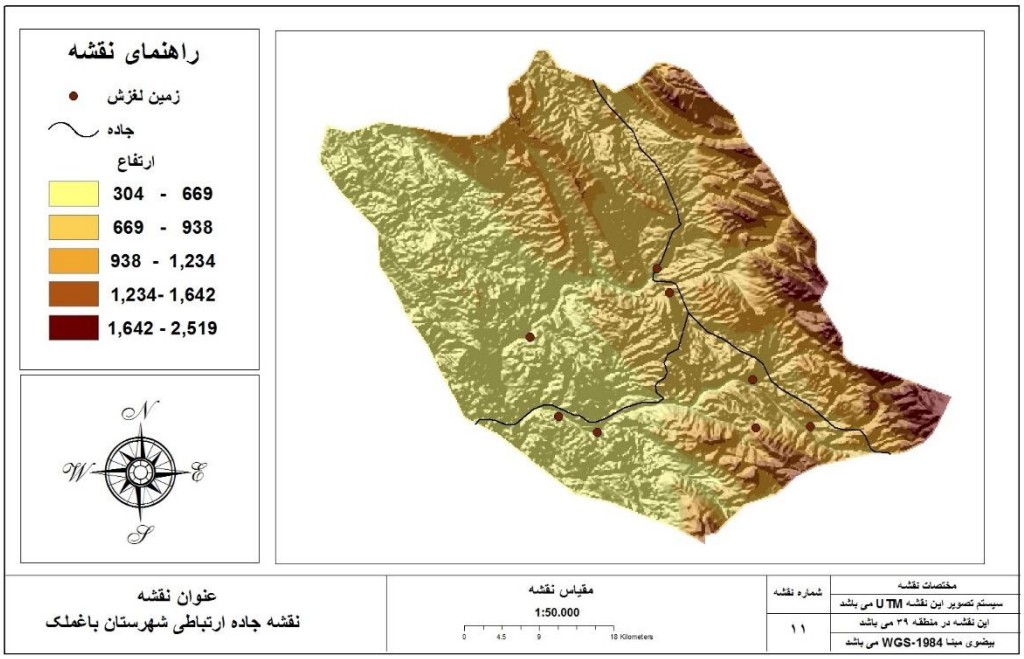
جهت شیب منطقه موردمطالعه در ۸ جهت شامل شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب تقسیم‌بندی شده است. جهت شیب در منطقه، داری سطوح صاف است که جهت زمین‌های واقع در این مکان علاوه بر این‌که به‌طرف جهات چهارگانه اصلی است به‌طرف جهات فرعی نیز بوده است. جهت شمال در این نقشه با دو درجه نشان داده‌شده که با تبعیت از الگو محاسبه درجه که در جهت عقربه‌های ساعت است، یکی از شمال‌ها با درجه ۰ تا ۲۲.۵ و دیگری از ۳۳۷.۵ تا ۳۶۰، درجه‌بندی‌شده است. جهت شیب با توجه به میزان دریافت نور آفتاب و رطوبت بر روی دامنه‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی و تأثیری که این پدیده در وقوع زمین‌لغزش دارد مهم بوده است. با مقایسه نقاط زمین‌لغزش و نقشه جهت شیب مشخص‌شده است که جهت‌های جنوب غرب، شمال غرب و شمال شرق بیشترین لغزش‌ها را داشته‌اند. وزن به‌دست‌آمده برای جهت شیب درروش فرایند تحلیل سلسله مراتبی ۰.۰۹۶ است که در رتبه هشتم قرارگرفته است. شکل ۱۰ جهت شیب را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- جهت شیب

۳-۲-۲-۹- جاده ارتباطی

جاده ارتباطی به‌عنوان آخرین مؤلفهٔ مؤثر در وقوع زمین‌لغزش موردبررسی قرارگرفته است. با در نظر گرفتن عرض کم جاده و ارتباط نقاط زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه با جاده مشخص‌شده است که این مؤلفه تأثیر کمی بر روی رخداد زمین‌لغزش داشته است. وقوع این پدیده در قسمت‌هایی از جاده احتمال دارد که در آن منطقه، زیر بری دامنه‌ای ناشی از احداث جاده صورت گرفته است. امتداد جاده در منطقه موردمطالعه علاوه بر موقعیت‌های کوهستانی، در مناطق کم ارتفاع و منطقه دشتی نیز امتدادیافته است. بیشترین حساسیت در رخداد زمین‌لغزش را جاده ارتباطی در مناطقی با ارتفاع بیش از ٦٠٠ متر و با شیب ٤ درجه موجب شده‌اند. وزن به‌دست‌آمده برای تأثیر جاده ارتباطی، ۰.۰۸۸ است که در رتبه نهم قرار دارد. شکل ۱۱ جاده ارتباطی را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- جاده ارتباطی

نقشه‌های تهیه‌شده برای مؤلفه‌های ۹ گانه، در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیا، کلاس‌بندی شده و به سبب کلاس‌بندی انجام‌شده برای هر یک از آن‌ها، نقشه‌ها وزن را به‌تناسب امتیاز کلاس دریافت نموده که با همپوشانی نقشه‌های وزن‌دار شده در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی شده خطر وقوع زمین‌لغزش به‌دست‌آمده است. بر طبق جدول ۳ بیشترین وزن را عامل شیب داشته و کمترین وزن را جاده ارتباطی کسب کرده است. با توجه به جدول ٤ مشخص‌شده است که مناطقی با خطر بسیار زیاد ٤.٠١ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص داده است و همچنین مشخص‌شده است که مناطقی با خطر بسیار کم ٤٣.٢٥ درصد از شهرستان را شامل شده که نشان از حساسیت کم منطقه نسبت به زمین‌لغزش است. با تجزیه‌وتحلیل شکل ۲، مشخص‌شده است که بیشترین مناطقی که نسبت به زمین‌لغزش حساسیت دارند در قسمت‌های جنوب غرب شهرستان قرار دارند و کم‌خطرترین مناطق شهرستان نیز در قسمت‌های شمال غربی و شمالی می‌باشند.

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مربوط به وقوع زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، مشخص‌شده است که عامل شیب با وزن ۰.۱۳۵ بیشترین میزان تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه داشته است به‌گونه‌ای که درشیب‌های ۰ تا ۱۵ درجه، بیشترین میزان از لغزش‌ها رخ‌داده است. کمترین میزان تأثیر را نیز راه

ارتباطی با وزن ۰.۰۸۸ داشته است. راه ارتباطی بیشترین فاصله را با مناطق زمین‌لغزش داشته است. دومین عاملی که بیشترین تأثیر را در زمین‌لغزش داشته عامل زمین‌شناسی با وزن ۰.۱۲٦ بوده چنانکه سازند گچساران و رسوبات کواترنری به سبب جنس رسوبات خود، بیشترین نقش را در رخداد این پدیده داشته‌اند. شبکه زهکشی نیز به سبب تراکم و حالت شاخه‌ای شدن به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار و با وزن ۰.۱۲۱ شناخته‌شده است. تعدادی از زمین‌لغزش‌ها در منطقه نیز در امتداد مجرای رودخانه و به‌عبارت‌دیگر در دیواره‌های مجرا رخ‌داده است و تعدادی دیگر هم در دامنه‌ها و در راستای مسیر شبکه آب روی‌داده است. ازنظر ارتفاعی نیز مناطقی با ارتفاع ۳۰٤ متر تا بیش از ۹۰۰ متر را می‌توان یکی از مناطق حساس جهت وقوع زمین‌لغزش عنوان کرد؛ وزن به‌دست‌آمده برای ارتفاع ۰.۱۱٦ است. تأثیر بارندگی با وزن ۰.۱۱۲ نیز بسیار گویا است به‌طوری‌که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در طبقات بارشی ٤۳۲ میلی‌متر تا بیش از ۵۰۰ میلی‌متر بوده که این مسئله با توجه به کاربری اراضی و نوع پوشش منطقه که خود تأثیر زیادی در رخداد زمین‌لغزش دارد و همچنین در رابطه با افزایش دبی شاخاب ها، بسیار مهم است. با توجه به طبقه‌بندی کاربری اراضی حساس‌ترین کاربری‌ها برای وقوع زمین‌لغزش مراتع تنک، باغات، زمین‌های کشاورزی آبی کنار رودخانه و مسیل بوده است. وزن عامل کاربری اراضی ۰.۱۰٦ بوده است. گسل‌های منطقه نیز با وزن ۰.۱۰۰ تأثیر زیادی در تحریک مواد بر روی دامنه داشته‌اند به‌گونه‌ای که گسل‌ها بیشترین حساسیت را در رسوبات کواترنری و سازند گچساران به وجود آورده‌اند و با توجه به وقوع محتمل زلزله در منطقه، این مورد تأثیر زیادی در حرکات دامنه‌ای دارد. عامل جهت شیب نیز با توجه به نوسانات دمایی منطقه و میزان متغیر رطوبت در دامنه‌های شمالی – جنوبی و شرقی – غربی با وزن ۰.۰۹٦ تأثیر زیادی در وقوع این پدیده داشته است و دامنه‌های مرطوب‌تر با ذخیره رطوبت بیشتر و نور خورشید کمتر استعداد بیشتری برای وقوع زمین‌لغزش دارند. با بررسی نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در شهرستان باغملک مشخص‌شده است که منطقه بسیار کم‌خطر با ٤۳.۲۵ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است به‌عبارت‌دیگر بخش بزرگی از منطقه فاقد خطر ازنظر زمین‌لغزش است. همچنین منطقه با خطر بسیار زیاد با ٤/۰۱ درصد، کمترین مساحت از منطقه را شامل می‌شود که نشان‌دهنده نقش کم زمین‌لغزش در سطح شهرستان است. مناطق با خطر بالا، بیشتر در دامنه‌هایی با رسوبات سست، بادبزنی و شیب‌دار که شبکه‌های آب به‌صورت شاخه‌ای سطح دامنه را فراگرفته رخ‌داده‌اند. مناطقی که کمترین خطر را ازنظر زمین‌لغزش دارند علاوه بر مناطق کوهستانی، مناطقی از سطوح زمین‌های هموار را نیز شامل شده که در مناطق کوهستانی به دلیل جنس زمین که از تخته‌سنگ‌های مقاوم با شیب زیاد است، زمین‌لغزش‌های زیادی رخ نداده؛ این‌گونه مناطق بیشتر درخطر ریزش می‌باشند. در زمین‌های هموار تنها در دیواره مجرای رودخانه‌ها زمین‌لغزش رخ‌داده است. مشخص‌شده است که بیشترین مناطق حساس به زمین‌لغزش در سطح شهرستان در جنوب غرب و تا حدودی در قسمت‌های شرق و غرب شهرستان است و مناطق با حساسیت بسیار کم نیز در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی و شمال غربی

بوده است. از دلایل حساسیت بیشتر در جنوب غرب، غرب و شرق شهرستان، تأثیر شیب دامنه‌ها و شبکه آب‌های سطحی بر روی پیوند سست رسوبات در این منطقه است.

کتابنامه

احمدی، حسن و محمدخان، شیرین؛ ۱۳۸۱. بررسی برخی از عوامل حرکات توده‌ای مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان. منابع طبیعی ایران، دوره ۵۵، شماره ٤، ص٤٥٥-٤٦٤ https://sid.ir/paper/23046/fa

اصغر پور، محمدجواد؛ ۱۳۹۲. تصمیم‌گیری چند معیارها، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ یازدهم

اونق، محمد؛ ۱۳۸۲. مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه نرماب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، صص ۲۹. https://noordoc.ir/thesis/20675

حاتمی فرد، رامین. موسوی، سید حجت. علیمرادی، مسعود؛ ۱۳۹۱. پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم آباد؛ نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانیدانشگاه اصفهان)، دوره۲۳، شماره ۳(پیاپی٤٧) ص٤٣-٦٠
https://sid.ir/paper/153197/fa

حق‌شناس، ابراهیم؛ ۱۳۷٤. پهنه بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۱۳۸
https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/c493c8c2834ca329924ea0f3654c81b1

خضری، سعید. میر نظر، جواد. شهابی، همین؛ ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سر پل ذهاب. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، صص ۵۳-۷۰
https://ensani.ir/fa/article/336466

رنجبر، محسن؛ ۱۳۹۱) عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه کرگانرود با استفاده از مدل AHP. نشریه جغرافیا، دوره۱۰، شماره ۳۵، ص ۱۹۵-۲۱۰ https://www.sid.ir/paper/150117/fa

شاد فر؛ صمد. یمانی، مجتبی؛ ۱۳۸٦. پهنه بدی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز جلیسان با استفاده از مدل LNRF. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ٦۲، صص ۱۱-۲۲ https://www.sid.ir/paper/5450/fa

صالحی، محسن، صفامهر، مجید، نصری، مسعود، بور، حسین؛ ۱۳۹٦. تأثیر زمین‌لغزش بر ایمنی راه‌ها و مناطق روستایی در ایران و راهکارهای پایدارسازی آن‌ها (مطالعه موردی: زمین‌لغزش‌های محور ناغان – سد کارون ٤، نشریه مسکن و محیط روستا، دوره ۳٦، شماره ۱۸۵، صص ۸۸-۷۷ https://ensani.ir/fa/article/534822

عبدالخانی، علی و جمالی، علی اکبر؛ ۱۳۸۸. کاربرد GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه بندی خطرزمین‌لغزش و مقایسه ارجحیت عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش(مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد یزد، همایش ژئوماتیک، تهران، https://civilica.com/doc/69785

فیض نیا، سادات، کلارستاقی، عطالله، احمدی، حسن، احمدی و صفایی، مهرداد؛ ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین رود–سد تجن) منابع طبیعی ایران، دوره ۵۷، شماره ۱، ص۳–۲۲ https://sid.ir/paper/22821/fa

قدسی پور، سید حسین؛ ۱۳۸٤. مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیارها، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم.

قدسی پور، سید حسین؛ ۱۳۸۸. فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران

کرم، عبدالامیر؛ ۱۳۸۰. مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده حوزه آبخیز سرخون - استان چهارمحال بختیاری، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، استاد راهنما فرج‌الله محمودی، دانشگاه تربیت مدرس https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/c52a5f3d2912e4753c07c61304b659fb

لجم اورک، مرتضی؛ ۱٤۰۰. تشخیص و رتبه‌بندی عوامل ژئومورفولوژیک موتر در توسعه گردشگری رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه ابوالعباس شهرستان باغملک). پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، استاد راهنما سیاوش شایان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/3fcdc1757239fc77fdcb2f462e034202

نصیری گله خانه، اکرم، حسین پور، حمید؛ ۱۳۸۵. اثرات محیطی زمین‌لرزه. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت بحران زمین‌لرزه در شهرهای دارای بافت تاریخی، دانشگاه یزد. https://civilica.com/doc/32125

یمانی، مجتبی، حسن پور، سیروس، مصطفایی، ابوالفضل و شادمان رود پشتی، مجید؛ ۱۳۹۱. نقشه پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، دوره۲۳ شماره ٤ (پیاپی ٤۸)، ص۳۹–٥٦
https://sid.ir/paper393691/fa

Ayalew,L.Yamagishi,H., 2005. The Application of GIS–based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains,central Japan Geomorphology, 65, 15-31 https://link.springer.com/article/10.1007/s100640050066.

Aleotti, P. & Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the environment, 58(1), 21-44.
https:// link.springer.com/ article/ 10.1007/s100640050066.

Aafaf El Jazouli,Ahmad Barakat,Rida Khellouk., 2019. GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in oum Er high basin(Morocco).Geoenviromental Disasters6,articlenumber3,pp1-12https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-019-0119-7

Abay Asmelash, Barbieri Giulio, Woldearegay,Kifle., 2019.GIS-based landslide susceptibility evaluation using analytical hierarchy procsses (AHP) approach: the case of Tarmaber District,Ethiopia,Momona Ethiopian Journal of Scince 11(1), pp 14-36 https:// www. ajol. info/ index.php/mejs/article/view/186815

Chun-Hung we,Su-Chin Chen., 2009.Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from and rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method,Geomorpholog112(3-4),190-204
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555x09002335

Li, Y. Ping, M. 2019. A unified Landslide classification system for Loess slopes: a critical review. Geomorphology, vol 340, pp. 67-83. https:// link.springer.com/ article/ 10.1007/ s100640050066

Lan H.X., Zhou C.H., Wang L.J., Zhang H.J., Li R.H., 2004) Landslide watershed. Yunnan China, Engineering Geology, 76: 101-128. https://link.springer.com/article/10.1007/s100640050066.

Podvezko, V. Application of AHP technique. Journal of Business Economics and Management - J BUS ECON MANAG, 2009. 10: p. 181-189. https://link.springer.com/article/10.1007/s100640050066.

Saro, Lee, Kyungduck, Min., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yong, Korea.EnvironmentalGeology40,pp1095-1113 https://link.springer.com/article/10.1007/s002540100310

Yalcin,A.Selcuk Reis, Aydinoglu,AC.Yomralioglu,T., 2011. A GIS-dased comparative study of frecuency ratio, analytical hierarchy process,bivariate statistics and logistics regession methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey,volume 85,Issue3 pp274-287 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S034181621100023 34

Yoshimatsu,H. Abe, S., 2006. A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process method (AHP). Landslides 3 (2) pp 149-158. https://scholar.google.com/scholar?hl=fa

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.217-245 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78283.1268 Open access

Evaluating and Identifying Potential Areas for the Construction of Industrial Parks in Urmia City

Omid Pirian Kalat[a], Roxana Kamkar ghorbanzadeh[b], Parsa Zamani[c] , Keramatollah Ziari[d] *

[a] *MA in Regional Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[b] *MA in Urban Design, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran*
[c] *MA in Urban Design, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran*
[d] *Postoctoral in Urban Planning, University of Tehran, Tehran, Iran*

Received: 16 June 2022 ***Revised: 8 August 2022*** ***Accepted: 13 September 2022***

Abstract

Urmia city is a region with high potential for the development of industrial centers. However, in the last few decades, the indiscriminate development of industries in this area has led to environmental and socio-economic problems. This study aimed to identify areas prone to the construction of an industrial town in this city and evaluate the existing areas. In order to collect the required data of this descriptive-analytical study, library studies were used. Moreover, in order to achieve the goals of the research, the combined Boolean and fuzzy multi-criteria evaluation method were used. At first, relying on seven criteria of distance from the city, slope, height, fault, waterway, communication lines and land use, maps of restrictions and factors were drawn. In the second step, the fuzzy primary suitability map and the Boolean primary suitability map were prepared and finally, based on the correlation coefficients and standard deviation of the operators, gamma 0.5 was chosen as the most appropriate gamma to overlap the two mentioned maps. The results showed that about 94% of the area of the region is completely unsuitable for the establishment of industries and only about 6% of the area are approximately suitable to completely suitable. Regarding the evaluation of the establishment of the existing industrial areas, it was found that the industrial town of Phase 1 and 2, Karimabad industrial area and the electronics and food industry town are located in the inappropriate area of establishment. Moreover, 8 square kilometers of the Phase 3 of the industrial town is located in the suitable area for settlement and 1 square kilometer is located in the unsuitable area for settlement.

Keywords: Boolean Logic, Fuzzy Logic, Industrial Parks, Settlement Evaluation, Urmia City

*.Corresponding author: Keramatollah Ziari Email: zayyari@ut.ac.ir Tel:+989144039787

How to cite this Article: Piryan Kalat, O., Kamkar ghorbanzadeh, R., Zamani, P., & Ziari, K. (2023). Evaluating and identifying potential areas for the construction of Industrial parks in Urmia city. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 217-245.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.78283.1268

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78283.1268

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۲۴۰-۲۱۷

مقاله پژوهشی

ارزیابی و شناسایی پهنه‌های مستعد احداث شهرک صنعتی در شهرستان ارومیه

امید پیریان کلات- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
رکسانا کامکار قربان‌زاده- کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
پارسا زمانی- کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
کرامت‌اله زیاری[1]- فوق دکترای مهندسی شهرسازی، استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۲۲

چکیده

شهرستان ارومیه به‌عنوان منطقه‌ای با پتانسیل بالا جهت توسعه مراکز صنعتی است. بااین‌حال، در چند دهه اخیر، توسعه بی‌رویه صنایع در این محدوده منجر به ایجاد مسائل و مخاطرات طبیعی و زیست‌محیطی گردیده، ازآنجاکه برخی از مخاطرات تماماً طبیعی هستند اما عمده مخاطرات و فجایع زیستی به علت فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهند؛ در این میان شناسایی پهنه‌های صنعتی که کمترین مخاطره را به دنبال داشته باشد ضروری به نظر می‌رسد، پژوهش حاضر با هدف شناسایی پهنه‌های مستعد احداث شهرک صنعتی در شهرستان و ارزیابی پهنه‌های موجود صنعتی انجام گرفته است، روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی بوده، به‌منظور گردآوری آمار و اطلاعات موردنیاز در رابطه با موضوع، از مطالعات کتابخانه‌ای نیز بهره گرفته شد. جهت دستیابی به اهداف پژوهش از روش ارزیابی چندمعیارهٔ تلفیقی بولین و فازی استفاده گردید؛ در ابتدا با تکیه بر هفت معیارِ فاصله از شهر، شیب، ارتفاع، گسل، آبراهه، خطوط ارتباطی و کاربری اراضی، نقشه‌های قیود و عوامل ترسیم گشت؛ در مرحلهٔ دوم

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۰۳۹۷۸۷ Email: zayyari@ut.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

پیریان کلات، امید؛ کامکار قربان‌زاده، رکسانا، زمانی، پارسا؛ زیاری، کرامت اله؛ ۱۴۰۲. ارزیابی و شناسایی پهنه‌های مستعد احداث شهرک صنعتی در شهرستان ارومیه. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳)، صص ۲۴۰-۲۱۷

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78283.1268

نقشهٔ مناسبت اولیه فازی و مناسبت اولیهٔ بولین تهیه گردید و درنهایت، با توجه به ضرایب همبستگی و انحراف معیار عملگرها، گامای ۰.۵ به‌عنوان مناسب‌ترین گاما جهت همپوشانی دو نقشه مذکور انتخاب گردید؛ نتایج حاصله حاکی از آن بود که حدوداً ۹٤ درصد از مساحت منطقه برای استقرار صنایع کاملاً نامناسب است و تنها حدوداً ٦ درصد از محدوده در طبقهٔ حدوداً مناسب تا کاملاً مناسب قرار گرفته‌اند. در ارزیابی استقرار پهنه‌های صنعتی موجود، مشخص شد که شهرک صنعتی فاز یک، دو، ناحیهٔ صنعتی کریم آباد و شهرک الکترونیک و صنایع غذایی در محدودهٔ نامناسب استقرار قرار دارند؛ همچنین مساحت ۸ کیلومترمربع از شهرک صنعتی فاز سه در محدودهٔ مناسب استقرار و ۱ کیلومترمربع آن در محدودهٔ نامناسب استقرار، واقع شده است.

کلیدواژه‌ها: منطق بولین، منطق فازی، شهرک‌های صنعتی، ارزیابی استقرار، شهرستان ارومیه.

۱- مقدمه

رشد صنعت پدیده‌ای است که اخیراً با توجه به استفاده از قابلیت‌های هر منطقه موردتوجه قرار گرفته است (سالاری و همکاران، ۱۳۹۷)؛ در بسیاری از کشورها، نواحی صنعتی نقش مهمی در استراتژی اقتصادی ایفا می‌کنند و ارتقاء و برنامه‌ریزی در این مناطق از جملهٔ بخش‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شوند (عرب شیبانی و همکاران[1]، ۲۰۱٦). در این میان مسئله پایدارسازی جوامع انسانی در برابر مخاطرات محیطی به‌عنوان یک ضرورت، که در یک دههٔ گذشته به آن توجه شده، شامل استفاده پایدار از منابع طبیعی و همچنین درک تأثیرات ناشی از آلودگی و استفاده از زمین بر محیط‌زیست، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (ژانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۹). با درنظر داشتن مفهوم پایداری، رشد فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی همراه با رشد جمعیت می‌تواند استفاده بهینه از منابع طبیعی را نادیده بگیرد و تعادل محیط‌زیست را در منطقه برهم بزند (الملالی و همکاران[3]، ۲۰۱۹). مناطق آلودهٔ صنعتی برای دستیابی به توسعه مجدد و قابل استفاده شدنِ زمین، نیاز فوری به مدیریت و ترمیم مؤثر دارند (ریکالوویچ و همکاران[4]، ۲۰۱٤)؛ به‌منظور دستیابی به توسعهٔ پایدار، بسیاری از شهرها در سراسر جهان جابجایی شرکت‌های صنعتی شهری را اجرا نمودند (لوو و همکاران[5]، ۲۰۲۰) پرداختن به توسعه‌های مجدد در مقیاس بزرگ عموماً سیستم را با وضعیت پیچیده و نگرانی‌های اضافی همراه می‌ساخت (ریکالوویچ و همکاران، ۲۰۱٤). در این میان آنچه در آغاز بارگذاری فعالیت‌ها حائز اهمیت گشت و به‌عنوان عامل کلیدی در برنامه‌ریزی توسعهٔ منطقه‌ای عنوان می‌شد، یافتن مکان مناسب برای ایجاد نواحی صنعتی بود (عرب شیبانی و همکاران، ۲۰۱٦). شناسایی پهنه‌های مستعد احداث نواحی

1 Arabsheibani et al
2 Zhang et al
3 Al-Mulali et al
4 Rikalovic et al
5 Luo et al

صنعتی، فرآیندی است که بهترین مکان را برای اجرای پروژه با توجه به شرایط اجتماعی–اقتصادی و محیطی معین می‌کند (رییسی و همکاران[1]، ۲۰۱۱). در حقیقت طی انجام این فرآیند، مکانی جهت استقرار مشخص می‌شود که در آن فعالیت‌های صنعتی با کمترین مصرف منابع اولیه (تجهیزات مواد، نیروی انسانی، زمان و هزینه) و کمترین اثرات مخرب بر کاربری‌ها و فعالیت‌های انسانی و طبیعی پیرامون آن صورت گیرد (فرانسیس[2]، ۲۰۱۵).

در گذشته مکانیابی استقرار، صرفاً بر اساس معیارهای اقتصادی و فنی انجام می‌شد؛ به‌عنوان نمونه، جهت مکان‌گزینی شهرک‌های صنعتی با در نظر گرفتن فاصله استاندارد از خطوط مواصلاتی و منابع اولیه، سعی می‌شد فاصله جغرافیایی با شهر را به حداقل برسانند زیرا مطابق با اصل هزینه– فایده، هرچه فاصله با شهر کمتر باشد امکان فروش و حمل کالاهای تولید شده به‌بازار راحت‌تر و اقتصادی‌تر خواهد شد (زیلانی و همکاران[3]، ۲۰۰۷). بدین‌جهت، گفته می‌شد مناسب‌ترین و باصرفه‌ترین محل استقرار این شهرک‌ها پیرامون شهرها است تا خود را به بازارهای مصرف و نیروی کار، نزدیک‌تر سازند. امروزه بشر دریافت که بسیاری از مخاطرات محیطی به علت گسترش فعالیت‌های انسانی بر روی بسترهای طبیعی مخاطره‌آمیز شکل‌گرفته و این مهم در مناطق شهری به علت تراکم جمعیت و نوع خاص فعالیت‌ها، در هنگام وقوع حادثه می‌تواند میزان تلفات انسانی را به بالاترین حد ممکن افزایش دهد (صابری فر، ۱۳۹۱)؛ بدین‌جهت اکنون درجه بالاتری از پیچیدگی در مکان‌گزینی انتظار می‌رود که غفلت از آن‌ها ممکن است به ضایعات بزرگ انسانی و محیطی منجر شود؛"معیارهای انتخاب، باید الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی را که توسط قوانین و مقررات دولتی اجرا می‌شوند، برآورده سازد" (خامس و همکاران[4]، ۲۰۲۰). در این زمینه باید یادآور شد که اگر یک کاربری در مکان مناسب خود قرار نگیرد به‌هیچ‌وجه درجه کمی و کیفی مناسب را از نظر کارایی نخواهد داشت، این مسئله برای کاربری‌های آلاینده می‌تواند اهمیت دو چندان یابد؛ استفاده نادرست از زمین و تولید آلودگی و از میان بردن منابع طبیعی مشکلات جدی ناشی از عدم تعادل محیط در بسیاری از نقاط جهان را رقم زده است. تمام این مشکلات نشان‌دهنده قدرت محدود محیط‌زیست برای تحمل بهره‌برداری انسان از سرزمین است (آنگ[5]، ۲۰۱۷). اهمیت و ضرورت مکان‌گزینی مناسب جهت استقرار نواحی صنعتی تا حدی است که در ادبیات این حوزه به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر موقعیت بنگاه اقتصادی صنعتی محسوب می‌شوند. به این علت که می‌تواند در رشد اشتغال بنگاه، سودآوری بنگاه و رقابت آن تأثیر گذار واقع شود (خلیجی و سعیده زرآبادی، ۱۳۹٤)؛

1 Reisi et al
2 Francis
3 Zailani et all
4 Khamis et al., 2020
5 Aung

از مشـــکلات اصـــلی انتخاب بهترین مکان اســـتقرار، مواجه با مقدار قابل توجهی از اطلاعات موردنیاز جهت تجزیه‌وتحلیل وضـعیت اسـت؛ به‌منظور سـرعت بخشـیدن به فرآیند تصـمیم‌گیری، لازم اسـت یک مدل بهینه شـده و مناسب برای انتخاب مکان صنعتی ایجاد شود (ریکالوویچ و همکاران[1]، ۲۰۱۷)، مدل بهینهٔ مذکور باید چندین راه‌حل جایگزین و معیارهای ارزیابی را مدنظر قرار دهد (لی و همکاران[2]، ۲۰۱۷). تصـمیم گیرندگان با اسـتفاده از روش‌های تحلیل ریاضی ازجمله GIS (ایزدی‌خواه و صائن[3]، ۲۰۱٦) که به‌عنوان یک سیستم مدیریت پایگاه داده دیجیتال، برای مدیریت حجم زیادی از داده‌های توزیع فضاییِ جمع آوری شده از منابع مختلف، طراحی شده است، جهت مطالعات انتخاب سـایت ایده‌آل می‌باشـد؛ چراکه به‌طور مؤثر اطلاعات را مطابق با مشـخصـات تعریف شـده ذخیره، بازیابی، تجزیه–تحلیل و نمایش می‌دهد (هادی‌پور و همکاران[4]، ۲۰۱٤؛ یانکیو–ویتکوفســکا و همکاران[5]، ۲۰۲۰)؛ در کنار آن تحلیل چند معیاره[6] (چاووهان و ســینگ[7]، ۲۰۱٦) می‌توانند مشــکل انتخاب ســایت را حل کرده و درنهایت به مناسب‌ترین مکان مخصوص صنعت دست یابند (لی و همکاران، ۲۰۱۷؛ الجوهانی و تامپسون[8]، ۲۰۲۰). در حقیقت فرآیند انتخاب مکان اسـتقرار به معنای تجزیه‌وتحلیل چند معیاره، شـامل مجموعه پیچیده‌ای از عوامل مرتبط با مسـائل محیطی، اجتماعی، اقتصـادی، فنی و سـیاسـی اسـت (ریکالوویچ و همکاران، ۲۰۱۷). در ارتباط با ضـرورت انجام پژوهش حاضر در سطح شهرستان ارومیه لازم به ذکر بوده که با توجه به نیاز روزافزون استقرار شهرک‌های صنعتی شـهرسـتان به‌عنوان موتور محرکه اسـتان آذربایجان غربی، لزوم بازنگری و برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور شـناسـایی سـایت‌های مناسـب اسـتقرار بیش از گذشـته موردتوجه می‌باشـد تا با کاهش هزینه‌های حمل و نقل، اثرات وارده بر محیط‌زیست را نیز کاهش دهد. از میان ۲۷ شهرک و نواحی صنعتی واقع در استان، چهار شهرک و یک ناحیهٔ صنعتی در شهرستان ارومیه واقع شده‌اند؛ مهم‌ترین مسئله پیش رو در این میان آن است که آیا استقرار و پراکنش این شهرک‌ها از منظر سـازگاری با محیط‌زیسـت و مطلوبیت اقتصـادی به‌صـورت بهینه قرار گرفته‌اسـت یا خیر! هدف از پژوهش حاضر شناسایی پهنه‌های جدید مستعد احداث شهرک صنعتی در شهرستان و ارزیابی پهنه‌های موجود صنعتی، با در نظر داشتن معیارهای انسانی و طبیعی مورد مداخله در امر استقرار به جهت کاهش اثرات منفی وارده به محیط‌زیست و افزایش مطلوبیت اقتصادی، در محدودهٔ موردمطالعه می‌باشد.

در مطالعات اخیر به‌منظور شـناسـایی نواحی مسـتعد احداث کاربری صـنعتی، از تکنیک‌های مختلفی جهت تلفیق لایه‌ها و ارزش‌گذاری آن‌ها اسـتفاده شـده اسـت، در جدول شـمارهٔ ۱ روش‌های مورد اسـتفاده و سـطح تحلیل آن‌ها

1 Rikalovic et al
2 Li et al
3 Izadikhah & Saen
4 Hadipour et al
5 Yankiv-Vitkovska et al
6 Multi-Criteria Analysis
7 Chauhan & Singh
8 Aljohani & Thompson

مشـخص گردیده‌اسـت؛ در ادامه جدول شـمارهٔ ۲، به معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی از جهت تکرار و اهمیت آن در مطالعات پیشین پرداخته است. با واکاوی مطالعات پیشین در وهلهٔ نخست، آنچه مبرهن بوده آن است که از کاربست مدل تلفیقی بولین و فازی جهت نواحی مستعد شهرک‌های صنعتی در سطح شهرستان پژوهشی به عمل نیامده، ازین رو پژوهش حاضـر به دنبال دسـتیابی به شـکاف دانشـی در این حوزه انجام می‌شـود. در مرحلهٔ بعد با درنظر داشـتن معیارهای مکان‌گزینی نواحی صـنعتی در ۱۰ پژوهش اخیر داخلی و خارجی، نمرهٔ اهمیت هر کدام بر اسـاس میزان توجه در پژوهش‌های گذشته استخراج شده که می‌تواند، در منطق ارزش‌گذاری معیارها درک صحیح‌تری در پژوهش حاضر ایجاد نماید.

جدول ۱-پژوهش‌های انجام شدهٔ پیشین با تأکید بر مفاهیم، روش و سطح تحلیل آن‌ها

شماره	نگارندگان	مفاهیم کلی	روش‌ها	سطح تحلیل
۱	یاسوری، ۱۳۹۲	بررسی وضعیت استقرار صنایع و مکانیابی آن	شاخص همپوشانی	شهرستان
۲	مجیدی خامنه و جنگی، ۱۳۹۳	مکانیابی صنایع پیرامون شهرها	منطق بولین، منطق فازی	شهر
۳	معتمدی و همکاران، ۱۳۹۳	ارزیابی مکان استقرار شهرک صنعتی	منطق فازی	شهر
٤	کرمی و همکاران، ۱۳۹۸	ارزیابی مکان استقرار شهرک صنعتی	مدل الکتره	شهرستان
٥	افشاری و لطفی، ۱۳۹۹	مکانیابی صنایع با روش ارزیابی چند معیاره	منطق بولین، منطق فازی، ترکیب خطی وزنی (WLC)	شهرستان
٦	ریکالوویچ و همکاران، ۲۰۱٤	تجزیه‌وتحلیل انتخاب سایت صنعتی	Fuzzy-AHP	شهر
۷	خاوریان گرمسیر و رضایی[1]، ۲۰۱۵	مکانیابی نواحی صنعتی	Fuzzy-ANP	شهرستان
۸	بدی و همکاران[2]، ۲۰۱۸	مکانیابی کارخانهٔ نمک‌زدایی	CODAS	کشور
۹	نووهو و همکاران[3]، ۲۰۲۲	ارزیابی معیارهای انتخاب شهرک صنعتی	Fuzzy-AHP	کشور
۱۰	اغمشهدی[4]، ۲۰۲۲	ارزیابی قابلیت زمین‌های شهرک صنعتی	Fuzzy-ANP	استان

منبع: گردآوری نگارندگان، ۱٤۰۱

1 Khavarian-Garmsir & Rezaei
2 Badi et al
3 Nuhu et al
4 Aghmashhadi

جدول ۲- اهمیت معیارهای مؤثر در استقرار شهرک صنعتی از جهت تکرار در مطالعات پیشین

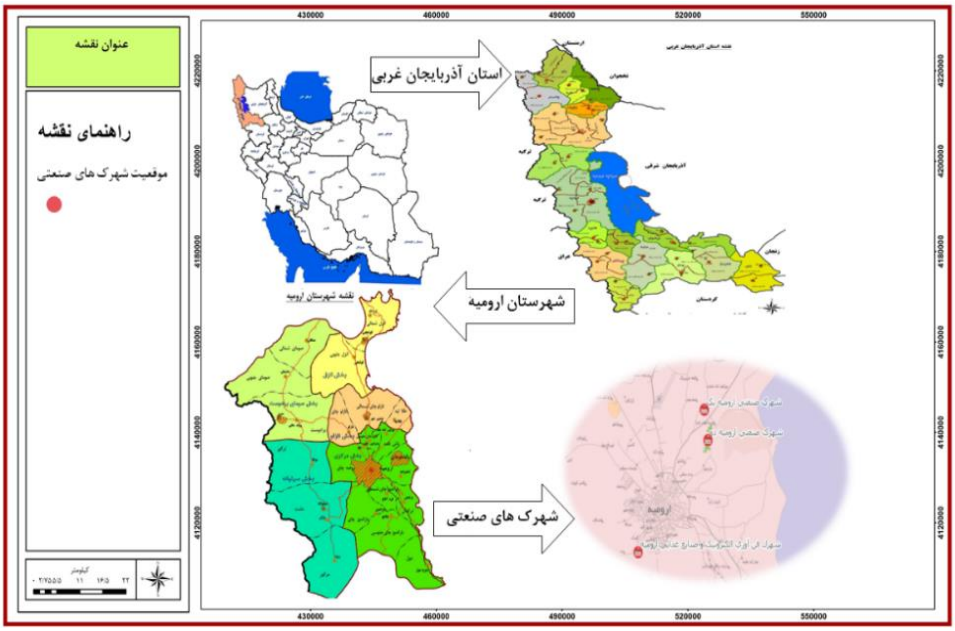
پژوهش‌ها / معیارها	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۹	۱۰	نمرهٔ اهمیت
فاصله از شهر	●	●		●	●		●	●		٦
شیب	●	●	●	●	●		●		●	۷
گسل		●	●	●	●		●		●	٦
آبراهه	●		●		●		●			٤
خطوط ارتباطی	●			●	●	●	●	●	●	۷
ارتفاع		●		●	●			●	●	٥
کاربری اراضی	●	●	●	●	●	●		●		۷

منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-موقعیت منطقهٔ موردمطالعه

استان آذربایجان غربی دارای ۱۵ شهرستان و ۳٦ بخش می‌باشد که در این میان شهرستان ارومیه به‌عنوان دومین شهرستان از نظر مساحت پس از شهرستان خوی و اولین شهرستان از نظر جمعیت، در جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر در کنار دریاچه‌ی لاجوردی ارومیه گسترده است (سالنامه آماری آذربایجان غربی، ۱۳۹۸). در محدوده قانونی شهرستان ارومیه می‌توان به شهرک‌های صنعتی مختلفی ازجمله شهرک فن‌آوری الکتریک و صنایع غذایی در جنوب غربی شهرستان، شهرک صنعتی شماره یک و دو در شمال شرقی به ترتیب در نزدیکی روستای طلاتپه و زولاچای، شهرک صنعتی شماره سه در شمال شهرستان و در نزدیکی دهستان انزل جنوبی و ناحیه صنعتی کریم آباد در شمال شهرستان نیز اشاره نمود. در این بین شهرک صنعتی شماره سه ارومیه، با مساحت حدوداً ۹ کیلومترمربع، بیشترین مساحت را به نسبت سایر شهرک‌های صنعتی موجود داراست.

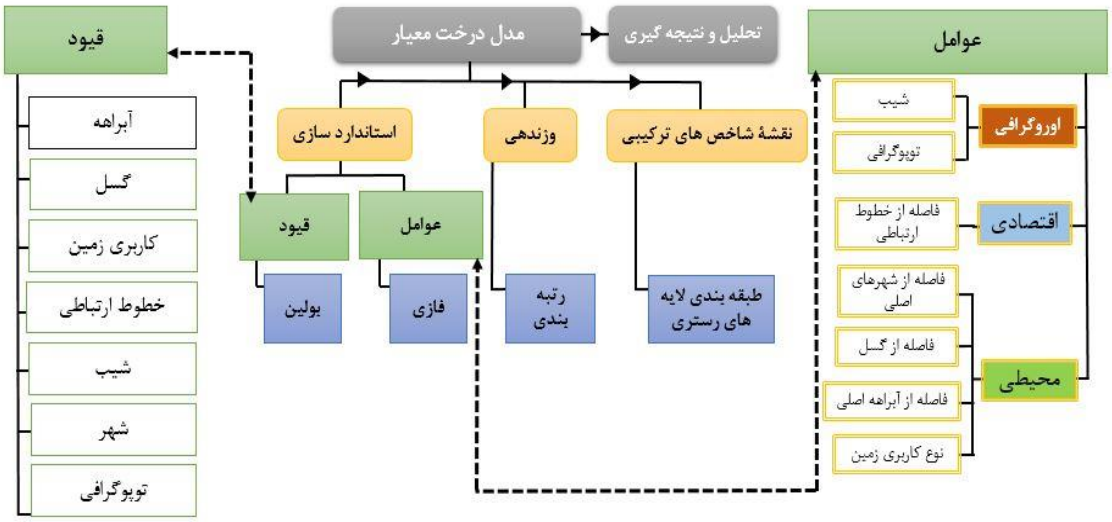


شکل ۱- موقعیت مکانی شهرستان ارومیه در تقسیمات سیاسی و شهرک‌های صنعتی (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱)

۲-۲- روش انجام پژوهش

روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. به‌منظور گردآوری آمار و اطلاعات موردنیاز در رابطه با موضوع، از مطالعات کتابخانه‌ای بهره گرفته شد. این پژوهش در مرحلهٔ نخست، با بهره‌گیری از داده‌های اثرگذار در منطقه، با استفاده از ابزار تحلیلی نرم افزار Arc Gis 10.8، وضعیت محدودهٔ موردمطالعه را به ازای هریک از معیارها از نظر مطلوبیت مشخص می‌کند؛ به این شکل که معیار مورد نظر از نظر فواصل، سطح دسترسی، پراکنش و غیره با استفاده از توابع مشخص بولین (برای قیود) و فازی (برای عوامل) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند؛ در مرحلهٔ دوم، لایه‌های تحلیلی، با بهره‌گیری از نظر خبرگان و درجهٔ اهمیت معیارها در مطالعات پیشین (جدول ۲)، ارزش‌گذاری خواهند شد؛ اعمال ارزش بر روی لایه‌ها و تلفیق آن‌ها صورت خواهد گرفت به گونه‌ای که هریک از لایه‌های بولین در ارزششان ضرب می‌شوند و به یک لایهٔ نهایی بولین می‌رسیم و نیز هر یک از لایه‌های فازی در ارزششان ضرب شده که به سه لایهٔ فازی خواهیم رسید (لایهٔ فازیِ اوروگرافی، محیطی و اقتصادی)؛ با همپوشانی این سه، لایهٔ نهایی فازی شکل می‌گیرد؛ در ادامه با همپوشانی لایه‌های نهایی بولین و فازی، از طریق مجموعه ابزار همپوشانی فازی[1] در محیط Arc Map، به شناسایی نقاط بهینه جهت استقرار شهرک‌های صنعتی منتج می‌گردد. روند کلی پژوهش در قالب شکل ۲ نشان داده شده است.

1 Raster Calculator Tool



شکل ۲- ساختار فرآیند شناسایی پهنه‌های مستعد احداث شهرک صنعتی شهرستان ارومیه[1] (منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)

۳-۲- منطق مدل در پژوهش

اکثر مطالعات مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در ارتباط با انتخاب سایت مناسب بر اساس تحلیل چند معیاره[2] (MCA) برای حل مسائل پیچیده با چندین متغیر طراحی شده‌اند (لوئیس و همکاران، ۲۰۱۵؛ میرزویاک و کالکا[3]، ۲۰۱۷). به گفته هرمان و همکاران[4]، MCA یک ابزار تصمیم‌گیری است که در تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های محیطی برای ارزیابی یک مشکل با سفارش گزینه‌های متعدد بر اساس چندین معیار که ممکن است واحدهای متفاوتی داشته باشند، استفاده می‌گردد. برخی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل چند معیاره عبارتند از: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[5]، فرآیند تحلیلی شبکه[6]، منطق بولین[7] و منطق فازی[8] (یانکیو-ویتکوفسکا و همکاران[9]، ۲۰۲۰).

منطق بولین (دو دویی)، شکلی از جبر است که در آن ترکیب منطقی همه مقادیر تنها به اعدادِ درست (۱) و غلط (۰)، تنزل می‌یابد؛ به‌عبارت‌دیگر در مدل بولین، قرارگیری در مجموعه به‌صورت عضویت (عدد یک) و عدم

۲- توضیحات: عوامل، توابعی هستند که یک متغیرجدید را بر حسب سایر متغیرهای موجود تعریف می‌کنند؛ اما قیود، بر روی متغیرهای موجود عمل می‌کنند و متغیرهای جدیدی را تعریف نمی‌کنند (نوراللهی و همکاران، ۲۰۲۲).

2 Multi-Criteria Analysis
3 Mierzwiak & Calka
4 Hermann et al.
5 analytical hierarchical process (AHP)
6 analytical network process (ANP)
7 Boolean logic
8 fuzzy logic
9 Yankiv-Vitkovska et al

عضـــویت (عدد صـــفر)، بیان می‌گردد، که توابع عضـــویت به چهار حالتNOT ,AND, OR, XOR وجود دارند (ابراهیم و همکاران[1]، ۲۰۲۱؛ چنگ و تامپسون[2]، ۲۰۱٦)؛ این منطق در هر معیار، منطقه را به بخش مناسب یا نامناسب جهت استقرار شهرک‌های صنعتی، طبقه‌بندی می‌کند؛ این مدل دارای انعطاف‌پذیری پایین و برخوردی توأم با قطعیت است. همپوشانی و تلفیق لایه‌ها در منطق بولین با استفاده از عملگر AND انجام می‌شود، این عملگر بر منطق تقاطع استوار است بدین معنا که اگر دو سلول درست باشند، سلول خروجی عدد یک است و اگر یکی از آن دو سلول غلط باشد، سلول مورد نظر در خروجی شامل صفر خواهد شد (فنوو و همکاران[3]، ۲۰۱٤). منطق بولین، ماهیت و نگرشی دوگانه به قضـایا دارد: بود یا نبود، هسـت یا نیسـت، درسـت یا غلط. در منطق بولین نمی‌توان حالتی را تصـور کرد که چیزی هم باشـد و هم نباشـد، هم درسـت و هم غلط باشـد؛ در نتیجه حالت بینابینی وجود ندارد. چنین تقسـیم‌بندی دو ارزشـی مسـلماً نیازمند تعریف مرزهای مشـخصـی اسـت که بتوان بر اسـاس آن مصـادیق را مرزبندی کرد. منطق بولین به‌صورت زیر در معادله تعریف شده است (رابطهٔ ۱) (سعادت فومنی و همکاران[4]، ۲۰۱۷) :

$$\mu\, A(x) = \{1\ if\ x\ \in\ A\,;0\ if\ x \notin A\} \qquad (1)$$

اما منطق فازی بر این فرض استوار اسـت که منطق باینری[5] (منطق کلاسـیک یا بولین)، قادر به تشـخیص برخی از ابهاماتی که ممکن بوده بین مقادیر دقیقاً درست یا نادرست وجود داشته باشد، نیست؛ در مقایسه با مجموعه کلاسیک، مجموعه فازی مرزهای واضـحی ندارد (سـعادت فومنی و همکاران، ۲۰۱۷). این منطق، شـکلی از منطق چند ارزشـی اسـت که در آن مقادیر عضـویت در متغیرها ممکن اسـت هر عدد واقعی بین ۰ و ۱ باشـد و برای رسـیدگی به مفهوم عضویت جزئی، گسترش یافته است؛ جایی که مقدار عضویت ممکن است بین کاملاً درست و درست، کاملاً غلط و غلط باشـد. علاوه بر این، زمانی که از متغیرهای زبانی استفاده می‌شـود، این درجات ممکن است توسط توابع خاصی مدیریت شـوند (چنگ و تامپسـون، ۲۰۱٦). منطق فازی یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌های MCDM اسـت که در آن استانداردسـازی معیارهای فضـایی از طریق یک فرآیند پیوسته انجام می‌شـود (الکارداقی و همکاران[6]، a۲۰۱۹؛ برزه‌کار و همکاران[7]، ۲۰۱۹)؛ و برای حل عدم قطعیت و عدم دقت ناشی از تصمیم‌گیری استفاده می‌شود (خراط و همکاران[8]، a۲۰۱٦). در پژوهش‌های مختلف، از دو سـبک متفاوت منطق فازی اسـتفاده شـده اسـت. یکی از کاربردهای منطق

1 Ibrahim et al
2 Cheng & Thompson
3 Fenno et al
4 Saadat Foomani et al
5 binary logic
6 Alkaradaghi et al
7 Barzehkar et al
8 Kharat et al

فازی، طبقه‌بندی زمین به چند دسته است؛ به‌عنوان‌مثال پژوهش‌هایی همچون (قبادی و همکاران[1]، ۲۰۱۳؛ یانکیف ویتکوفسکا و همکاران[2]، ۲۰۲۰؛ نوراللهی و همکاران[3]، ۲۰۲۲) زمین‌ها را به نواحی مناسب، نامناسب و نسبتاً مناسب تفکیک می‌کنند. در کاربردهای دیگر، با توجه به عضویت فازی، زمین به یک مقدار پیوسته‌ای از مناسبت تخصیص می‌یابد (گبانی و همکاران[4]، ۲۰۱۳؛ خاوریان گرمسیر و رضایی، ۲۰۱۵؛ مطلق و صیادی[5]، ۲۰۱۵). منطق فازی امکان درجه عضویت را با استفاده از تابع عضویت ارزیابی می‌کند. به‌عنوان‌مثال، تابع عضویت برای مجموعه "A" در جهان گفتمان "X" به‌صورت زیر در معادله تعریف شده است (رابطهٔ ۲) (زرین و همکاران[6]، ۲۰۲۱):

$$A = \{X \,.\, \mu A(x) \,|x \in X\} \qquad (2)$$

۳- نتایج و بحث

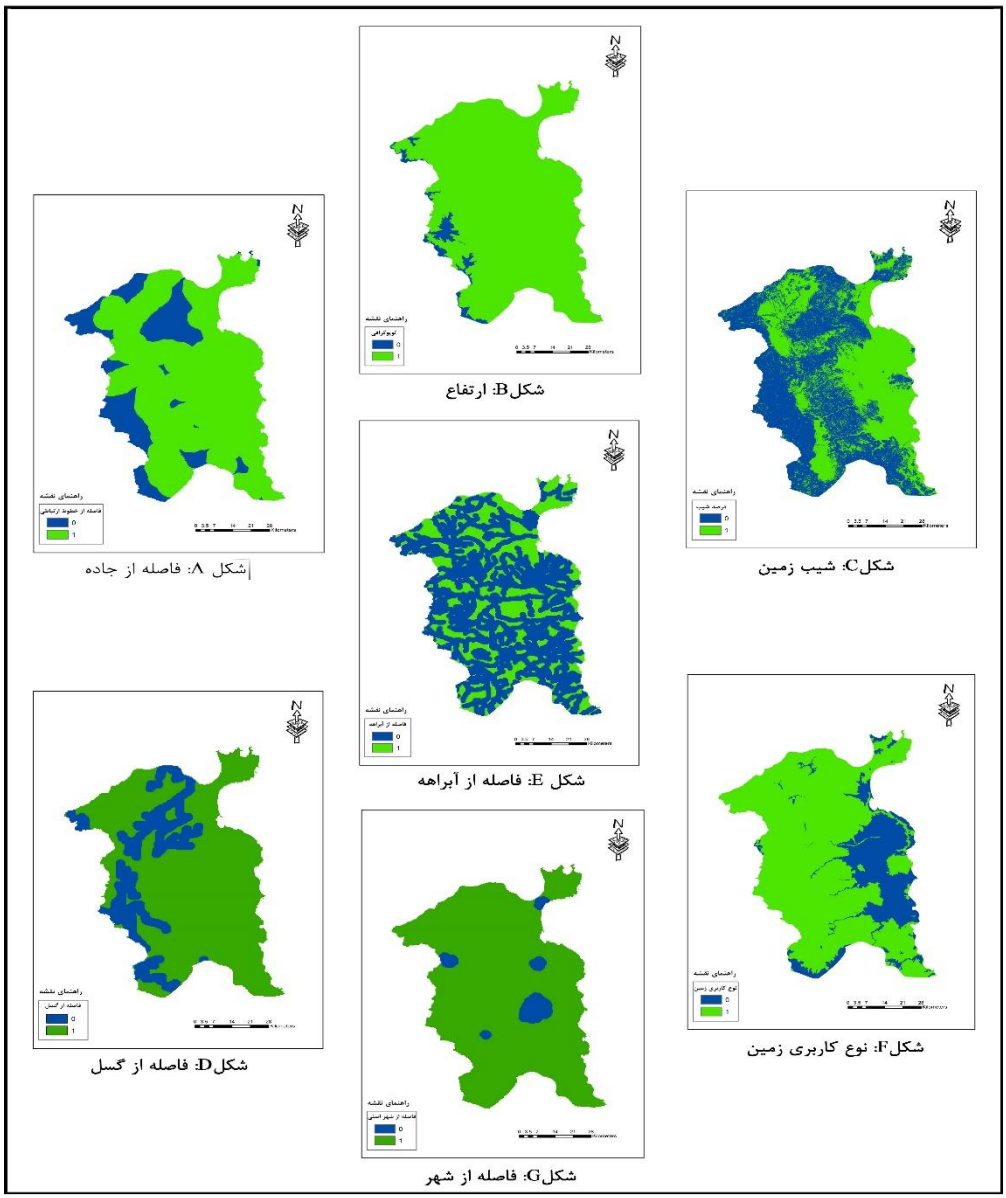
۳-۱- تهیه نقشه‌های بولین

در نقشه فاصله از جاده تمامی شهرک‌های صنعتی از امتیاز ۱ با ارزش بسیار بالا برخوردار گشتند که این موضوع تا حدود زیادی به استقرار این صنایع در مجاورت خطوط ارتباطی ارومیه – تبریز بر می‌گردد (شکل A). از لحاظ طبقه‌بندی ارتفاع بر مبنای منطق بولین محدوده تمامی پنج شهرک صنعتی، به دلیل قرارگیری در گستره دریاچه‌ی ارومیه از ارتفاع استانداردی جهت استقرار برخوردارند (شکل B)، ازآنجاکه راه‌سازی و توسعه در شیب‌های تند سبب ایجاد مخاطرهٔ زمین لغزه (رانش زمین) می‌گردد، توجه به این مقوله در توسعهٔ محدوده‌های صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ با توجه به نقشه محدودهٔ اطراف شهر ارومیه، تمامی شهرک‌های صنعتی از شیب مناسبی برخوردار هستند و به‌طورکلی محدودهٔ شرقی شهرستان شیب مناسب‌تری نسبت به محدودهٔ غربی داراست (شکل C). گسل شمال ارومیه در امتداد خطوط ارتباطی ارومیه –تبریز بوده و ازاین‌رو تمامی شهرک‌های صنعتی موجود در منطقه به‌دوراز حریم گسل قرار گرفته‌اند (شکل D) به دیگر بیان، مخاطرهٔ زمین‌لرزه برای شهرک‌های مستقر فعلی وجود ندارد.

یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در استقرار شهرک‌های صنعتی، فاصله مناسب از آبراهه‌های اصلی است؛ رودخانه‌های باراندوزچای، شهرچای، روضه چای و نازلوچای در شهرستان ارومیه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مجموعه‌ای از رودها را تشکیل می‌دهند. همه این رودخانه‌ها که با جهت شرقی غربی به داخل دریاچه ارومیه سرازیر

1 Ghobadi et al
2 Yankiv-Vitkovska et al
3 Noorollahi et al
4 Gbanie et al
5 Motlagh & Sayadi
6 Zarin et al

می‌شوند، در مناطق شمال شرقی استان در جریان هستند، با توجه به گذر این رودها از مرکز محدوده مورد نظر و همچنین انشعابات آن از اطراف، چهار شهرک صنعتیِ فاز یک، فاز دو، الکترونیک و ناحیه صنعتی کریم آباد در حریم این رودخانه‌ها واقع شده‌اند و امتیاز صفر را کسب کرده‌اند و محل استقرار شهرک‌های فعلی در محدودهٔ مخاطرهٔ سیلاب است (شکل E)؛ فعالیت‌های انسانی در ساخت‌وساز و توسعه، با از میان بردن نواحیِ دارای تراکم بالای پوشش گیاهی و قطع درختان، فرسایش و آلودگی خاک را به همراه دارد؛ در این میان باید توجه داشت که استقرار صنایع در محدودهٔ کاربری‌های دارای پوشش گیاهی متراکم، کاملاً نامناسب شناخته شود. در ارتباط با لایه‌ی اطلاعاتی کاربری زمین، ابتدا هر یک از کاربری‌ها توسط توابع تحلیلی GIS مشخص گردیده و سپس بر اساس منطق صفر و یک، امتیازدهی شدند؛ به‌گونه‌ای مناطقی که به‌منظور استقرار کاربری صنعتی محدودیت دارند، امتیاز صفر و بقیه مناطق امتیاز یک را کسب نمودند، با این شرایط شهرک صنعتی فاز یک و فاز دو امتیاز صفر را کسب خواهند کرد (شکل F). از نظر رعایت فاصله از شهرهای اصلی نیز راسته‌ی جنوب غربی به شمال شرقی یعنی جانویسلو – ارومیه– نوشین شهر به‌عنوان مهم‌ترین کریدورهای استقرار شهرک‌های صنعتی به‌حساب می‌آیند. به دلیل قرارگیری شهرک الکترونیک و مواد غذایی در حریم، این شهرک امتیازی برای نزدیکی به شهر دریافت نمی‌کند (شکل G).



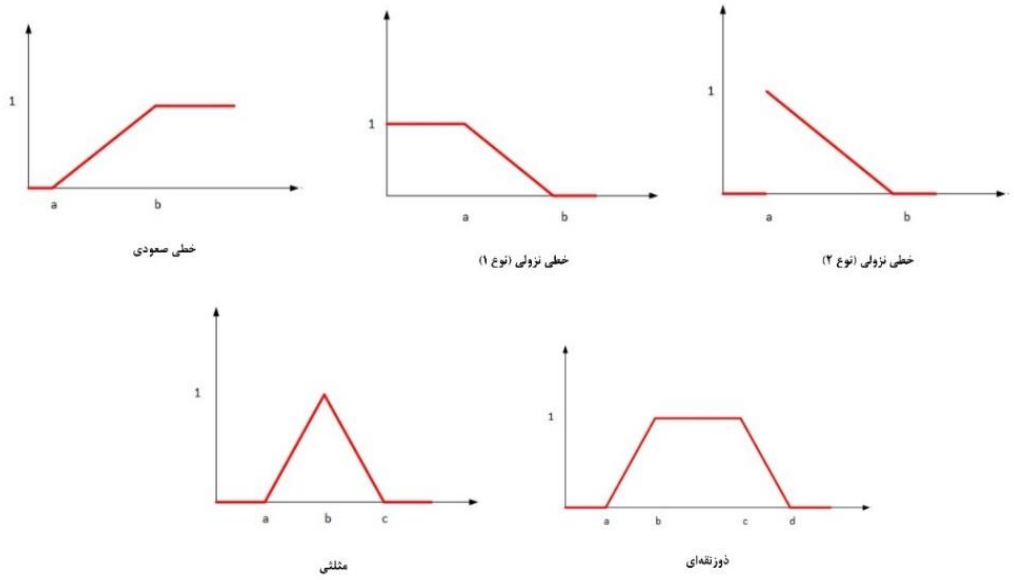
شکل ۳- استانداردسازی لایه‌ها مبتنی بر منطق بولین (ترسیم: نگارندگان، ۱٤۰۱)

۳-۲-تهیهٔ نقشه‌های فازی

توابع فازی، توابعی هســـتند که فازی ســـازی مقادیر ورودی را در محدوده ۰ تا ۱ انجام می‌دهند. توابع خطی (صعودی یا نزولی)، مثلثی و ذوزنقه‌ای ازجمله این توابع هستند (یوسفی و همکاران[1]، ۲۰۱۸)، شکل ٤ انواع حالات

1 Yousefi et al

معادلات ریاضی توابع ذکر شده را نشان می‌دهد. در هر نقشه، مقدار فازی مربوط به هر پیکسل با استفاده از تابع فازی مناسب محاسبه خواهد شد. برای هر معیار در نظر گرفته شده، مقادیر یک سلول در نقشهٔ فازی درجه تناسب سلول را با توجه به آن معیار نشان می‌دهد. توابع عضویت مورد استفاده برای هر معیار در جدول ۳ آورده شده است.

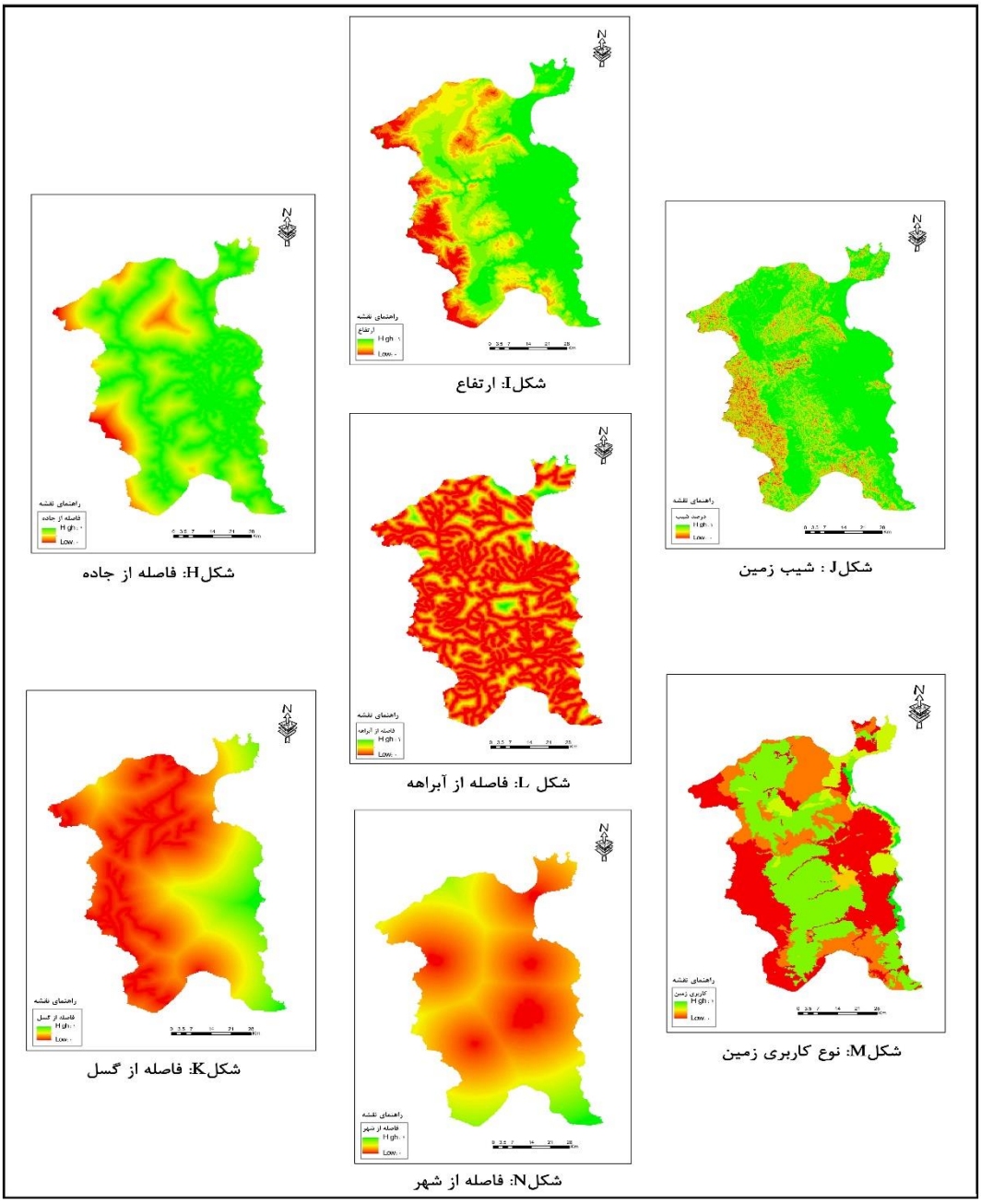


شکل ٤- توابع عضویت فازی

جدول ۳- توابع عضویت و پارامترهای فازی‌سازی لایه‌های معیار

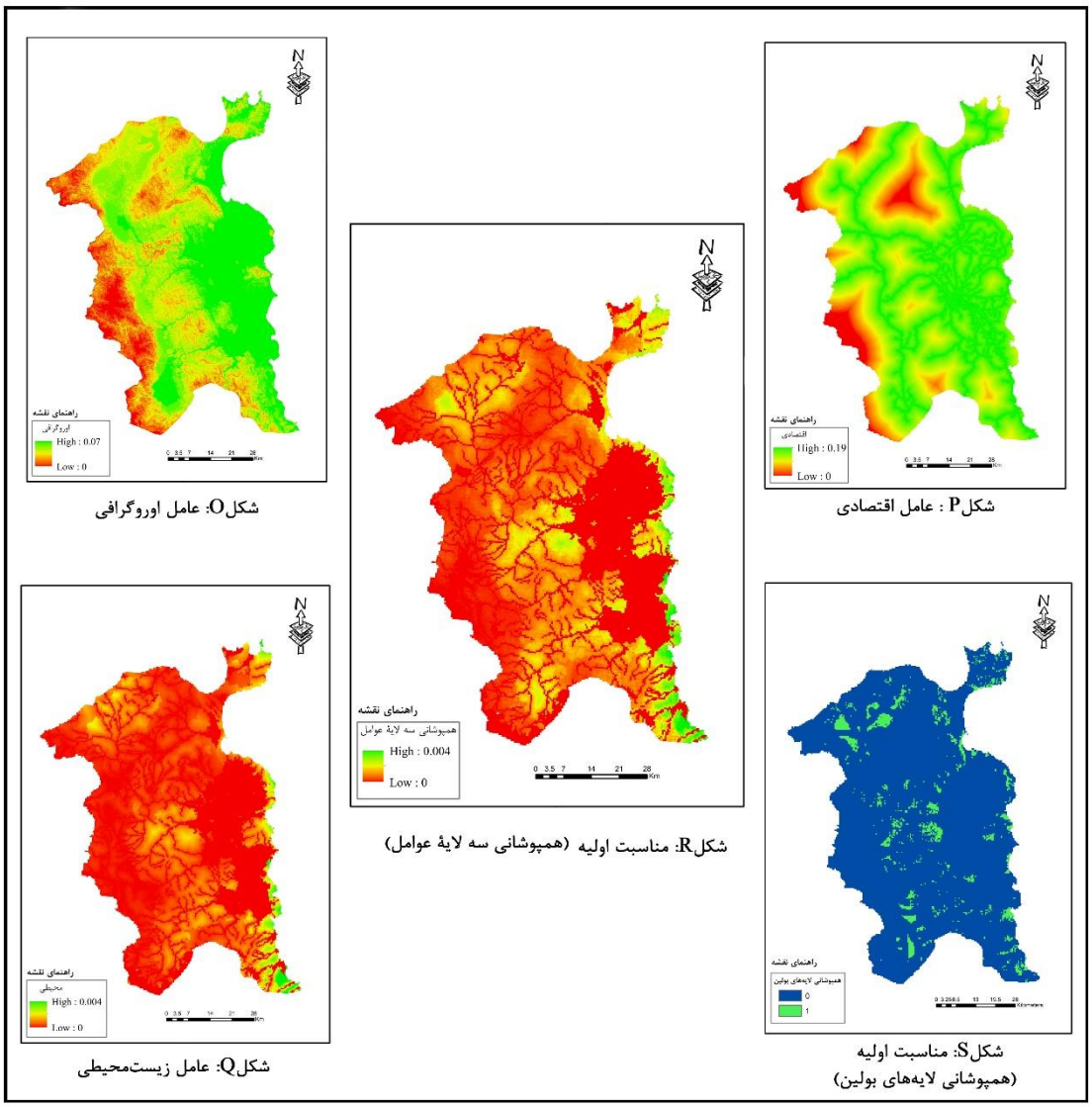
معیارها	نوع تابع عضویت فازی	واحد	a	b	c	d
فاصله از شهر	ذوزنقه‌ای	کیلومتر	۲	٦	۱۰	٤۸.۲
شیب	خطی نزولی (نوع یک)	درصد	۲	۱۲	–	–
گسل	خطی صعودی	متر	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۳٦٤۷۵
آبراهه	خطی صعودی	متر	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	٦۰۰۹
خطوط ارتباطی	مثلثی	متر	۵۰۰	۱۰۰۰	٦۰۰۰	۱٦۳۵۱.٤
ارتفاع	خطی نزولی (نوع دو)	متر	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۵۷٦
کاربری اراضی	تعریف شده توسط کاربر					

منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱



شکل ۵- استانداردسازی لایه‌ها مبتنی بر منطق فازی (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱)

نقشه مناسبت اولیه فازیِ مکان استقرار صنایع در شهرستان ارومیه، با همپوشانی سه لایه، حاصل از عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اوروگرافی ایجاد شده (شکل O, P, Q)؛ در ادامه، نقشهٔ مناسبت اولیهٔ بولین نیز از همپوشانی اشکال ۲ به دست آمده است.



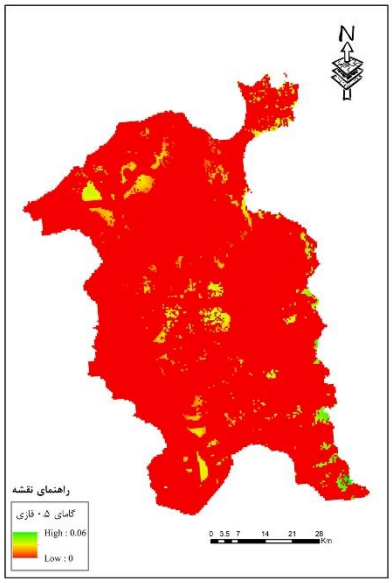
شکل ٦- نقشهٔ عوامل و قیود (ترسیم: نگارندگان، ١٤٠١)

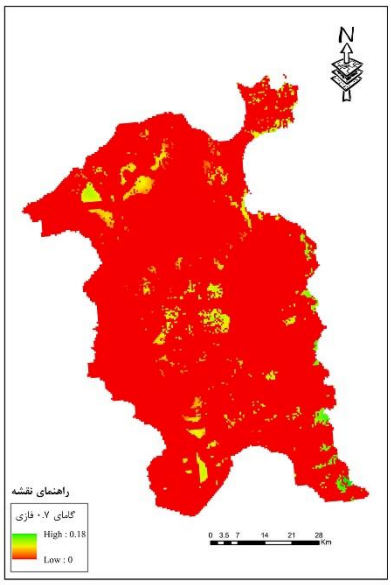
۳-۳- تحلیل مناسبت نهایی

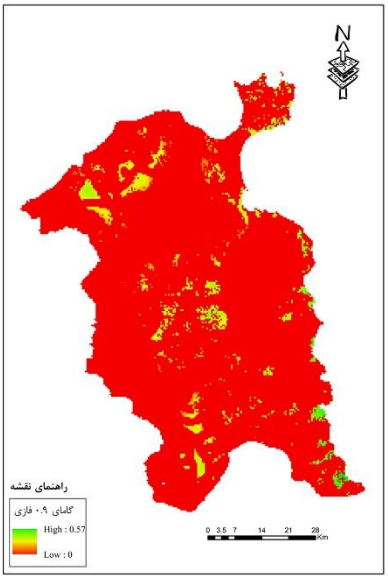
گرچه استفاده از منطق فازی برای تجزیه‌وتحلیل جغرافیایی، نتایج واقعی‌تری را برای تصمیم‌گیری نسبت به روش بولین ارائه می‌دهد (قاسمی و همکاران[1]، ۲۰۱۹)، اما ترکیب این دو روش از قابلیت‌های هر دوی آن‌ها برای ارائه یک ابزار تحلیلی قوی جهت مطالعات انتخاب مکان با استفاده از GIS فراهم می‌کند (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۸). انتخاب

1 Ghasemi et al

عملگرهای مناسب برای ترکیب لایه‌های مختلف با توجه به رابطه و تعامل بین لایه‌ها است (خاوریان گرمسیر و رضایی، ۲۰۱۵). بدین‌جهت در ابتدا به همپوشانی لایه‌های تناسب اولیه، با عملگر گامای ۰.۵، ۰.۷ و ۰.۹ می‌پردازیم و در ادامه به‌منظور تعیین مناسب‌ترین گاما، جداول انحراف از معیار و همبستگی آن‌ها استخراج می‌شود (جدول ٤). نقشه‌های نهایی مناسبت مکان استقرار صنایع، در اشکال ۷ تا ۹ ارائه شده است؛ این نقشه‌ها از همپوشانی دو نقشهٔ مناسبت اولیه (اشکال R و S)، با گاماهای متفاوت به دست آمده‌اند.





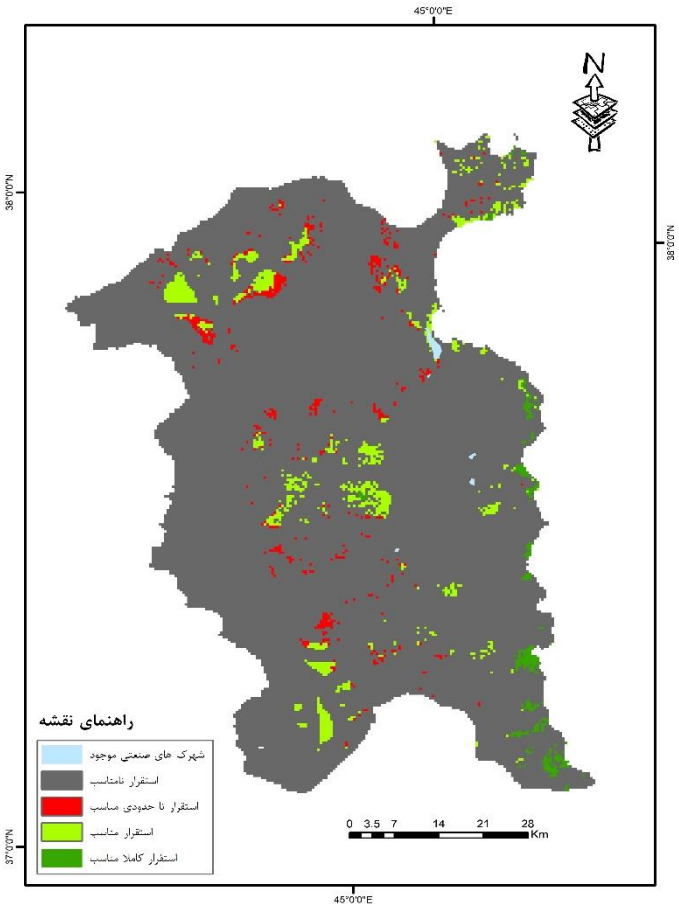


جدول ٤- انحراف معیار و ضریب همبستگی گاماهای مورد استفاده

Statistics of Individual Layears				
Layear	MIN	MAX	MEAN	STD
Gama 0.5	0.0000	0.0586	0.0021	0.0084
Gama 0.7	0.0000	0.1823	0.0083	0.0319
Gama 0.9	0.0000	0.5670	0.0323	0.1237
Covariance Matrix				
	Gama 0.5	Gama 0.7	Gama 0.9	
Gama 0.5	2.893668e-05	1.102040e-04	4.096074e-04	
Gama 0.7	1.102040e-04	4.225699e-04	1.581166e-03	
Gama 0.9	2.096074e-04	1.581166e-03	6.320630e-03	
Correlation Matrix				
	Gama 0.5	Gama 0.7	Gama 0.9	
Gama 0.5	1.00000	0.99661	0.95777	
Gama 0.7	0.99661	1.00000	0.96749	
Gama 0.9	0.96749	0.95777	1.00000	

منبع: نتایج تحلیلی حاصل از نرم افزار Arc Map 10.8

همان‌طور که در جدول ۳، مشخص شده است، گامای ۰.۵ با انحراف از معیار ۰.۰۰۸٤ نسبت به سایر انحراف معیارها و همچنین ماتریس همبستگی بالاتر، به‌عنوان مناسب‌ترین گاما به‌منظور مکانیابی استقرار شهرک‌های صنعتی، انتخاب خواهد شد؛ در ادامه اقدام به نافازی‌سازی نقشهٔ مناسبت نهایی می‌شود که بیان کیفیِ درجاتِ نقاط مستعد استقرار، مشخص گردد (شکل ۱۰). با استفاده از روش طبقه‌بندی در محیط Arc map 10.8 و مطابق جدول ۵، مشاهده می‌شود: حدود ۹٤.۲ درصد از شهرستان که مساحتی معادل با ٤۸۲۷ کیلومترمربع دارد، در دستهٔ **استقرار نامناسب** قرار گرفته، این مقدار در دستهٔ **استقرارِ تا حدودی مناسب**، برابر با ۱.۵ درصد معادل با ۷۹ کیلومترمربع در محدودهٔ موردمطالعه است؛ ۳.۳ درصد از مساحت محدوده که حدوداً معادل ۱۷۰ کیلومترمربع است، در دستهٔ **استقرار مناسب** قرار گرفته است و درنهایت مابقی زمین‌های منطقه (کمتر از یک درصد) یعنی حدوداً ٤۵ کیلومترمربع، برای مکان‌گزینی شهرک‌های صنعتی در شهرستان **کاملاً مناسب** هستند.



شکل ۱۰- نقشهٔ مناسبت نهایی استقرار صنایع با مدل گامای ۰.۵ (ترسیم: نگارندگان، ۱٤۰۱)

جدول ۵- دسته‌بندی مقادیر مناسبت زمین جهت استقرار شهرک‌های صنعتی

دسته‌بندی مناسبت زمین	مساحت (km^2)	مساحت (٪)
استقرار نامناسب	٤٨٢٧.٦٦٨٦٧	٩٤.٢
استقرار تا حدودی مناسب	٧٨.٩٨١٥٧٢	١.٥٤
استقرار مناسب	١٦٩.٧٠٦٩٨٦	٣.٣
استقرار کاملاً مناسب	٤٥.٤٦٩١٣٨	٠.٨٩

منبع: نگارندگان، ١٤٠١

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با موضوع این پژوهش انجام گرفته است که از جدیدترین آن در پژوهش‌های داخلی می‌توان به مکانیابی صنایع با روش‌های ارزیابی چند معیاره (افشاری و لطفی، ۱۳۹۹)، اشاره نمود، نتایج پژوهش حاضر همانند نتایج افشاری و لطفی، نشان می‌دهد منطق بولین حداقل نواحی مناسب جهت استقرار را معین می‌کند و نواحی که با استفاده ازاین‌روش به دست می‌آید باید تمامی معیارهای ارزیابی را در سطح مناسبی داشته باشد و در این مدل اگر واحدی از نظر یکی از معیارها تا حدودی نامناسب باشد، آن منطقه از نظر استقرار نامناسب بوده و حذف می‌شود؛ همچنین از دلایل ضعف این روش، ناتوانی در تعیین درجات تناسب زمین است؛ اما تلفیق منطق بولین و فازی می‌تواند ارزیابی دقیق و نزدیک به واقعیت را در برنامه‌ریزی منطقه‌ای به تصویر کشد. از پژوهش‌های خارجی جدید می‌توان به ارزیابی و پسا ارزیابی قابلیت اراضی شهرک صنعتی (اغمشهدی ،۲۰۲۲)، ارزیابی معیارهای انتخاب مکان شهرک بوم صنعتی[1] برای اقدامات مبتکرانهٔ توسعه پلیدار (نووهو و همکاران، ۲۰۲۲) و انتخاب مکان‌های مناسب برای مناطق صنعتی با استفاده از روش‌های GIS-Fuzzy (خاوریان گرمسیر و رضایی ،۲۰۱۵) اشاره نمود.

تشابه پژوهش‌های پیشین با این پژوهش در یک سطح آشکار است و آن مکان‌گزینی شهرک صنعتی در پهنه‌های طبیعی است؛ اما تفاوت پژوهش در بخش نخست، ارزیابی پهنه‌های موجود و شناسایی همزمان پهنه‌های جدید جهت استقرار شهرک‌های صنعتی؛ در بخش دوم، استفاده از کاربست تلفیقیِ مدل بولین و فازی در سطح شهرستان و در بخش سوم، استفاده از مجموعه معیارهای تعیین کنندهٔ مناسبت استقرار، با تأکید بر اهمیت آن در پژوهش‌های پیشین بوده است. اهمیت پژوهش حاضر عمدتاً در آن است که با رویکرد علت (با منشأ عمدتاً خارج اختیار) و معلولی (اثرگذاری در فضای منطقه) مخاطرات محیطی ناشی از استقرار شهرک صنعتی در پهنه‌های نامناسب را مورد بررسی و سنجش قرارداده که به نوبه خود جدید محسوب خواهد شد، بدین منظور تعیین طبقات مناسب زمین جهت استقرار شهرک‌های صنعتی در شهرستان ارومیه، در راستای اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌های پیش از وقوع مخاطرات محیطی، هدف ویژه‌ای در فرایند این پژوهش است (جدول ۵).

1 Eco-Industrial Park (EIP)

٤- جمع‌بندی

شـهرک‌های صـنعتی به‌عنوان مجموعه‌ای از صـنایع با تجمع در کنار یکدیگر با هدف اشـتراک خدمات، تعریف می‌شوند، در این میان ارزیابی اراضی جهت استقرار سایت‌های صنعتی، عامل مهمی در برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای اســـت. انتخاب مکان صـــنعتی می‌تولند بخش مهمی از اســـتراتژی برنامه‌ریزی کاربری زمین را به‌ویژه در عوامل اجتماعی-اقتصـادی و اکولوژیکی ایفا کند. ارزیابی بهینهٔ قابلیت اسـتقرار صـنایع در زمین، عموماً فرآیندهای پیچیده و چند معیاره را در بر می‌گیرد. امروزه اسـتفاده از مدل‌های مبتنی بر سـیسـتم اطلاعات جغرافیایی با هدف انتخاب مکان بهینهٔ شهرک‌های صنعتی، می‌تواند مشکلات مرتبط با تقاضای مناطق صنعتی را حل کند که نتیجهٔ این عمل، به حداقل رساندن اثرات منفیِ استقرار صنایع و حداکثر رساندن پایداری، کاهش مخاطرات طبیعی و سودآوری صنعت، خواهد بود؛ در حقیقت انتخاب مکان مناسـب تأسـیسـات صـنعتی، نقش ویژه‌ای در کاهش هزینه‌های توزیع، جابجایی بار، تأثیرات مخرب بر محیط‌زیست و ساکنان شهرها، خواهد داست. این پژوهش، به دنبال آن بوده تا در شهرستان ارومیه، با زیرسـاخت‌های صـنعتی منحصـربه‌فرد، از طریق ملاحظات اقتصـادی، جغرافیایی و محیط‌زیسـتی؛ در وهلهٔ نخسـت، مکان‌های مستعد استقرار فعالیت‌های صنعتی متعدد را با هدف توسعهٔ منطقه‌ای مشخص کرده و درنهایت به ارزیابیِ استقرار پهنه‌های صنعتی موجود در این شـهرسـتان بپردازد. به‌منظور دسـتیابی به اهداف پژوهش از روش‌های ارزیابی چند معیاره، شـامل روش بولین، روش فازی، روی هم‌گذاری با تلفیق بولین و فازی، اسـتفاده گردید. با توجه به این مهم که اسـتفاده از منطق فازی جهت تجزیه‌وتحلیل می‌تواند نتایج مطلوب‌تری جهت تصـمیم‌گیری، نسـبت به روش بولین داشـته باشـد، اما تلفیق دو روش از قابلیت‌های هر دوی آن‌ها برای ارائه یک ابزار تحلیلی قوی اسـتفاده می‌کند، نتایج تلفیقی از مدل بولین و فازی مورد تحلیل قرار گرفت؛ به‌طورکلی فرآیند انجام کار در ۳ مرحله تکمیل شـــد: در **مرحلهٔ نخســت**، نقشـهٔ **قیود** حاصـل از هفت معیارِ فاصـله از شـهر، شـیب، ارتفاع، گسـل، آبراهه، خطوط ارتباطی و کاربری اراضـی تهیه گردید، در ادامه به ایجاد نقشـه **عوامل** اقتصـادی، اوروگرافی و زیسـت‌محیطی پرداخته شـد؛ در **مرحلهٔ دوم** نقشهٔ مناسبت اولیهٔ فازی، حاصل از همپوشانی عوامل و نقشهٔ مناسبت اولیهٔ بولین، حاصل از همپوشانی قیود، تهیه گردید و درنهایت **مرحلهٔ نهایی**، با همپوشانی نقشهٔ مناسبت اولیهٔ فازی و نقشهٔ مناسبت اولیهٔ بولین، با سه عملگر گامای فازیِ ۰.۵، ۰.۷ و ۰.۹ انجام شد. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین گاما به ضرایب همبستگی و انحراف معیار آن‌ها رجوع شـد؛ در پایان گامای ۰.۵ به‌عنوان مناسـب‌ترین گاما جهت مکانیابی اسـتقرار صـنایع در شـهرسـتان ارومیه برگزیده شد. نقشهٔ مناسبت نهایی استقرار صنایع، نشان داد که حدوداً ۹٤ درصد از مساحت منطقه موردمطالعه برای اسـتقرار صـنایع کاملاً نامناسـب اسـت و تنها حدوداً ٦ درصـد از مسـاحت محدوده در طبقهٔ حدوداً مناسـب تا کاملاً مناسـب قرار گرفته‌اند. عمده نواحی کاملاً مناسـب و مناسـب جهت اسـتقرار، در بخش شـرقی، جنوب شـرقی، شـمال شـرقی و بخشـی از نواحی شـمالی و مرکزی شـهرسـتان واقع شـده‌اند؛ با ارزیابی اسـتقرار پهنه‌های صـنعتی موجود،

مشخص شد که شهرک صنعتی فاز یک، فاز دو، ناحیهٔ صنعتی کریم آباد و شهرک الکترونیک و صنایع غذایی در محدودهٔ نامناسب استقرار، مساحت حدوداً ۸ کیلومترمربع از شهرک صنعتی فاز سه در محدودهٔ مناسب استقرار و یک کیلومترمربع آن در محدودهٔ نامناسب استقرار، واقع شده‌اند. توجه جدی به مراکز صنعتی موجود و ساماندهی مناسب آن‌ها با نظر به اینکه ۸۰ درصد آن‌ها در پهنه‌های نامناسب استان واقع شده‌اند انکارناپذیر است؛ باید درنظر داشت که توسعه سایر واحدهای صنعتی در آینده باید تا حد امکان با دقت انجام شود، زیرا مناطق بالقوه اکثراً اشغال شده و نسبتاً محدود هستند (حدود ٤ درصد)، با در نظر گرفتن نارضایتی جامعه بومی نسبت به آلودگی‌های صنعتی، به‌ویژه آلودگی هوا، رویدادهای اقلیمی و کمبود آب، این مسائل سیاست‌گذاران را وادار خواهد کرد تا برای ساماندهی واحدهای صنعتی موجود تلاش کنند تا شاید با ارائه راهکارهایی در جهت کاهش آلودگی‌ها و مخاطرات محیطی گام بردارند. در ادامه به مهم‌ترین پیشنهادهای اجرایی در این زمینه پرداخته می‌شود:

- انتقال شهرک‌های صنعتی که در پهنه‌های نامناسب استقرار واقع شده‌اند به نزدیک‌ترین پهنهٔ مناسب و یا کاملاً مناسب، با فوریت شهرک‌های فاز یک، دو، ناحیهٔ صنعتی کریم آباد و شهرک مواد غذایی.
- انتقال مرحله‌ای و تدریجی صنایع آلایندهٔ و آب‌بر واقع در جنوب شرقیِ شهرک صنعتی فاز سه که یک کیلومتر از آن در پهنهٔ نامناسب استقرار واقع شده است (به‌عنوان اولویت دوم) در افق زمانی معین.
- ارائهٔ برنامهٔ مدیریتی مخاطرات اقلیمی و پایش محیط‌زیستی با توجه به مدیریت پساب (نوع، حجم، طریقه و محل دفع)، پسماند (نوع، حجم، طریقه و محل دفع) و کنترل آلودگی هوا (نوع، حجم، طریقه و نوع سیستم‌های کنترلی) در تمامی واحدهای صنعتی موجود و آتی شهرستان.
- ایجاد کریدور شرقی– جنوب شرقی در شهرستان به‌عنوان کریدور توسعهٔ آتی صنایع سنگین (بخش مرکزی شهرستان ارومیه به‌عنوان قطب استقرار شهرک‌های صنعتی) و لزوم توجه به پساب‌های صنعتی در این کریدور به علت همجواری با دریاچهٔ ارومیه.
- ایجاد بخش مرکزی شهرستان ارومیه (شمال غربی بخش مرکزی، جنوب غربی بخش نارلو، جنوب شرقیِ بخش صومای برادوست و شمال شرقی بخش سیلوانه) به‌عنوان هستهٔ استقرار صنایع سبک (با تأکید بر صنایع پاک و کم آب‌بر)؛ به علت توان اکولوژیکیِ متوسط (پهنه‌های مناسب و تا حدودی مناسب) محدوده.
- توجه به پهنه‌های جنوب غربی شهرستان (محدوده‌های مناسب استقرار که حدوداً ۲۲ کیلومترمربع مساحت دارند)، جهت مکان‌گزینی مجتمع‌های بزرگ صنعتی که معطوف به دروازه‌ی بازارهای بین‌المللی (کشور ترکیه) برای صادرات باشند.

کتابنامه

افشاری، سمیرا؛ لطفی، علی؛ ۱۳۹۹. مکانیابی صنایع با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمعیاره در شهرستان گلپایگان. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*. ۲۹(۱۱۶)، ۱۵۱-۱۶۶. https://www.sepehr.org/article_242866.html?lang=fa

خلیجی، محمدعلی؛ سعیده زرآبادی، زهراسادات؛ ۱۳۹٤. تحلیلی بر مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی در شهرستان تبریز با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. *فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. ۵ (۱۹)، ۱۰۱-۱۱٤. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/?_action=articleInfo&article=916

سالاری، مسعود؛ شریعت، سید محمود؛ رحیمی، راضیه؛ دشتی، سولماز؛ ۱۳۹۷. ارزیابی توان سرزمین به‌منظور استقرار کاربری شهرک صنعتی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و AHP (مطالعه موردی: جزیره قشم). *فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*. ۸(۳)، ۳۰۳-۳۱۵. https://www.jgeoqeshm.ir/article_69935.html

سالنامه آماری کل کشور، استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۸

صابری فر، رستم؛ ۱۳۹۱. مطالعه توسعه فیزیکی شهر بیرجند با معیار مخاطرات محیطی. *فصلنامه علمی ـــ پژوهشی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۳(٦)، ۹۳-۱۰۲. https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_1060.html

کرمی، فریبا؛ قنبری، ابوالفضل؛ علیرضایی، معصومه؛ ۱۳۹۸. تحلیلی بر مکانیابی شهرک‌های صنعتی شهرستان بستان‌آباد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. *فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*. ۱۰ (۱-۲)، ٦۰۷-٦۲٦. https://www.jgeoqeshm.ir/article_104514.html

مجیدی خامنه، بتول؛ جنگی، حسن؛ ۱۳۹۳. تحلیل فضایی استقرار بهینهٔ شهرک‌های صنعتی در پیرامون شهرها با بهره‌گیری از مدل‌های تلفیقی بولین و فازی در محیط GIS مطالعه موردی: کلانشهر تبریز. *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۷(۲۵)، ۱۹-۳۷. https://urs.ui.ac.ir/article_20137.html

معتمدی، محمد؛ زعفرانلو، عطااله؛ خالقی، محمد؛ ۱۳۹۲. مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از GIS فازی نمونه موردی (شهرک صنعتی شیروان). *فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*. ٦ (۱)، ۱۰٤-۱۱٤. https://geography.garmsar.iau.ir/article_665605.html

یاسوری، مجید؛ ۱۳۹۲. بررسی وضعیت استقرار صنایع و مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی در شهرستان مشهد. *مجله آمایش سرزمین*. ۵(۲)، ۲٦۱-۲۸۸. https://jtcp.ut.ac.ir/article_50085.html

Aghmashhadi, A. H., Azizi, A., Hoseinkhani, M., Zahedi, S., & Cirella, G. T., 2022. Industrial park land capability assessment and post-evaluation in Markazi province. *Applied Geomatics*, *14*(1), 105-118. https://doi.org/10.1007/s12518-021-00415-x

Aljohani, K., & Thompson, R. G., 2020. A multi-criteria spatial evaluation framework to optimise the siting of freight consolidation facilities in inner-city areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *138*, 51-69. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.020

Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., Laue, J., & Chabuk, A., 2019 a. Landfill site selection using MCDM methods and GIS in the Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Sustainability*, *11*(17), 4530. https://doi.org/10.3390/su11174530

Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L., & Mohammed, A. H., 2015. Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological indicators*, *48*, 315-323. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.029

Arabsheibani, R., Kanani Sadat, Y., & Abedini, A., 2016. Land suitability assessment for locating industrial parks: a hybrid multi criteria decision-making approach using Geographical Information System. *Geographical Research*, *54*(4), 446-460. https://doi.org/10.1111/1745-5871.12176

Aung, T. S., 2017. Evaluation of the environmental impact assessment system and implementation in Myanmar: Its significance in oil and gas industry. *Environmental Impact Assessment Review*, *66*, 24-32. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.05.005

Badi, I., Ballem, M., & Shetwan, A., 2018. SITE SELECTION OF DESALINATION PLANT IN LIBYA BY USING COMBINATIVE DISTANCE-BASED ASSESSMENT (CODAS) METHOD. *International Journal for Quality Research*, *12*(3). https://doi.org/10.18421/IJQR12.03-04

Barzehkar, M., Dinan, N. M., Mazaheri, S., Tayebi, R. M., & Brodie, G. I., 2019. Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, *1*(9), 1-11. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1109-9

Chauhan, A., & Singh, A., 2016. A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposal facility. *Journal of Cleaner Production*, *139*, 1001-1010. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.098

Cheng, C., & Thompson, R. G., 2016. Application of boolean logic and GIS for determining suitable locations for Temporary Disaster Waste Management Sites. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *20*, 78-92. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.10.011

Fenno, L. E., Mattis, J., Ramakrishnan, C., Hyun, M., Lee, S. Y., He, M., ... & Deisseroth, K., 2014. Targeting cells with single vectors using multiple-feature Boolean logic. *Nature methods*, *11*(7), 763-772. https://doi.org/10.1038/nmeth.2996

Francis, A., 2015. Analyzing the environmental impact assessment process for sustainable development of the oil and gas industry in Trinidad and Tobago. Electrical thesis dissertation. https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/etd/1321/

Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. T. S., 2013. Modelling landfill location using geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA): case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, *36*, 3-12. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013

Ghasemi, G., Noorollahi, Y., Alavi, H., Marzband, M., & Shahbazi, M., 2019. Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran. *Renewable Energy*, *138*, 1250-1261. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.068

Ghobadi, M. H., Babazadeh, R., & Bagheri, V., 2013. Siting MSW landfills by combining AHP with GIS in Hamedan province, western Iran. *Environmental earth sciences*, *70*(4), 1823-1840 https://doi.org/10.1007/s12665-013-2271-9

Hadipour, A., Vafaie, F., & Hadipour, V., 2015. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. *Aquaculture international*, *23*(1), 329-343. https://doi.org/10.1007/s10499-014-9818-y

Hermann, B. G., Kroeze, C., & Jawjit, W., 2007. Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. *Journal of cleaner production*, *15*(18), 1787-1796. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.04.004

Ibrahim, G. R. F., Hamid, A. A., Darwesh, U. M., & Rasul, A., 2021. A GIS-based Boolean logic-analytical hierarchy process for solar power plant (case study: Erbil Governorate—Iraq). *Environment, Development and Sustainability*, *23*(4), 6066-6083. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00862-3

Izadikhah, M., & Saen, R. F., 2016. A new preference voting method for sustainable location planning using geographic information system and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, *137*, 1347-1367. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.021

Khamis, A., Khatib, T., Yosliza, N. A. H. M., & Azmi, A. N., 2020. Optimal selection of renewable energy installation site in remote areas using segmentation and regional technique: A case study of Sarawak, Malaysia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *42*, 100858. https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100858

Kharat, M. G., Kamble, S. J., Raut, R. D., & Kamble, S. S., 2016. Identification and evaluation of landfill site selection criteria using a hybrid Fuzzy Delphi, Fuzzy AHP and DEMATEL based approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*(2), 1-13. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0171-1

Khavarian-Garmsir, A. R., & Rezaei, M. R., 2015. Selection of appropriate locations for industrial areas using GIS-Fuzzy methods. a case study of Yazd Township, Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, *6*(1), 19-25.

Lewis, S. M., Gross, S., Visel, A., Kelly, M., & Morrow, W., 2015. Fuzzy gis-based multi-criteria evaluation for us agave production as a bioenergy feedstock. *Gcb Bioenergy*, *7*(1), 84-99. https://doi.org/10.1111/gcbb.12116

Li, Y., Lin, C., Wang, Y., Gao, X., Xie, T., Hai, R., ... & Zhang, X., 2017. Multi-criteria evaluation method for site selection of industrial wastewater discharge in coastal regions. *Journal of Cleaner Production*, *161*, 1143-1152.

Luo, C., Ju, Y., Gonzalez, E. D. S., Dong, P., & Wang, A., 2020. The waste-to-energy incineration plant site selection based on hesitant fuzzy linguistic Best-Worst method ANP and double parameters TOPSIS approach: A case study in China. *Energy*, *211*, 118564. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118564

Mierzwiak, M., & Calka, B., 2017. Multi-criteria analysis for solar farm location suitability. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, *104*. https://doi.org/10.1515/rgg-2017-0012

Motlagh, Z. K., & Sayadi, M. H., 2015. Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (Case study: Birjand plain, Iran). *Waste management*, *46*, 322-337. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.013

Nuhu, S. K., Reba, M. N. M., Abd Manan, Z., Alwi, S. R. W., & Ridzuan, F. N. S., 2022. Assessing the Criteria of Eco-Industrial Park Site Selection for the Sustainable Development Goals Initiatives. In *Sustainability Management Strategies and Impact in Developing Countries*. Emerald Publishing Limited. https://doi.org/10.1108/S2040-726220220000026011

Reisi, M., Aye, L., & Soffianian, A., 2011. Industrial site selection by GIS in Isfahan, Iran. In *2011 19th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-4). IEEE. https://doi.org/10.1109/GeoInformatics.2011.5981171

Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D., 2014. GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia engineering*, *69*, 1054-1063.

Rikalovic, A., Cosic, I., Labati, R. D., & Piuri, V., 2015. A comprehensive method for industrial site selection: the macro-location analysis. *IEEE Systems Journal*, *11*(4), 2971-2980. https://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2444471

Saadat Foomani, M., Karimi, S., Jafari, H., & Ghorbaninia, Z., 2017. Using boolean and fuzzy logic combined with analytic hierarchy process for hazardous waste landfill site selection: A case study from Hormozgan province, Iran. *Advances in environmental technology*, *3*(1), 11-25. https://doi.org/10.22104/aet.2017.502

Yankiv-Vitkovska, L., Peresunko, B., Wyczałek, I., & Papis, J., 2020. Site selection for solar power plant in Zaporizhia city (Ukraine). *Geodesy and Cartography*, *69*(1). https://doi.org/12.10.24425/gac.2020.131076

Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A., 2018. Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, *11*(7), 1648. https://doi.org/10.3390/en11071648

Zailani, S., Wahid, N. A., Premkumar, R., & Sathasivam, M., 2007. The relationship between quality improvement and firms' productivity in Malaysia. *International Journal of Productivity and Quality Management*, *2*(3), 347-364.

Zarin, R., Azmat, M., Naqvi, S. R., Saddique, Q., & Ullah, S., 2021. Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(16), 19726-19741. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11975-7

Zhang, J., Xu, C., Song, Z., Huang, Y., & Wu, Y., 2019. Decision framework for ocean thermal energy plant site selection from a sustainability perspective: The case of China. *Journal of Cleaner Production*, *225*, 771-784. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.032

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.241-254 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.73551.1132 Open access

Evaluation and Comparison of GIUH Model Hydrograph Simulation Results in Different Seasonal Precipitation

Iraj Jabbari[a*], Masoumeh Asadi[b], Homayoon Hesadi[c]

[a] *Associate Professor in Geomorphology, University of Razi, Kermanshah, Iran*
[b] *Department of Social Sciences, Payam Noor University, Tehran, Iran*
[c] *Assistant Professor, Faculty Member of Research, Education and Promotion Organization of Agriculture, Kermanshah, Iran*

Received: 10 February 2022 ***Revised: 22 March 2022*** ***Accepted: 1 June 2022***

Abstract

Floods are occurring as an environmental hazard in many parts of the world, especially in countries that have been ineffective in crisis management and resource conservation. This natural hazard has become one of the most damaging natural disasters since the reckless activities of human beings in exploiting the natural environment have increased. One of the ways to deal with this danger is to predict the occurrence of floods. The models that are used to predict the occurrence of floods may not have the same accuracy in predicting precipitation events in different seasons of the year. Due to the importance of this issue, in this study, the results of the the Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) model in predicting floods in winter and spring in Minab catchment (Brentin) were compared. The data include the maximum hourly flow and their corresponding precipitation for three spring and three winter events. First, the required parameters of GIUH model including branching ratio, length ratio and area ratio for the basin were estimated using GIS softwar. Then, the events of winter and spring seasons, the peak discharge values, and the time of the peak discharge were compared. The results of this comparison showed that GIUH model predicts peak discharge and peak flood time occurring in winter (with average values of 20.09 and 45.64%, respectively). It is less distant from the observed data, and has a higher accuracy than spring events (with average values of 57.3 and 119.7, respectively).

Keywords: Simulation, Seasonal precipitation, Minab, Flood, GIUH

* .Corresponding author: Iraj Jabbari E-mail: iraj.jabbari@razi.ac.ir Tel:+989188332017

How to cite this Article: Jabbari, I., Asadi, M., & Hesadi, H. (2023). Evaluation and comparison of GIUH model hydrograph simulation results in different Seasonal precipitation. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 241-254.
DOI:10.22067/geoeh.2022.73551.1132

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73551.1132

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۲۵۴-۲۴۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف مدل GIUH در فصول بارشی متفاوت

ایرج جباری[1]- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
معصومه اسدی- گروه علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
همایون حصادی- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، هیدرولوژی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۱۱

چکیده

سیل به‌عنوان یک مخاطره محیطی در بسیاری از نقاط دنیا و به‌خصوص در کشورهایی که در کنترل بحران و حفظ منابع خود ناکارآمد عمل نموده‌اند با روند رو به رشدی به وقوع می‌پیوندد. یک از راه‌های مقابله با این مخاطره پیش‌بینی وقوع سیلاب است. مدل‌های پیش‌بینی وقوع سیل ممکن است در فصول مختلف سال از دقت یکسانی برخوردار نباشند. با توجه به اهمیت این مسئله، در تحقیق حاضر نتایج مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) در پیش‌بینی وقوع سیل در فصول زمستان و بهار، در حوضه آبریز میناب (برنطین) مورد مقایسه قرار گرفته شده است. داده‌های تحقیق شامل حداکثر دبی ساعتی و بارش‌های متناظر آن‌ها برای سه واقعه بهار و سه واقعه زمستان است. روش کار به این طریق است که ابتدا پارامترهای مورد نیاز مدل GIUH شامل نسبت انشعاب، نسبت طول و نسبت مساحت برای حوضه تحت مطالعه برآورد گردید سپس با اجرای مدل برای وقایع انتخابی، مقادیر دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج محاسباتی با مقادیر مشاهده‌ای همان وقایع مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه بیانگر این است که مدل GIUH در پیش‌بینی دبی اوج و زمان وقوع اوج وقایع سیل که در زمستان رخ می‌دهد (به

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۳۳۲۰۱۷ Email: iraj.jabbari@razi.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

جباری، ایرج؛ اسدی، معصومه؛ حصادی، همایون؛ ۱۴۰۲. ارزیابی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف مدل GIUH در فصول بارشی متفاوت. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲(۳). صص ۲۵۴-۲۴۱

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73551.1132

ترتیب با مقادیر میانگین ۲۰/۰۹ و ٤٥/٦٤ درصد) به لحاظ اینکه با داده‌های مشاهده‌ای فاصله کمتری دارد، از دقت بالاتری نسبت به وقایع بهار (به ترتیب با مقادیر میانگین ۵۷/۳ و ۱۱۹/۷) برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی، بارش فصلی، میناب، سیلاب، GIUH

۱- مقدمه

پیش‌بینی سیلاب، نقش مهمی در طراحی و اجرای طرح‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مؤثر در مهار سیلاب دارد و امکان دستیابی به اطلاعات دقیق سیلاب به دلیل مشکلات مدیریتی، اجرایی و نبود ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب، بسیار هزینه‌بر و مشکل است. ازاین‌رو استفاده از مدل‌هایی که به‌منظور پیش‌بینی سیلاب تهیه و طراحی شده‌اند، بسیار مفید است. مدل‌های پیش‌بینی سیلاب بر اساس مهم‌ترین اهداف مطالعات هیدرولوژی که همان یافتن قوانین فرآیند رواناب است طراحی شده‌اند تا بتوانند در حوضه‌های فاقد آمار، برآورد درستی از میزان رواناب تولیدی داشته باشند. یکی از راه‌های تعیین هیدروگراف رواناب استفاده از رابطه بین خصوصیات ژئومورفولوژی کمی حوضه آبخیز زهکشی و شبکه‌های کانال و پارامترهای هیدروگراف واحد لحظه‌ای[1] (IUH) است. به دلیل پیچیدگی فرآیند بارش-رواناب، مدل‌های فراوانی جهت مدل‌سازی این فرایند مورداستفاده قرارگرفته است. ایجاد هیدروگراف واحد در یک نقطه از شبکه زهکشی به‌عنوان پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرآیند پیچیده‌ای است که به‌خصوصیات بارش و مشخصات حوضه آبخیز بستگی دارد (علیزاده،۱۳۸۷). مدلی که در این پژوهش جهت برآورد میزان دقت پیش‌بینی سیلاب در نظر گرفته شده است مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی[2] (GIUH) است، مطالعات زیادی بر اساس این روش در نقاط مختلف دنیا تا کنون صورت گرفته است که عمدتاً به بررسی کارایی آن در محیط موردمطالعه خود و مقایسه نتایج آن با مدل‌های دیگر تمرکز داشته‌اند و کمتر مطالعه‌ای به مقایسه کارایی مدل در شرایط مختلف پرداخته است.

مطالعات اولیه و پایه در خصوص مدل‌های هیدروگراف توسط محققینی چون اشنایدر در سال ۱۹۳۸ و نش (۱۹٦۰) صورت گرفته است. به دنبال مطالعات آن‌ها مدل‌های توسعه‌یافته‌تری تهیه شدند که در این زمینه می‌توان مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی را نام برد که اولین بار توسط رودریگوئز - ایتورب و وللدس[3] (۱۹۷۹) به‌عنوان واکنش حوضه آبخیز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای آبخیز ارائه گردیده است. در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های معناداری در یافته‌های این مدل صورت گرفته است. ازجمله محققین هیدرولوژی و هیدروژئومورفولوژی که مطالعات خود را به بهره‌گیری از این مدل معطوف داشته‌اند می‌توان گوپتا و همکاران

1 Instantaneous unit hydrograph
2 Hydrograph is a unit of instantaneous geomorphology
3 Rodriguez-Iturbe and Valdes

(۱۹۸۰)[1]، رودریگوئز- ایتورب و همکاران ۱۹۸۲، سوررمن [2](۱۹۹۵) عربستان ، الیورا و مایدمنت[3] (۱۹۹۹)، کیون و چلنگ [4](۲۰۰۵)، جین (۱۹۹۲)، پنا و همکاران (۱۹۹۹)، (محمدی، ۱۳۹۰) و انگسوم و میچر[5] (۲۰۱٤) رانام برد. همچنین خالقی (۲۰۱٤) حوضه امامه، ینگ بینگ و همکاران[6](۲۰۱۹)، سنجری (۲۰۱۹)، سامر باموفله [7](۲۰۲۰) در چهار حوضه در عربستان و طراحی (۲۰۲۱) در مطالعات خود به نتایج قابل قبولی در برآورد مدل GIUH دست یافتند.

به علت تنوع شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی در حوضه‌های آبخیز، تحقیقات متعددی در سطح جهان به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های استنتاج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی انجام شده است. به‌تبع آن در ایران نیز مطالعاتی در خصوص بررسی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی صورت گرفته است که به مواردی از آن‌ها می‌توان اشاره نمود: روش GIUH در ایران توسط عرفانیان (۱۳۸۲) در حوضه سمنان، محمودی و همکاران (۱۳۸۳) در حوضه امامه، نصیری (۱۳۸٤) در حوضه امامه، محمودی و همکاران (۱۳۸٦) در حوضه کنگیر ایلام ارزیابی گردید و به این نتیجه رسیدند که با توجه به هزینه و وقت لازم برای اجرای مطالعه این مدل نتایج قابل قبولی را نشان داده است. همچنین خداپناه و رحیم‌زاده (۱۳۸۵) کسیلیان، زکی‌زاده و همکاران (۱۳۹٤) کسیلیان، کرمی و اسمعیل‌پور(۱۳۹۳) دریاچای، گلکاریان و همکاران (۱۳۹۳) کارده مشهد، سعیدی و همکاران (۱۳۹٤) قروه، محمدی و همکاران (۱۳۹۰) کن، هیدروگراف واحد ژئومرفولوژی را با هیدروگراف مدل‌های دیگر مقایسه کرده و کارایی و نتیجه مقایسه آن‌ها را گزارش داده‌اند. تأثیر کاربری اراضی و اجرای طرح آبخیزداری نیز در برخی حوضه‌ها بر روی کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی مورد ارزیابی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به کار فاخری فرد (۱۳۹۵) آریزونای آمریکا اشاره نمود.

با وجود اینکه مدل‌ها و روش‌هایی چون GCIUH، GIUH-NASH، GUHR بر مبنای مدل ژئومورفولوژیک جهت بالا بردن دقت مدل طراحی شده است، اما نتایج ارزیابی آن‌ها در مناطق مختلف نشان می‌دهد که همچنان در برخی از مناطق، مدل اولیه GIUH دارای نتایج بهتری در شبیه‌سازی است. این موضوع زمانی اهمیت خود را بیشتر نشان می‌دهد که بدانیم مدل GIUH نسبت به مدل‌های مذکور و حتی سایر مدل‌های هیدروگراف مصنوعی نیز از مزایای قابل‌توجهی برخوردار است. این مزایا سادگی در محاسبات، نیاز به داده‌های محدود در محاسبات و دقت مناسب پیش‌بینی‌ها با وجود داده‌های محدود است. با توجه به شرایط مطرح شده اهمیت شناخت ویژگی‌هایی که

1 Gupta, Waymire and Wang
2 Sorman
3 Olivera, and Maidment
4 Kwan and Chang
5 Anghesom and Mathur
6 Yingbing and et al
7 Bamufleh and et al

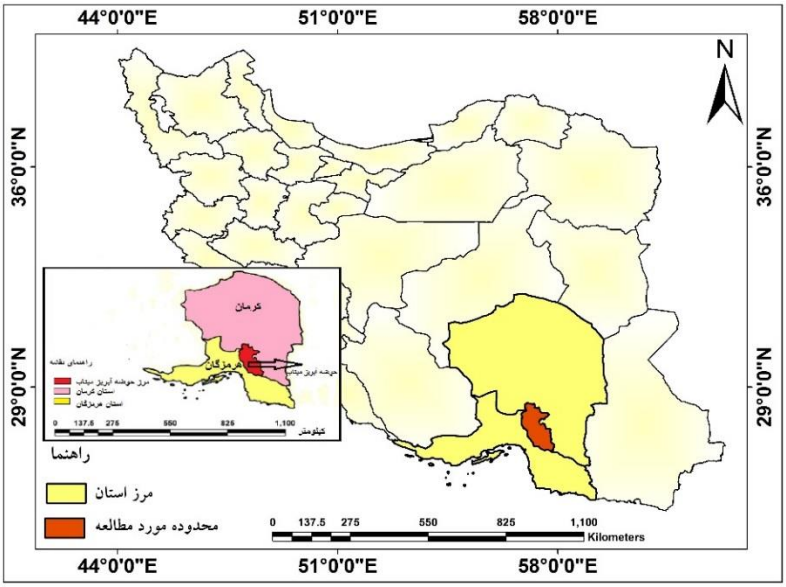
بتواند روی بالا رفتن دقت پیش‌بینی مدل اثر گذار باشد بسیار حائز اهمیت است. به همین خاطر به آزمون در آمدن مدل در حوضه‌های مختلف و در فصول مختلف و بررسی نتایج پیش‌بینی‌های مدل می‌تواند به بهبود نتایج مدل کمک کند.

ازآنجایی‌که در اکثر این مطالعات تمرکز روی کارایی یا عدم کارایی مدل در حوضه تحت مطالعه خود بوده‌اند و به مقایسه نتایج آن در شرایط مختلف توجهی صورت نگرفته است. این پژوهش بر روی مقایسه نتایج هیدروگراف‌های حاصل از بارش‌های بهاره با هیدروگراف‌های حاصل از بارش‌های زمستانه متمرکز شده است. به دلیل اینکه پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرآیند پیچیده‌ای است که علاوه بر مشخصات حوضه آبخیز به‌خصوصیات بارش نیز بستگی دارد. چون بیشترین مقدار بارش‌های حوضه موردمطالعه در فصل زمستان رخ می‌دهد، بارش‌های بهاره به خاطر وجود رطوبت بیشتر زمین و رگباری بودن عمدتاً می‌تواند رواناب بیشتری تولید کند و توجه به این امر می‌تواند در بحث راهکارهای مقابله با سیل چون سیستم‌های هشدار سیل مؤثر واقع شود. از سوی دیگر همان‌طوری که عملکرد مدل بر اساس نتایج مطالعات انجام شده در مکان‌های مختلف متفاوت است، می‌تواند عملکرد متفاوتی هم در یک حوضه و در زمان‌های مختلف نیز داشته باشد و این امر می‌طلبد که متخصصان با به آزمون در آوردن مدل تغییراتی را در مدل برای پیش‌بینی‌ها در فصول مختلف ایجاد کنند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-موقعیت منطقه موردمطالعه

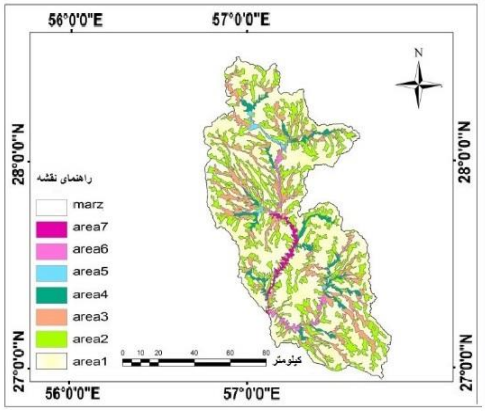
حوضه آبریز میناب در جنوب ایران در مناطق وسیعی از استان‌های کرمان شامل شهرستان‌های جیرفت، کهنوج و شهرستان میناب و رودان استان هرمزگان واقع شده است (شکل ۱). حوضه آبریز سد استقلال میناب (برنطین) ۹۶۷۷ کیلومترمربع وسعت دارد که قسمت زیادی از آن در مناطق کوهستانی قرار دارد. پوشش گیاهی در این حوضه ناچیز و تقریباً صفر است. رودخانه میناب دارای آب دائمی است و رژیم آبی رودخانه بارانی و سیلابی است. از دیدگاه زمین‌شناسان استان هرمزگان بین زون‌های زمین‌شناسی زاگرس، مکران و سنندج - سیرجان قرار گرفته که یکی از پرتکاپوترین و پیچیده‌ترین مناطق زمین ساختی ایران محسوب می‌شود.

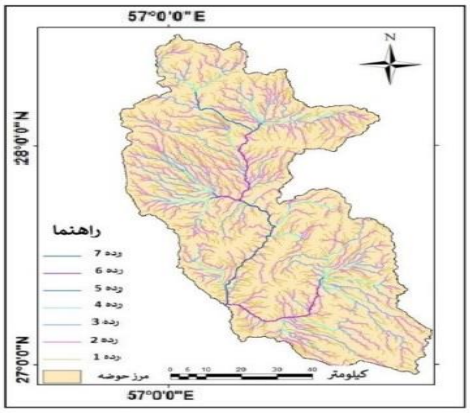


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد استقلال میناب

۲-۲- روش انجام پژوهش

روش تحقیق در پژوهش حاضر بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای و عملیات میدانی صورت گرفته است. مراحل آن به شرح زیر است: ابتدا بر روی نقشه DEM منطقه و با کمک تصاویر ماهواره‌ای محدوده حوضه موردمطالعه مشخص گردیده و برای اجرای مدل GIUH با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی حوضه آبریز، با نرم‌افزار ArcGIS، مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیک محدوده مورد نظر (جدول۱) از قبیل مساحت، طول آبراهه با بالاترین رتبه حوضه و شیب رودخانه اصلی تعیین گردید. سپس پارامترهای اصلی مورد نیاز شامل نسبت انشعاب(RB)، نسبت طول (RL)، (شکل ۲) نسبت مساحت (RA) (شکل ۳) و سرعت جریان نیز برآورد گردید. در رتبه‌بندی آبراهه‌ها، از روش استراهلر به‌عنوان مبنا استفاده گردید. به‌منظور استخراج اطلاعات بارش و دبی هم زمان سیلاب، از آمارهای بارش و دبی سیلابی موجود در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه میناب (برنطین) استفاده شده است. اطلاعات بارش و رواناب مربوط به ۳ رخداد بهاری و ۳ رخداد زمستانه گرد آوری گردید و هیدروگراف مستقیم به دست آمد. در این تحقیق ضمن تعیین کارایی مدل، بر اساس هدف تحقیق، با شرایط متفاوت نیز مورد ارزیابی قرار گرفت به این صورت که بارش‌های بهاره و زمستانه به‌صورت جداگانه برای مدل‌سازی استفاده گردید و سپس نتایج دو دوره زمانی بارش با هم مقایسه شدند، که مشخص شود آیا نتایج عملکرد مدل برای فصول مختلف متفاوت است یا خیر.





شکل ۲- نقشه رتبه آبراهه‌ها به روش استراهلر شکل ۳ - نقشه مساحت آبراهه‌های حوضه آبریز میناب

جدول ۱ - خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز میناب

خصوصیات فیزیوگرافی	حوضه میناب	خصوصیات فیزیوگرافی	حوضه میناب
بیشترین ارتفاع (متر)	۲۷۲۱	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۲۰۸
کمترین ارتفاع (متر)	۹۶	شیب متوسط وزنی آبراهه اصلی	۰.۰۱۱۶
شیب متوسط حوضه (درصد)	۱۳/۱۸	ضریب شکل گراولیوس *C*	۲/۰۸
زمان تمرکز (ساعت)	۲۷/۲۲	نسبت گردی میلر *R.C*	۰/۲۲۸
مساحت (کیلومترمربع)	۹۷۶۶	شکل واحدکاری	کشیده

با برآورد مقادیر طول آبراهه بالاترین درجه، سرعت دبی اوج در خروجی حوضه و نیز با استفاده از پارامترهای نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول، دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای (QP) و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای (TP) جهت شبیه‌سازی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، برای ۳ واقعه سیلاب زمستانه و ۳ واقعه بهاره محاسبه گردید. با کمک جدول هیدروگراف بی‌بعد SCS، مقادیر محاسباتی آن‌ها در تهیه و ترسیم هیدروگراف محاسبه‌ای به روش GIUH، به‌منظور مقایسه دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج با هیدروگراف مشاهده‌ای نیز استفاده گردید.

جهت بررسی کارایی مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH) در تحقیق حاضر از شاخص MAPE، مقایسه میزان دبی پیک مشاهده‌ای با میزان دبی پیک محاسبه‌ای و زمان وقوع پیک دبی برای هر واقعه به‌صورت جداگانه، از شاخص‌های APE استفاده شده است (رابطه ۱ و ۲).

$$APE = \left|\frac{Q_s - Q_o}{Q_o}\right| \times 100$$ (رابطه شماره ۱)

$$APE = \left|\frac{Q_{ts} - Q_{to}}{Q_{to}}\right| \times 100$$ (رابطه شماره ۲)

که در آن APE قدر مطلق درصد خطا، Qo دبی مشاهده‌ای اوج، Qs دبی اوج محاسبه‌ای، Qto زمان دبی اوج مشاهده‌ای، Qts زمان دبی اوج محاسبه‌ای است.

۳- نتایج و بحث

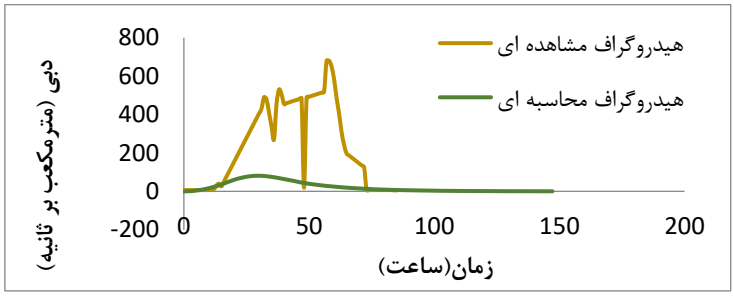
برای دستیابی به نتایج کارایی مدل GIUH، سه واقعه بهار با تاریخ‌های ۱۳۹۲/۱/۱۹، ۱۳۸۸/۱/۱۱ و ۱۳۷۶/۱/۷ و سه واقعه زمستان با تاریخ‌های ۱۳۸۹/۱۲/۱۰، ۱۳۹۱/۱۰/۲۱، ۱۳۹۳/۱۲/۲۱، با استفاده از دبی و بارش ساعتی ایستگاه برنطین مورد آزمون قرار گرفتند و درنهایت با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند تا مشخص شود که مدل برای کدام فصول نتایجی نزدیک‌تر به واقعیت را پیش‌بینی خواهد کرد.

با محاسبه مقادیر دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای (QP) و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای (TP) جهت شبیه‌سازی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، برای واقعه‌های فوق‌الذکر محاسبه گردید (جداول ۲ و ۳). مقادیر محاسباتی آن‌ها در تهیه و ترسیم هیدروگراف محاسبه‌ای به روش GIUH، به‌منظور مقایسه دبی اوج و زمان وقوع دبی اوج با هیدروگراف مشاهده‌ای استفاده گردید. هیدروگراف‌های واحد ژئومورفولوژی ترسیم شده برای رویدادهای بهاره در (اشکال ۵،٤ و ٦) آمده‌اند و این هیدروگراف برای بارش‌های زمستانه در (اشکال۷ ،۸ و۹) به همراه هیدروگراف‌های سیل مشاهداتی، نشان داده شده‌اند .

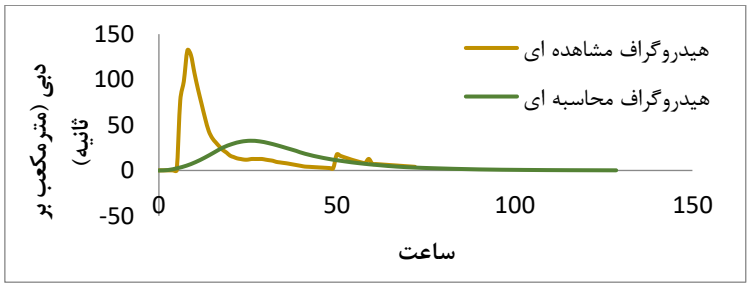
با بررسی جداول نمودارهای ترسیمی نتایج پیش‌بینی هیدروگراف سیل با مدل GIUH در فصول مورد بررسی بیانگر این است که شبیه‌سازی مدل برای واقعه‌های زمستان از دقت بالاتری برخوردار است که این امر نشان می‌دهد تغییرات فصول در نتایج مدل GIUH استخراج شده تأثیرگذار است. همان‌گونه که نتایج این مدل در حوضه موردمطالعه نشان می‌دهد از بین واقعه‌های بهاره فقط واقعه ۱۳۸۸ /۱/۱۱ به لحاظ مقدار دبی اوج به‌لندازه واقعی نزدیک است و از زمان وقوع دبی اوج آن نیز در مقایسه با دو واقعه دیگر به مقدار زمان وقوع دبی اوج مشاهداتی نزدیک‌تر است. در بین سه واقعه زمستانه نیز دو واقعه ۱۳۹۱/۱۰/۲۱ و ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ دارای دبی محاسبه‌ای نزدیک به مقدار دبی مشاهده‌ای می‌باشند که از این دو واقعه، بارش ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ از لحاظ زمان وقوع دبی اوج نیز به مقدار مشاهده‌ای آن نزدیک است.

جدول ۲ – مقادیر محاسبه شده دبی پیک، زمان اوج، زمان پایه سیلاب بر اساس مدل GIUH حوضه میناب برای واقعه‌های بهاره

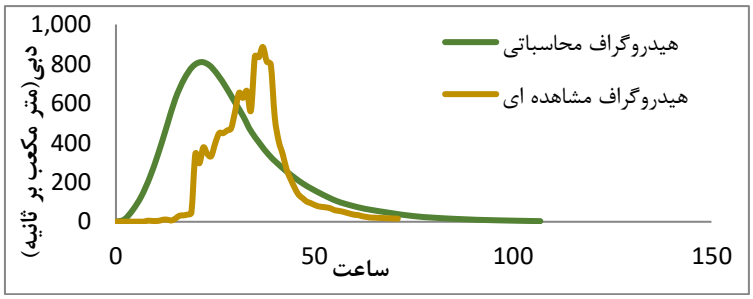
ردیف	تاریخ واقعه	Qp	QP	Tp	TP	V	ir	Tr
۱	۱۳۸۸/۱/۱۱	۰/۰۹۵	۸۰۹/۵۲	۷/۸۷۹	۲۱/۳۷	۳/۲۷۷	۰/۳۱٤	۲۲
۲	۱۳۷٦/۱/۷	۰/۰٦٤	۸۱/۲۱	۱۱/۵۳	۲۹/٤٤	۲/۲۳۸	۰/۰٤۳	۱۵
۳	۱۳۹۲/۱/۱۹	۰/۰۵۹	۳۲/٦۸	۱۲/۵۰۲	۲۵/۷۱	۲/۰٦۵	۰/۰۲۲	۲۳



شکل ٤ – هیدروگراف واقعه ۱۳۷٦/۱/۷ با مدل GIUH



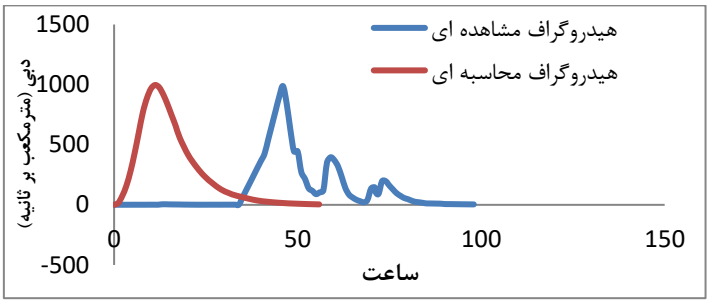
شکل ٥ – هیدروگراف واقعه ۱۳۹۲/۱/۱۹ با مدل GIUH



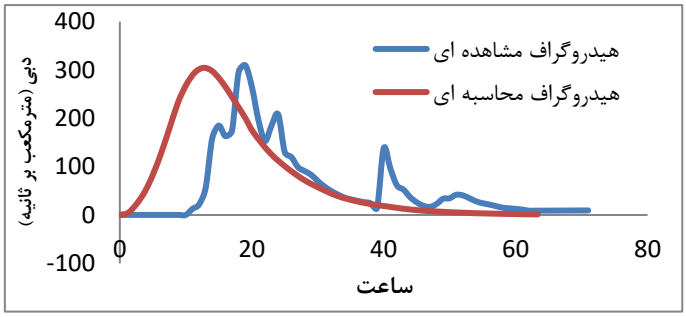
شکل ٦ – مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی برنطین برای واقعه سیل ۱۱ / ۱ / ۱۳۸۸.

جدول ۳ – مقادیر محاسبه شده دبی پیک، زمان اوج، زمان پایه سیلاب بر اساس مدل GIUH حوضه میناب برای واقعه‌های زمستانه

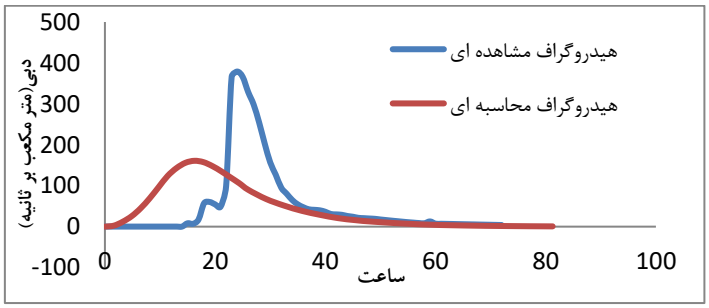
ردیف	تاریخ واقعه	Qp	QP	tp	TP	V	Ir	tr
۱	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۰/۰٥۹	۱٦۰/۸٤۹	۱۲/٥۰۲	۱٦/۲٥۲	۲/۰٦٥	۰/۰۹۹	٥
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۰/۱۰۰۸	۹۹٦/۷۱۹	۷/٤۲٤	۱۱/۱۷٤	۳/٤۷۷	۰/۳٦٤۳	٥
۳	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۰/۰۷۱	۳۰٤/۲۹٤	۱۰/٤۲۰	۱۲/٦۷۰	۲/٤۷۷	۰/۱٥٦۱	۳



شکل ۷ – مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی برنطین برای واقعه سیل ۲۱ / ۱۰ / ۱۳۹۱.



شکل ۸ – مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی برنطین برای واقعه سیل ۱۰ / ۱۲ / ۱۳۸۹.



شکل ۹ – مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی برنطین برای واقعه سیل ۲۱ / ۱۲ / ۱۳۹۳.

همان‌گونه که در بالا هم ذکر شد در تحقیق حاضر برای سنجش میزان کارایی هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (GIUH)، از شاخص MAPE استفاده شد. مقایسه میزان دبی پیک مشاهده‌ای با میزان دبی پیک محاسبه‌ای و زمان

وقوع پیک دبی برای هر واقعه به‌صورت جداگانه نیز، از شاخص‌ای APE صورت گرفت که نتایج آن در جداول (٤ و ٥) آمده است.

نتایج نشـــان می‌دهد مدل در برآورد دبی پیک و زمان وقوع دبی پیک در واقعه‌های زمســـتانه عملکرد دقیق‌تری داشـــته اســـت؛ به‌طوری‌که مقدار MAPE یا میانگین قدر مطلق درصـــد خطای دبی اوج در واقعه‌های زمســـتانه برابر ۲۰/۰۹ و این میانگین برای زمان وقوع دبی اوج برابر ٤٥/٦٤ درصـــد اســـت. در واقعه‌های بهاره نیز مقدار MAPE یا میانگین قدر مطلق درصد خطا در ارزیابی مدل، نشان می‌دهد که این مقدار برای برآورد دبی اوج ۵۷/۳۰ و در برآورد زمان وقوع دبی اوج ۱۱۹/۱۷ اســـت. از بررســـی این نتایج می‌توان دریافت که مدل در برآورد میزان دبی اوج در واقعه‌های زمستانه کارایی لازم را دارا می‌باشد و در واقعه‌های بهاره کارایی مناسب را دارا نیست. ازآنجایی‌که پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرآیند پیچیده‌ای است که علاوه بر مشخصات حوضه آبخیز به‌خصوصیات بارش نیز بســـتگی دارد. این پژوهش بر روی مقایســـه نتایج هیدروگراف‌های حاصـــل از بارش‌های بهاره با هیدروگراف‌های حاصل از بارش‌های زمستانه متمرکز شده است. بارش‌های بهاره به خاطر وجود رطوبت بیشتر زمین و رگباری بودن ماهیتشـــان عمدتاً می‌تولند رواناب بیشـــتری تولید کند. توجه به امر تفاوت نتایج پیش‌بینی مدل GIUH در فصـــول مختلف ســـال، به‌منظور مقابله با ســـیل می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشـــد. اســـاس تئوری GIUH به‌عنوان تابع چگالی احتمال رســـیدن یک قطره آب به خروجی حوضـــه تعریف می‌شـــود که به‌طور تصـــادفی انتخاب شـــده باشـــد؛ بنابراین در این مدل تفاوت ایجاد شده در سطح زمین چون تغییر میزان پوشش گیاهی، تغییر در مقدار رطوبت خاک، تغییرات مقدار تبخیر و یا تغییر شدت بارش‌ها و... که به‌واسطه تغییر فصل در یک حوضه ایجاد می‌شود در محاسبات لحاظ نمی‌شود. با وجود چنین استدلالی چون حوضه تحت مطالعه عمدتاً در منطقه خشک واقع شده است و معمولاً در مناطق خشـــک و نیمه‌خشـــک با بارش‌های نامنظم، پوشـــش گیاهی ضـــعیف، رطوبت کم خاک و تبخیر بالا انتظار می‌رود در نتایج محاسبات مدل خطای بیشتری ایجاد شود.

جدول ٤ – محاسبه میزان خطای دبی اوج و زمان دبی اوج، هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی با هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه آبریز میناب برای واقعه‌های بهاره

ردیف	تاریخ واقعه	QP		درصد خطا (APE)	TP		درصد خطا (APE)
		مشاهده‌ای	محاسبه‌ای		مشاهده‌ای	محاسبه‌ای	
۱	۱۳۸۸/۱/۱۱	۸۸٦	۸۰۹/۵۲۷	۸/٦۳	۳۸	۲۱/۳۷	٤۳/۷۳
۲	۱۳۷٦/۱/۷	٦۸۰	۸۱/۲۱	۸۸/۰۵	۵۵	۲۹/٤٤	٤٦/٤۵
۳	۱۳۸۸/۹/۱۷	۱۳۲	۳۲/٦۸	۷۵/۲۳	۷	۲۵/۷۱	۲٦۷/۳۱
میانگین (MAPE)				۵۷/۳۰			۱۱۹/۱۷

جدول ۵ – محاسبه میزان خطای دبی اوج و زمان دبی اوج، هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی با هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه آبریز میناب برای واقعه‌های زمستان

ردیف	تاریخ واقعه	QP		درصد خطا (APE)	TP		درصد خطا (APE)
		مشاهده‌ای	محاسبه‌ای		مشاهده‌ای	محاسبه‌ای	
۱	۱۳۹۳/۱۲/۲۱	۳۷۹	۱۶۰/۸٤	۵۷/۵۵	۲٤	۱٦/۲۵	۳۲/۲۸۰
۲	۱۳۹۱/۱۰/۲۱	۹۸۸	۹۹٦/۷۱	۰/۸۸	۳۹	۱۱/۱۷	۷۱/۳٤
۳	۱۳۸۹/۱۲/۱۰	۳۱۰	۳۰٤/۲۹	۱/۸٤	۱۹	۱۲/٦۷	۳۳/۳۱
میانگین (MAPE)				۲۰/۰۹			٤۵/٦٤

٤- جمع‌بندی

در تحقیق حاضر علاوه بر اهمیت شناخت مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی هیدروگراف سیل، بررسی دقت این مدل در فصول مختلف سال نیز موردتوجه قرار گرفته است؛ چراکه در فصول مختلف سال هم شرایط دما و بارش تغییر می‌کند و هم این‌که به دنبال آن میزان شدت بارش‌ها و شرایط سطح زمین از لحاظ میزان رطوبت خاک و پوشش سطح تغییر می‌کند. به نظر می‌رسید که مدل توان پیش‌بینی دقیق‌تری را برای هیدروگراف و دبی اوج در فصل بهار دارد. علت این پیش‌بینی بر اساس تغییرات سطح زمین در فصول مختلف سال بود که بر روی میزان تولید رواناب حاصل از بارش اثر می‌گذارد. به‌طوری‌که در مقدار پوشش گیاهی روی سطح زمین و مقدار رطوبت خاک در فصل بهار افزایش می‌یابد که سبب کاهش مقدار رواناب تولیدی حاصل از بارش می‌شود. بر خلاف انتظار نتایج شبیه‌سازی‌های فصل زمستان از نتایج شبیه‌سازی‌های فصل بهار با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای خود مطابقت بیشتری داشتند. به‌طوری‌که میزان دقت پیش‌بینی‌ها در دبی اوج برای واقعه‌های بهار ۵۷/۳۰ و برای واقعه‌های پاییز – زمستان برابر ۲۰/۰۹ درصد است. علت آن همچنین می‌تواند به ناچیز بودن تغییرات پوشش گیاهی در شرایط اقلیمی حوضه موردمطالعه برگردد و اینکه در این مناطق رویش اصلی گیاهان مرتعی در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. شاید عامل دیگر افزایش ماهیت رگباری بارش‌ها در فصل بهار در این مناطق باشد. همچنین با شروع فصل گرما از اسفندماه به بعد میزان تبخیر هم افزایش می‌یابد که بر روی رطوبت خاک اثر گذار است که سبب شده است تا مقدار عددی دبی اوج محاسبه‌ای از مشاهده‌ای بیشتر باشد. اهمیت شناخت ویژگی‌های یک حوضه، به‌خصوص ویژگی‌های پویای آن و توجه به تغییرات آن‌ها در طی فصول مختلف سال می‌تواند روی بالا بردن دقت پیش‌بینی مدل GIUH اثر گذار باشد. به همین خاطر به آزمون در آمدن مدل در حوضه‌های مختلف و در فصول مختلف و بررسی نتایج پیش‌بینی‌های مدل می‌تواند به بهبود نتایج مدل کمک کند.

کتابنامه

خداپناه، مسعود و رحیم‌زاده، علی؛ ۱۳۸۵. کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوضه آبخیز کسیلیان، *مجله منابع طبیعی*، (۷۰)، ۳۲-۲۳.
https://www.sid.ir/paper/19326/fa

زکی‌زاده، فریبا؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ اختصاصی، محمدرضا؛ ۱۳۹٤. مقایسه آبنمود واحد لحظه‌ای نش، ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد مشخصات هیدروگراف سیلاب، *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۱۰۷.
https://www.sid.ir/paper/200704/fa

سعیدی، پونه؛ نیک‌سخن، محمدحسین؛ نوروزی، خدیجه؛ ۱۳۹٤. برآورد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) و هیدروگراف واحد لحظه‌ای تابع عرض (WFIUH) در حوضه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: حوضه‌ی قروه)، *اکوهیدرولوژی*، دوره ۲، شماره ۱، ٦۲-٥۱.
https://www.ije.ut.ac.ir/article_55128.html

عرفانیان، مهدی، تلوری، عبدالرسول؛ ۱۳۸۲؛ بسط تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفیک و ژئومورفوکلیماتیک درحوضه آبخیز سمنان؛ ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، ص. ۱۲۰-۱۱۳.
https://www.civilica.com/doc/939

علیزاده، امین؛ ۱۳۹۰. *اصول هیدرولوژی کاربردی*، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ ۳٤.
https://www.mohitesabs.blogsky.com/1394/11/25/

فاخری فرد، احمد؛ نورانی، وحید؛ نیازی، فائقه؛ ۱۳۹٥. بررسی اثر کاربری اراضی در مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)* جلد ۳۰، شماره ۲، ۳۹۱-۳۷۷.
https://www.jsw.um.ac.ir/article_38354.html

کرمی، فاطمه و اسمعیل پور، مرضیه؛ ۱۳۹۳). برآورد رواناب با استفاده از هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه دریان چای). *هیدروژئومورفولوژی*، ۱، ۱٥۷-۱٤٥.
https://www.hyd.tabrizu.ac.ir/article_3280.html

گلکاریان، علی؛ نقیبی، سیدامیر؛ داودی مقدم، داود؛ ۱۳۹۳. ارزیابی کارایی روش ژئومورفولوژی در برآورد ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای و مقایسه آن با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جنگ کارده)، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۸(۲)، ٤٥۰ – ٤٤۰.
https://www.jsw.um.ac.ir/article_37667.html

محمدی، علی‌اصغر؛ احمدی، حسن؛ ۱۳۹۰. ارائه مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار مبتنی بر مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی لار*، سال چهارم، ۱۳، ۳۷- ٤۸.https://www.sid.ir/paper/184978/fa

محمودی فرج‌الله؛ یمانی، مجتبی؛ بهرامی شهرام؛ ۱۳۸٦. ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب). *پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ٦۰.https://www.sid.ir/paper/5498/fa

محمودی، فرج‌الله؛ عیوضی، جمشید؛ یمانی، مجتبی؛ نصیری، علی؛ ۱۳۸۳. برآورد سیل با استفاده از آنالیز GIUH (مطالعه موردی حوضه امامه)، *نشریه علوم جغرافیایی*، جلد ۳، شماره ۳ و ٤، صص ۳۰ – ۱۱.https://www.ensani.ir/fa/article/303768

نصیری، علی؛ ۱۳۸٤. *آنالیز روابط متغیرهای ژئومرفولوژی- هیدرولوژی در مدلسازی برآورد سیل در حوضه امامه*، پایان نامه دکتری، دانشگاه تهران.

Anghesom, Alemngus1 and B.S., Mathur., 2014. Geomorphologic instantaneous unit hydrographs for rivers. Journal of Indian Water Resources Society, VOL 34, NO.1 https://www.semanticscholar.org/paper/

Bamufleh, S. Wagdany, Abdullah.Elfeki,Amore. Chaabani, Anis., 2020. Developing a geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) using equivalent Horton-Strahler ratios for flash flood predictions in arid regions. Geomatics Natural Hazard and Risk. Volume 11, Issue 1. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1811404

Gupta V.K., Waymire E. and Wang C.T., 1980. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. J. Water Resources Manage. 16(5):855–862. https://doi.org/10.1029/WR016i005p00855

Horton, R. E., 1945. 'Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, Bull. Geol. Soc. Amer. 56, 275–370. https://pdodds.w3.uvm.edu/research/papers/others/1945/horton1945a.pdf

J.B.Swaina, R. Jhab, K.C.Patrac., 2015. Stream flow prediction in a typical ungauged catchment using GIUH approach- International conference on water resources, Coastal and ocean engineering (Icwrcoe) , Aquatic Procedia 4 993 – 1000. https://cyberleninka.org/article/n/1291597

Jin, C. X., 1992. A deterministic gamma geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types. Water Resources Research, 28: 479-486. https://ton.sdsu.edu/DGTGIUH_Jing_1992.pdf

Khaleghi, M.R., Ghodusi, J., and Ahmadi, H., 2014. Regional Analysis Using the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Method - Soil & Water Res., 9 (1): 25–30.https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/swr/2014/01/04.pdf

Kwan Tun Lee& Chin-Hsin Chang., 2005): Incorporating Subsurface-Flow Mechanism into Geomorphology-Based IUH Modeling, Journal of Hydrology, 311: 91-105. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005JHyd..311...91L/abstract

Nash, J. E., 1960. 'A Unit Hydrograph study, with particular reference to British catchments', Proc. Inst. Civil Engg. 17, 249–282.https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/509040/

Olivera, F. & Maidment, D., 1999): Geographic Information systems (GIS) – Based Spatially Distributed Model for Runoff Routing. WATER RESOUR RES. 4: 1135-1146.https://doi.org/10.1029/1998WR900104

Pena, A., Ayuso, L. and V. Giraldez., 1999. Incorporating topologic properties into the, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. Phys. Chem .Earth (B), 24(1-2): 55-58. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464190998000112

Rodriguez-Iturbe, I. and J. B. Valdes., 1979. The geomorphologic structure of the hydrologic response. Water Resources Research, 15 (6): 1409- 1420. https://ponce.sdsu.edu/GSHR_Rodriguez_1979b.pdf

Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez-Sanabria, M., and Caamano, G., 1982) . On the climatic dependence of the IUH: A rainfall-runoff analysis of the Nash model and the geomorphoclimatic theory. Water Resour.Res., 18 (4) , pp 887 903. https://ponce.sdsu.edu/GIUH_Rodriguez_1982.pdf

Sanjari M., 2019. Multi-Comparison Analysis of Instant Geomorphological Unit (GIUH) Hydrograph Model, Rangeland and catchments Management. Iranian Journal of Natural Invaironment. Volume 71, Number 4.https://jrwm.ut.ac.ir/article_70137.html

Snyder, F. F., 1938. 'Synthetic Unitgraphs', Transactions of American Geophysics Union, 19 th Annual Meeting, Part 2, p. 447.

Sorman, A. U., 1995. Estimation of Peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. J. of Water Res. Planning and Management, 121 (14): 287-243. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1995)121:4(287)

Yingbing Ch, Peng Shi, Xiaomin Ji, Simin Qu, Lanlan Zhoao, Fengcheng Dong., 2019. new method to calculate the dynamic factor–low velocity in Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. Scientific REPORTS nature research. 9:14201 https://doi.org/10.1038/s41598-019-50723-x.https://www.nature.com/articles/s41598-019-50723-x

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.255-271 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2022.74643.1151 Open access

Estimation of Maximum Horizontal Acceleration of Earthquakes in Kerman Province using Probability Method

Mehrdad Baluch[a], Majid Nemati[b*], MohammadHossein Bagheripour[c]

[a] *Professor in Seismology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
[b] *PhD Candidate in Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*
[a] *Professor in Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*

Received: 10 December 2021 ***Revised: 15 February 2022*** ***Accepted: 20 February 2022***

Abstract

Considering devastating events like the 2003 Bam earthquake (M_w~6.6), it is essential to develop up-to-date earthquake hazard maps to design structures in this area. In this study, a seismic catalog including historical and instrumental events was compiled and then 21 seismic sources were identified in Kerman province and its surrounding. Seismicity parameters were estimated for all 21 source zones and an attenuation relationship was selected to obtain local site effect-based seismic hazard maps. Finally, seismic hazard maps, which is one of the basic requirements of seismic design and seismic regulations, were presented in form of the peak ground acceleration (PGA) measures for the return period of 475 and 2475 years, and the high risk areas in Kerman Province were introduced. To investigate the depth of events on Iranian plateau, according to the studies conducted in this study, it is suggested to use only the data obtained from local seismic networks. The results were presented as seismic hazard maps for the parameters of maximum intensity of horizontal ground acceleration, taking into account construction effects with a probability of 2% and 10% over 50 years for all parts of Kerman province to provide all design needs according to 2800 regulations. Using the obtained maps, the earthquake parameter in the Iranian Seismic Code (Code 2800) can be updated. Results showed that, as expected, two areas in Kerman province are with the highest accelerations: The first is the Kuhbanan-Golbaf-Bam fault systems with a northwest-southeast trend and the second is the northeast termination of Zagros toward Makran. Both of these ranges are seismic and of great importance in seismic surveys. These areas include Kuhbanan-Golbaf-Bam fault systems and Jiroft-Kahnooj.

Keywords: Peak Ground Acceleration, Hazard Map, Earthquake, Hazard, Kerman Province

* .Corresponding author: Majid Nemati Email: nematimajid_1974@uk.ac.ir Tel:+989125253641

How to cite this Article: Balucha, M., Nemati, M., & Bagheripour, M. (2023). Estimation of maximum horizontal acceleration of earthquakes in Kerman province using probability method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 255-271.
DOI:10.22067/geoeh.2022.74643.1151

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74643.1151

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۲۷۱-۲۵۵

مقاله پژوهشی

برآورد بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه با به‌کارگیری تحلیل احتمالاتی در استان کرمان

مهرداد بلوچ- کارشناسی ارشد عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان
مجید نعمتی[1]- استاد زلزله‌شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
محمدحسین باقری‌پور- استاد مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱

چکیده

با وجود رخدادهای ویرانگری همچون زمین‌لرزه سال ۲۰۰۳ بم (M_w~6.6)، تدوین نقشه‌های خطر زمین‌لرزه به‌روز برای طراحی سازه‌ها در این گستره بسیار ضروری است. در این بررسی که یک پژوهش با نتایج کاربردی در زمینه مهندسی زمین‌لرزه است، یک کاتالوگ لرزه‌ای شامل رخدادهای تاریخی و دستگاهی تدوین شده و سپس ۲۱ منبع لرزه‌زا در گستره شهرهای استان کرمان و اطراف آن شناسایی شد. پارامترهای لرزه‌خیزی برای تمامی ۲۱ چشمه تخمین زده شده و یک مدل پیوند کاهیدگی مناسب برای این گستره برای به‌دست آوردن نقشه‌های خطر زمین‌لرزه با در نظرگیری اثرات ساختگاهی گزینش شد. در پایان، نقشه‌های خطر زمین‌لرزه که یکی از اساسی‌ترین نیازهای طراحی لرزه‌ای و آیین‌نامه‌های لرزه‌ای است، در قالب پارامتر بیشینه شتاب زمین برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال ارائه شده و گستره‌های پرخطر لرزه‌ای در استان کرمان معرفی شدند. این گستره‌ها شامل نوار کوهبنان-گلباف-بم و گستره جیرفت-کهنوج است.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۲۵۳۶۴۱ Email: nematimajid_1974@uk.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

بلوچ، مهرداد؛ نعمتی، مجید؛ باقری پور، محمدحسین؛ ۱۴۰۲. برآورد بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه با به‌کارگیری تحلیل احتمالاتی در استان کرمان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۲۷۱-۲۵۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74643.1151

کلیدواژه‌ها: بیشینه شتاب زمین، نقشه خطر زمین‌لرزه، تحلیل خطر زمین‌لرزه، استان کرمان.

۱- مقدمه

طبق رکوردهای دستگاهی و تاریخی ثبت شده در گستره کرمان از سال ۱۸٥٤ تاکنون یک رخداد $M_w \geq 7.0$، ۱٤ رخداد $6.0 \leq M_w < 7.0$ دستگاهی، ٥ رخداد $5.5 \leq M_s < 6.5$ تاریخی (میرزایی و همکاران، ۱۹۹۷) در این گستره رخ داده است. لرزه‌خیزی بالای استان کرمان سبب خسارات جانی و مالی زیادی طی دهه‌های گذشته شده است. نخستین رخداد تاریخی ثبت شده در این گستره، زمین‌لرزه M_w~6.1 سال ۱۸٦٤ چترود است که به دلیل نزدیکی آن به شهر کرمان باعث مرگ بسیاری شده و خرابی‌های فراوانی به بار آورد (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). زمین‌لرزه‌های ۱۹۱۱ راور با بزرگای M_w~6.2، ۱۹۲۳ لاله‌زار با بزرگای M_w~6.7، و ۱۹ زرند با بزرگای M_w~5.9 به‌شماره ۷۰۰، ۲۰۰، و ٦٦٥ ربانی داشته و خسارات قابل‌توجهی به شهرهای نزدیک وارد کردند (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). در سال ۲۰۰۳ زمین‌لرزه با بزرگای M_w~6.6 بم باعث یکی از فجیع‌ترین سوانح طبیعی در ایران و گستره کرمان شد. طبق گزارش‌های رسمی، این زمین‌لرزه بیش از ۲٦۰۰۰ کشته، ۳۰۰۰۰ زخمی و ده‌ها هزار نفر بی‌خانمان برجای گذاشت و شهر بم را به‌طور کامل تخریب کرد. آخرین تلفات قابل‌توجه مربوط به یک زمین‌لرزه در این گستره مربوط به زمین‌لرزه زرند با بزرگای M_w~6.4 است که ٦۰۰ کشته و ۱٤۰۰ مجروح برجای گذاشت (بربریان، ۲۰۰٥). زمین‌لرزه سال ۲۰۱۰ ریگان با بزرگای M_w~6.5 (واکر[1] و همکاران، ۲۰۱۳ و نعمتی، ۲۰۱٥)، و زمین‌لرزه سال ۲۰۱۷ شهداد با بزرگای M_w~6.1 (سویج[2] و همکاران، ۲۰۱۹؛ نعمتی[3] و همکاران، ۲۰۲۰) آخرین رخدادهای برجسته این گستره هستند که خوشبختانه خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی نداشتند.

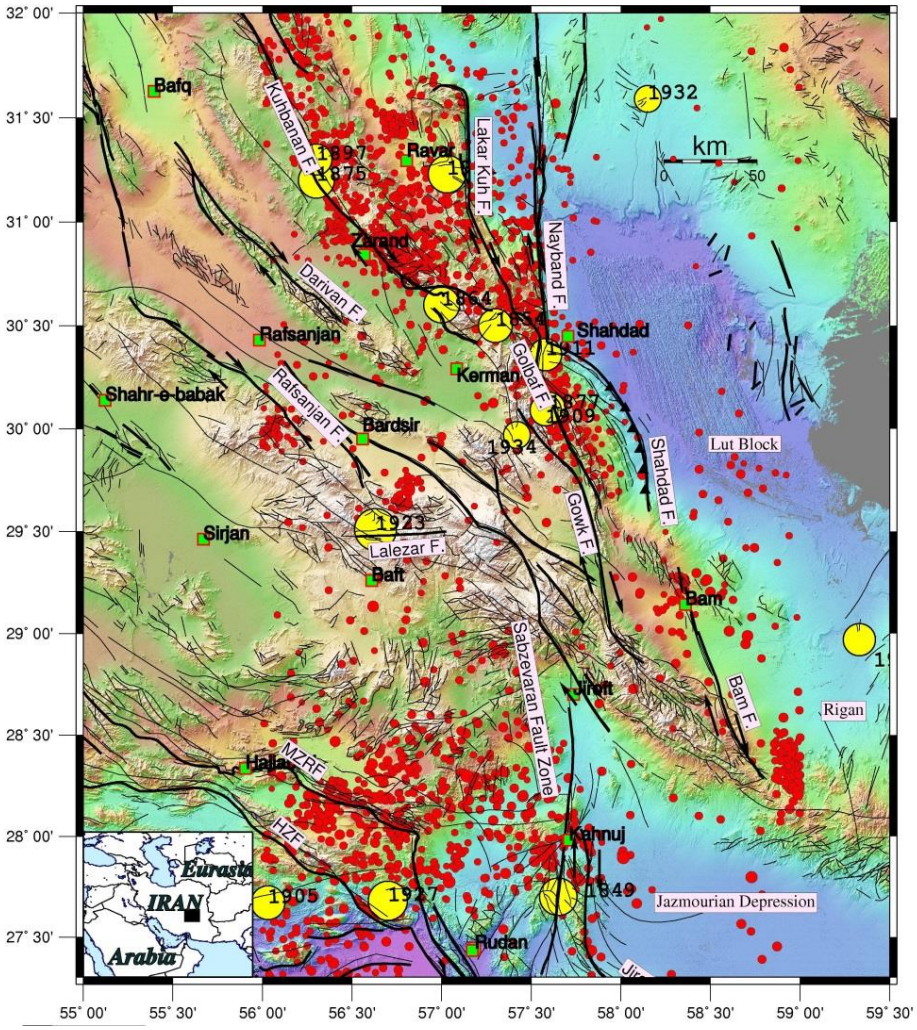
حاشیه باختری بلوک لوت که بخشی از آن در خاور استان کرمان جای دارد، زمین‌لرزه‌های ویرانگر تاریخی و دستگاهی بسیاری را تجربه کرده است. در این سامانه لرزه‌خیز به درازای نزدیک به ۲۰۷ کیلومتر، ۱۳ زمین‌لرزه از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۲۰ دارای گسیختگی سطحی بوده‌اند (رشیدی و همکاران، ۲۰۱۹) که نشان از اهمیت این گستره دارد. یکی از این گسل‌ها گسل گلباف است که زمین‌لرزه‌های آن در چرخه لرزه‌ای و به گمان پس از یک نبود لرزه‌ای روی می‌دهند (نعمتی و درخشانی،۲۰۲۰). باختر استان کرمان نیز گسل‌هایی دارد که باوجود لرزه‌خیزی کم می‌تولند خطرآفرین باشد. گسل انار یکی از آن‌ها است که به طول ۲۰۰ کیلومتر در مرکز ایران جای دارد. بررسی‌های لرزه‌شناسی گذشته روی این گسل نشان می‌دهد که این گسل به پایان چرخه لرزه‌ای خود نزدیک شده و به گمان میزبان یک زمین‌لرزه بزرگ خواهد بود (مهرابی و همکاران، ۲۰۲۱). جنوب استان به دلیل داشتن زمین‌لرزه‌های ژرف‌تر از ژرفای میانگین پوسته قاره‌ای (تا ٤٥ کیلومتر) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رشیدی و همکاران، ۲۰۲۰). از دیگر

1 Walker
2 Savidge
3 Nemati

گسل‌های مهم که تمام یا بخشی از گسل در چشمه‌های لرزه‌ای جای دارد، می‌توان از گسل جیرفت، سبزه‌واران، سروستان، کوهبنان، لکرکوه، نای‌بند، شهداد، انار، رفسنجان، داوران و بم نام برد.

تحلیل خطر زمین‌لرزه می‌تولند به‌عنوان یکی از لایه‌های اطلاعاتی برای پیش‌بینی زمین‌لرزه به‌کار رود، اگرچه، هدف اصلی بسیاری از تحلیل‌های مهندسی زمین‌لرزه بررسی تاب‌آوری سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه است. توکلی و غفوری آشتیانی[1] (۱۹۹۹) یکی از اولین نقشه‌های خطر لرزه‌ای ایران را با تعریف ۲۰ منبع لرزه‌ای در قالب بیشینه شتاب افقی[2] با احتمال فراگذشت[3] ۱۰ ٪ در ۵۰ سال ارائه نمود. معین فر[4] (۲۰۱۲) نقشه بیشینه شتاب افقی‌ایران با دوره بازگشت ٤٧٥ ساله را با استفاده از تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای به دست آورد.این نقشه برای مرکز پژوهش‌ها راه و شهرسازی[5] و جهت استفاده در آیین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) توسعه داده شده است. درواقع ویژگی این پژوهش در تفاوت در چگونگی گزینش چشمه‌های لرزه‌ای و توجه به جنبه مهندسی و کاربردی بررسی خطر زمین‌لرزه برای ساخت‌وسازها است.

1 Tavakoli and Ghafory-Ashtiany
2 Peak Ground Acceleration
3 Exeedance Probability
4 Moeinfar
5 Building and Housing Research Center (BHRC)



شکل ۱- نمایی از لرزه‌خیزی تاریخی (نشان‌گرهای زردرنگ) و دستگاهی (نشان‌گرهای قرمزرنگ) به همراه شهرها و گسل‌های اصلی (خم‌های پررنگ) و فرعی (خم‌های کم‌رنگ) استان کرمان. زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، به‌شماره از آمبراسیس و ملویل، (۱۹۸۲) و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران هستند.

یزدانی و کوثری (۲۰۱۳) با استفاده از تئوری بیز و محصولی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش اعتمادپذیری[1]، تاکنون نقشه‌های خطر لرزه‌ای متعددی برای ایران پیشنهاد کرده‌اند.

1 Reliability Method

۲- مواد و روش

ازآنجایی‌که اثرات زمین‌لرزه‌های آینده را نمی‌توان دقیقاً مشخص کرد، تنها با روش‌های بررسی خطر مانند روش احتمالاتی می‌توان تا اندازه‌ای این اثرات را بررسی نمود. تحلیل خطر زمین‌لرزه شامل تحقیقات و روش‌هایی است که به کمک آن‌ها می‌توان اثرات زمین‌لرزه‌های آینده را در ساختگاه برآورد نمود. این اثرات شامل پارامترهای حرکتی زمین است. در گذشته به دلیل نبود دستگاه‌های لرزه‌نگاری و ابزارهای اندازه‌گیری جنبش زمین، از پارامتر شدت زمین‌لرزه استفاده می‌شد. پس از گسترش فناوری ابزارهای ثبت اطلاعات جنبش زمین، از بیشینه شتاب زمین (Peak Ground Acceleration, PGA)در مطالعات تحلیل خطر استفاده شد. بیشینه سرعت زمین (Peak Ground Velocity, PGV) و بیشینه جابجایی زمین(Peak Ground Displacement, PGD) و همین‌گونه شتاب طیفی (Spectrum Acceleration, SA)در پریودهای مختلف سازه‌ها، مثال‌هایی از پارامترهای سنجش جنبش زمین در سال‌های گذشته است.

فرآیند تحلیل خطر لرزه‌ای شامل مراحل زیر است:

- شناسایی منابع لرزه‌ای[1]
- تخمین پارامترهای لرزه‌ای[2]
- انتخاب مدل‌های پیش‌بینی کننده حرکت زمین[3]
- محاسبه منحنی‌های خطر لرزه‌ای[4]

در بررسی خطر زمین‌لرزه به روش قطعی بایستی بیشینه بزرگای مورد انتظار (M_{max}) زمین‌لرزه در چشمه‌های لرزه‌ای برآورد گردد. یک مدل تجربی کاهیدگی جنبش نیرومند زمین برای برآورد اثر زمین‌لرزه در ساختگاه به‌کار برده می‌شود. در این راستا، کوتاه‌ترین فاصله منبع تا ساخت‌گاه انتخاب شده در رابطه تجربی قرار داده می‌شود. در مقابل، روش خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی، احتمال اینکه یک اندازه‌گیری پارامتر جنبش زمین یک مقدار خاصی باشد را تخمین می‌زند. در این روش، یک پیوند کاهیدگی برای برآورد تضعیف پارامتر حرکت زمین به کار برده می‌شود. شکل عمومی یک پیوند کاهیدگی ($Log (Y) = a + F1 (M) + F2 (R) + F3 (S) + \varepsilon$) بوده که در آن، (Y) پارامتر مورد نظر جنبش زمین است که مستقیماً با بزرگای (M) و به‌طور عکس با فاصله (R) پیوند دارد. ضرایب ثابت این رابطه به گونه تجربی با به کارگیری روش‌های آماری و از روی موج شتاب نگاشت‌ها یا لرزه‌نگارها محاسبه می‌شوند.

1 Seismic Source Zones
2 Seismcity Parameters
3 Ground Motion Peredictive Models
4 Seismic Hazard Curves

کلیات روش تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی را که در چهار گام بیان شده است، هر یک همانندی‌هایی با گام‌های پروسه تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی (قطعی) دارند.

گام نخست، شناسایی و مشخص سازی منابع زمین‌لرزه، همانند گام اول روش تعینی، با این تفاوت که توزیع احتمالاتی نواحی گسیختگی[1] محتمل درون منبع نیز بایستی مشخص شوند. در بسیاری از موارد توزیع‌های احتمالاتی یکنواخت[2] برای هر یک از منابع لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود که براین دلالت دارد که احتمال رخداد زمین‌لرزه در هر یک از نقاط منبع یکسان است. سپس، این توزیع‌ها با هندسه منبع ترکیب می‌شوند تا توزیع احتمال متناسب با فاصله سایت از منبع به‌دست آید. روش تعینی به گونه ضمنی فرض می‌کند که احتمال رخداد زمین‌لرزه در نزدیک‌ترین نقاط هر منبع به سایت مورد نظر ۱ و احتمال دیگر نقاط صفر است. چشمه‌های لرزه‌ای بر پایه مواردی که در لرزه‌زمین‌ساخت مهم هستند، تعیین شده است. این موارد شامل درازای گسل‌ها راستا و سازوکار آن‌ها، پراکندگی زمین‌لرزه‌ها و مرزهای لرزه‌زمین‌ساختی می‌شود.

در گام بعدی بایستی لرزه‌خیزی یا توزیع موقتی تکرار زمین‌لرزه مشخص شود. یک رابطه تکرار[3] که نرخ میانگین تجاوز یک زمین‌لرزه از یک بزرگا را نشان می‌دهد، برای مشخص کردن لرزه‌خیزی هر یک از منابع استفاده می‌شود. رابطه تکرار ممکن است بیشینه بزرگا زمین‌لرزه را اصلاح سازد اما برخلاف روش تعینی هیچ‌گونه محدودیتی برای بزرگای آن زمین‌لرزه درنظر نمی‌گیرد.

در این گام بایستی فرض را براین گذاشت که حرکت ایجاد شده در زمین با هر بزرگایی و در هر نقطه از منبع محتمل است و بایستی با استفاده از پیوند پیش‌بینی کننده محاسبه شود. در یک تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی عدم قطعیت ذاتی[4] در پیوند پیش‌بینی کننده نیز درنظرگرفته می‌شوند.

درنهایت، عدم قطعیت‌های محل وقوع زمین‌لرزه، بزرگای زمین‌لرزه و عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی پارامترهای حرکت زمین ترکیب می‌شوند تا احتمال تجاوز پارامترهای حرکت زمین طی یک بازه زمانی مشخص به‌دست آید. عملکرد صحیح یک تحلیل احتمالاتی نیازمند توجه دقیق به مسائلی همچون ویژگی‌های منبع[5] و پیش‌بینی پارامترهای حرکت زمین و هم‌چنین توجه به مکانیک محاسبات احتمالاتی است.

پهنه‌های گسلی نقش مهمی در تجزیه‌وتحلیل خطر لرزه‌ای ایفا کرده و بیش‌تر بر پایه قضاوت کارشناسان انتخاب می‌شوند. چگونگی ترسیم منابع لرزه‌ای تأثیر زیادی بر عدم قطعیت در تحلیل خطر لرزه‌ای دارد. یکی دیگر از مشکلات تجزیه‌وتحلیل خطر لرزه‌ای نحوه ارتباط زمین‌لرزه با گسل است (قاسمی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۱). آن‌ها در

1 Rupture Area
2 Uniform Probability Distribution
3 Recurrence Law
4 Inherent Uncertainty
5 Site Properties

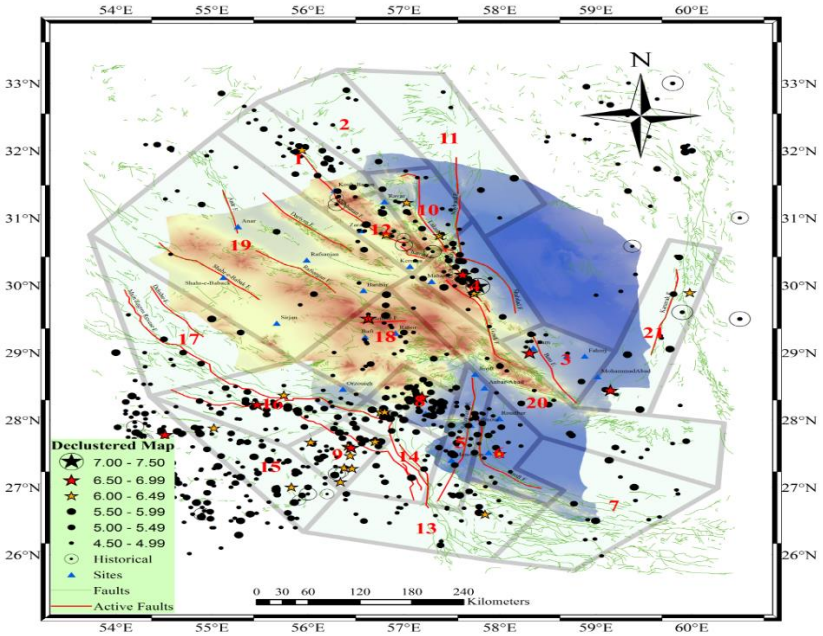
الگوریتم خود برای تحلیل خطر زمین‌لرزه در استان کرمان برای بهینه‌سازی داده‌های ورودی، دو تابع هدف را کمینه کردند: فاصله رویدادها از گسل‌ها و فاصله تا مراکز خوشه رویدادها. رویدادها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی و با خطاها مرتبط شدند. مقایسه نتایج الگوریتم اعمال شده و زمین‌لرزه‌های شناخته شده و مستند، دقت ۷۵٪ را برای استان کرمان هنگام تعیین گسل مربوطه برآورد نمودند.

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

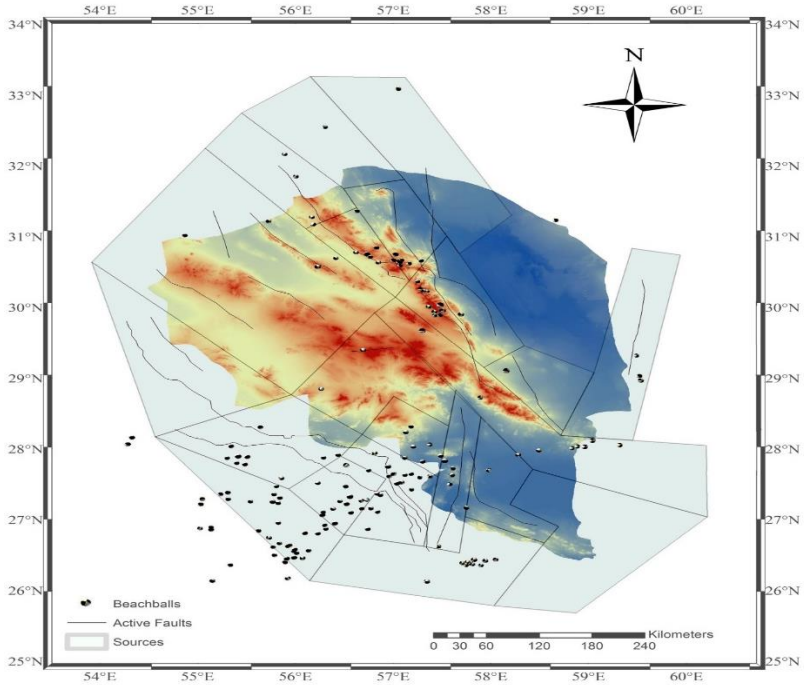
استان کرمان (26-32° N, 54-60° E) یکی از لرزه‌خیزترین نواحی‌ایران به‌شمار می‌آید که از جنوب باختر در نزدیکی محل برخورد دو صفحه تکتونیکی عربی و اوراسیا واقع شده است (نگاره ۱). داده‌های زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در استان کرمان و خارج از استان تا فواصل حداقل ۱۰۰ کیلومتر فراتر از مرزهای این استان شامل تاریخ رخدادها، زمان رخدادها، موقعیت جغرافیایی، بزرگا و ژرفای زمین‌لرزه که بیش‌تر از تارنمای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران[1] تهیه شده است (نگاره آ ۲). داده شتاب‌نگاشت‌های[2] مرکز پژوهش‌ها راه و شهرسازی که از شتاب‌نگارهای[3] راه‌اندازی شده در این استان به‌دست آمده‌اند. سازوکار کانونی[4] زمین‌لرزه‌ها (نگاره ب ۲) که از تارنمای دانشگاه هاروارد آمریکا (GCMT) تهیه شده و داده‌های اثرات ساختگاهی گستره که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شدند.

1 Iranian Seismological Centre
2 Accelerograph
3 Accelerometer
4 Focal Mechanism

آ)



ب)



شکل ۲ آ) چشمه‌های لرزه‌ای شناسایی شده و گسل‌های اصلی (خم‌های قرمز) و زمین‌لرزه‌های هر چشمه و ب) سازوکار زمین‌لرزه‌های هر چشمه.

۲-۲- روش انجام پژوهش

نرم‌افزار ArcGIS شامل Arcmap و Arcscene این دو نرم‌افزار به‌عنوان نرم‌افزارهای اصلی برای تدوین نقشه‌های خروجی و پهنه‌بندی لرزه‌ای[1] استفاده شدند. نرم‌افزار Surfer به جهت تهیه برخی از فایل‌های خام برای انجام تحلیل‌ها استفاده شد. نرم‌افزار Excel برای رسم برخی از نمودارها و تدوین کاتالوگ‌های لرزه‌ای[2] و نظم دهی داده‌ها استفاده شد. نرم‌افزار ZMap جهت بررسی بزرگای کامل‌شدگی[3] کاتالوگ لرزه‌ای به کمک روش حل انحنای بیشینه[4] استفاده شد. از نرم‌افزار Kijko برای به‌دست آوردن برخی از پارامترهای لرزه‌خیزی استفاده شد. از جدیدترین ورژن نرم‌افزار R-CRISIS که مربوط به سال ۲۰۲۰ است، برای انجام تحلیل اصلی استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بسیاری از فایل‌های خام مورد نیاز برای تحلیل تولید شده و پیوند کاهیدگی گوناگون با توجه به مقالات، توسعه داده شد. از نرم‌افزار Focal 3D Mechanism برای رسم سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های گوناگون استفاده شد. نرم‌افزار Notepad++ نیز برای تهیه فایل‌های خام ورودی برای انجام تحلیل استفاده شد.

جدول ۱- پیوند استفاده شده برای تبدیل بزرگاهای گوناگون به بزرگای گشتاوری برای دست‌یابی به کامل‌ترین کاتالوگ لرزه‌ای.

سنجه	بازه بزرگا	معادله تبدیل	شماره
M_N	$3.5 < M_N < 6.3$	$M_w = 0.739M_N + 1.41$	(۳-۱)
M_S	$3 \leq M_S < 6.2$	$0.67(\pm 0.005)M_S + 2.07(\pm 0.03)$	(۳-۲)
	$M_S \geq 6.2$	$M_w = M_s$	(۳-۳)
m_b	$3.5 \leq m_b \leq 6.2$	$M_w = 0.85(\pm 0.04)m_b + 1.03(\pm 0.23)$	(۳-٤)

مختصات و اطلاعات تمامی زمین‌لرزه‌های استان کرمان تا فاصله کمینه ۱۰۰ کیلومتر از مرزهای این استان، گسل‌های اصلی و فرعی، زمین‌لرزه‌های تاریخی و دیگر داده‌های مورد نیاز از منابع گوناگون استخراج شده و ترسیم شدند. با سنجش داده‌های کاتالوگ‌های لرزه‌ای گوناگون داخلی مانند موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES ،IRSC) و خارجی مانند نهاد لرزه‌نگاری جهانی (ISC، USGS، GCMT و ...) و هم‌آمیخت آن‌ها بهترین کاتالوگ لرزه‌ای ممکن برای انجام پژوهش تدوین شد (جدول ۱). با انتقال داده‌های کاتالوگ به نرم‌افزار ArcGIS موقعیت تمامی زمین‌لرزه‌ها تعیین شد. سپس، سازوکار کانونی گسل‌های گستره

1 Seismic Microzonation
2 Seismic Catalog
3 Compeleteness Magnitude
4 Maximum Curvature Solution

تعیین شد. چشمه‌های لرزه‌ای بالقوه گستره با توجه به موقعیت گسل‌ها، سازوکار کانونی و موقعیت زمین‌لرزه‌ها، شناسایی شد. چگونگی گزینش و مرزبندی چشمه‌های لرزه‌ای درهرصورت در هر پژوهشی که انجام می‌شود، نسبت به کارهای دیگر به‌ناچار تا اندازه‌ای متفاوت خواهد بود. درکل، این چشمه‌ها با توجه به کارهای همانندی که در ایران برای بررسی خطر زمین‌لرزه انجام شده است (مانند نعمتی، ۲۰۱۸، 2019)، بر پایه برخی ویژگی‌ها گزینش می‌شوند. این ویژگی‌ها شرایط زمین‌ساختی؛ راستا، درازا، سازوکار و اهمیت گسل‌ها؛ لرزه‌خیزی گستره، راستا و پهنای رشته‌کوه‌ها و مرز آن‌ها با دشت‌ها (که بیش‌تر گسل هستند) انجام می‌شود. در این مرحله، با استفاده از داده‌های کاتالوگ تدوین شده و با کمک نرم‌افزار Zmap و Excel بزرگای کامل‌شدگی رخدادهای گستره به‌دست آمد.

در این مرحله بایستی پارامترهای لرزه‌ای گستره برآورد می‌شد. این پارامترها با کمک نرم‌افزار Kijko محاسبه شده و در جدول ۲ آمده‌اند. مدل‌های پیش‌بینی‌کننده جنبش زمین (GMPMs) مناسب برای گستره، از مقالات گوناگون انتخاب شده و برای به‌کارگیری، به‌عنوان فایل‌های ورودی نرم‌افزار R-CRISIS توسعه داده شد. در پایان، تحلیل‌های لازم انجام شده و خروجی‌های لازم از نرم‌افزار گرفته شده نقشه‌های پایانی ترسیم شده و صحت سنجی بر روی آن‌ها صورت پذیرفت.

جدول ۲- پارامترهای لرزه‌ای تعیین شده برای منابع لرزه‌ای.

منبع لرزه‌ای	M_{min}	M_{max}	$\lambda_{4.5}$	a	b	$\sigma(b)$
1	4.5	6.7	0.74	4.91	1.12	0.05
2	4.5	5.8	0.21	3.82	1.00	0.06
3	4.5	7.1	0.26	4.05	1.03	0.06
4	4.5	7.7	0.66	4.14	0.96	0.05
5	4.5	6.4	0.67	4.37	1.01	0.06
6	4.5	6.6	0.26	4.10	1.04	0.05
7	4.5	6.0	0.29	4.01	1.01	0.06
8	4.5	7.1	1.13	4.82	1.06	0.05
9	4.5	7.2	0.88	4.17	0.94	0.05
10	4.5	6.7	0.33	4.15	1.03	0.05
11	4.5	6.3	0.10	3.50	1.00	0.05
12	4.5	6.9	0.26	4.00	1.02	0.05
13	4.5	6.7	0.44	4.28	1.03	0.06
14	4.5	6.7	0.63	4.16	0.97	0.05
15	4.5	6.7	0.97	4.58	1.02	0.05
16	4.5	7.0	1.07	4.93	1.09	0.05
17	4.5	6.3	0.24	3.97	1.02	0.05

منبع لرزه‌ای	M_{min}	M_{max}	$\lambda_{4.5}$	a	b	$\sigma(b)$
18	4.5	7.2	0.50	4.38	1.04	0.05
19	4.5	5.7	0.19	3.82	1.01	0.06
20	4.5	5.8	0.45	4.38	1.05	0.06
21	4.5	7.5	0.27	3.71	0.95	0.05

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، برای بررسی بزرگای کامل‌شدگی، با به‌کارگیری نمودار ستونی سال در مقابل بزرگای رخدادهای بزرگ‌تر از ٤/٠ و طبق روش انحنای بیشینه، بزرگای کامل شدگی، ٤/٥، ٤/٩ و ٥/٨ به‌شماره، برای بازه‌های زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰، ۱۹٦۰ تا ۲۰۲۰ و ۱۹۹٦ تا ۲۰۲۰ به‌دست آمد. همان‌گونه که از برآوردها پیداست، طبیعتاً این بزرگاها در گذر زمان و با تکمیل و پیشرفت شبکه‌های لرزه‌نگاری کوچک و کوچک‌تر می‌شوند. پس از شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی، حذف پس‌لرزه و پیش‌لرزه‌های کاتالوگ و بررسی کامل‌شدگی کاتالوگ، نقشه‌های خطر لرزه‌ای ترسیم شدند.

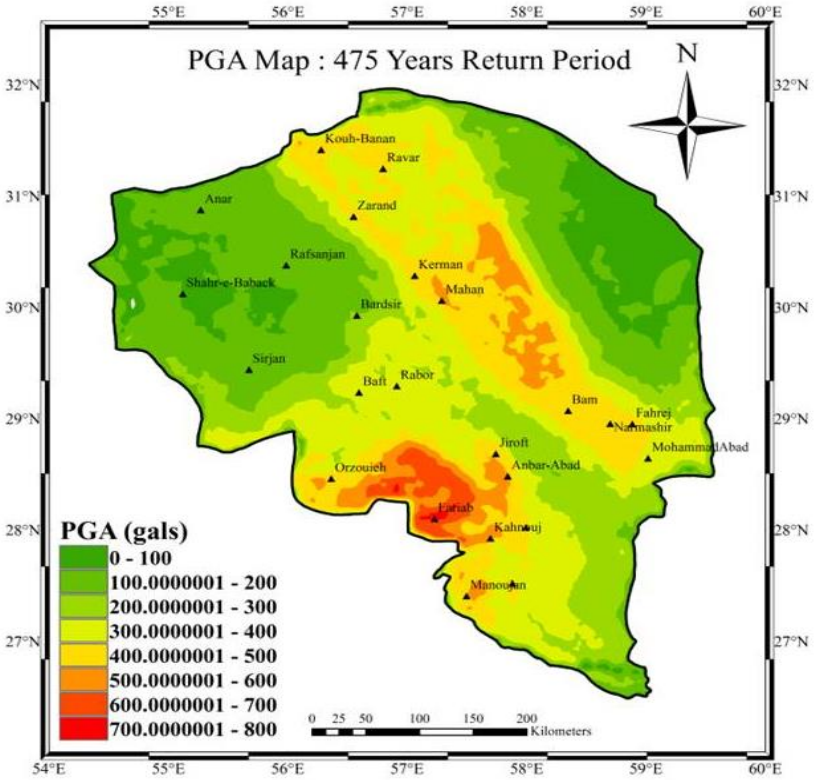
۳-۱- بررسی خطر لرزه‌ای

نقشه‌های خطر لرزه‌ای یکی از اساسی‌ترین نیازهای آیین‌نامه‌های لرزه‌ای به‌شمار می‌آیند؛ بنابراین به‌روزرسانی این چنین نقشه‌هایی سبب افزایش قابلیت اطمینان طراحی‌های لرزه‌ای خواهند شد. نتایج این نقشه‌ها می‌توانند برای اولویت‌بندی برنامه‌ریزی، استراتژی و سیاست‌های شهری مورد استفاده قرار گیرند (نگاره‌های ۳ و ٤). در این پژوهش تا حد امکان سعی شد تا عدم قطعیت‌های موجود در هر یک از گام‌های تحلیل خطر، شامل تصحیح‌سازی کاتالوگ، شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده حرکت زمین کاهش داده شوند. الگوریتم توسعه داده شده برای تدوین کاتالوگ در این پژوهش را می‌توان جهت کاهش عدم قطعیت‌ها برای تدوین کاتالوگ‌هایی استفاده نمود که داده اصلی آن‌ها از مرکز لرزه‌نگاری کشوری تهیه می‌شوند. در این پژوهش برای افزایش دقت تحلیل، چشمه‌های لرزه‌ای شناسایی شده تا حد امکان نسبت به پژوهش‌ها انجام شده پیشین در این گستره با دقت بالاتری و در ابعاد کوچک‌تری شناسایی شدند. در شناسایی آن‌ها پنج معیار لرزه‌خیزی، گسل‌ها، سازوکار کانونی، شرایط زمین‌شناسی و داده کافی در هر چشمه لرزه‌ای (به‌عنوان عامل محدودکننده) تأثیر داده شدند. سپس، بزرگای کمینه و عدم قطعیت‌های پیوند تبدیل بزرگا در بزرگاهای پایین به‌عنوان منابع ایجاد خطا در طی تحقیق شناسایی شدند که بایستی در پژوهش‌های مجزا با جزییات بیش‌تر بررسی شوند. در پایان، با ترکیب نتایج مدل‌های گوناگون پیش‌بینی کننده حرکت زمین، با استفاده از مدل هایبرید به جای درخت منطق، به دلیل ترکیب

مدل‌های پیش‌بینی کننده قبل از انجام تحلیل و ایجاد مدل جدید بر پایه مدل‌های برگزیده، زمان انجام تحلیل تا چندین برابر کاهش یافته است.

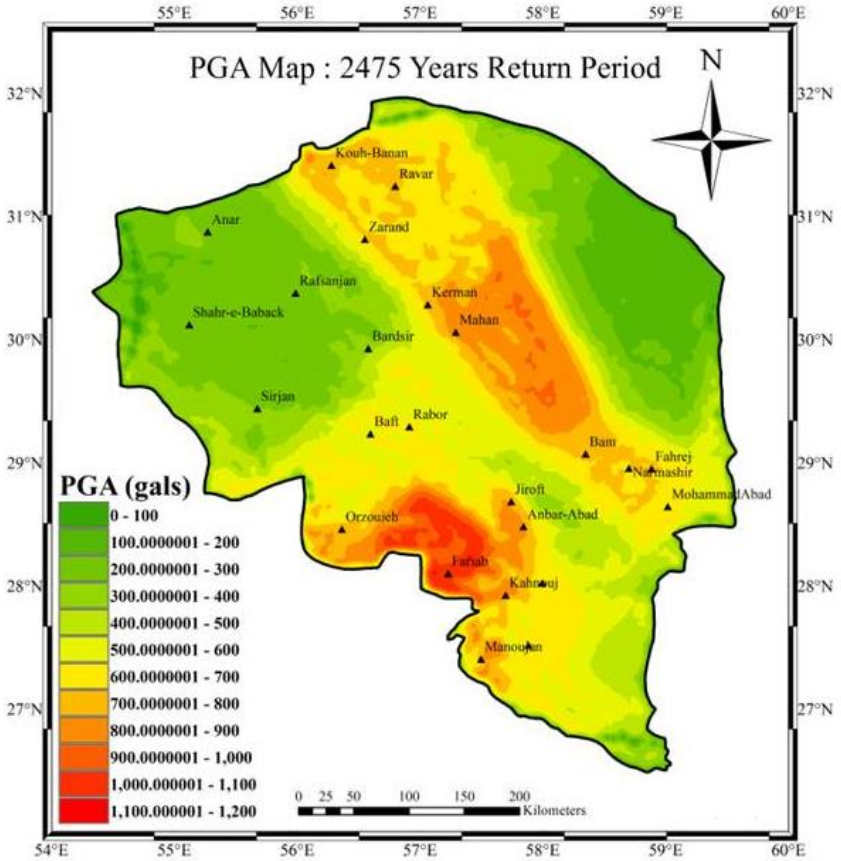
با مقایسه نتایج این بررسی و بررسی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان با روش‌های دیگر مانند روش AHP که در آن گستره شهرهای با خطر لرزه‌ای خیلی زیاد (نوار شمال، شمال باختری کرمان و گسل‌های جیرفت و سبزه‌واران)، گستره‌هایی با خطر متوسط (جنوب خاوری و شمال باختری کرمان) تا گستره‌های کم‌خطر (سیرجان، باختر استان، لوت و جازموریان) شناخته شده‌اند، (اخلاص‌پور و همکاران، ۱٤۰۰) و در این پژوهش همانندی‌هایی وجود دارد. شهرهایی مانند زرند، کهنوج، جیرفت، اورزوئیه، قلعه‌گنج، راور، کرمان در هردو پژوهش در گستره پرخطر جای می‌گیرند.

حسن‌زاده و همکاران، (۱۳۹۰) با روش تحلیلی بیشینه شتاب شهر کرمان را ناشی از ۱۵ تکه گسلی درون و پیرامون شهری تا ۰/۲ اندازه g تخمین زده‌اند، درحالی‌که این اندازه در این پژوهش تا g ۰/۵ نیز می‌رسد. این اختلاف می‌تواند به دلیل استفاده از گسل‌های ناحیه‌ای و گستره بزرگ‌تر این نوشتار باشد.



شکل ۳- نقشه خطر لرزه‌ای بیشینه شتاب افقی با دوره بازگشت ٤۷۵ ساله برای سنگ‌بستر.

در نگاره ۳، نقشه‌های خطر لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۲ ٪ و ۱۰ ٪ در ۵۰ سال برای پارامتر شدت بیشینه شتاب افقی با میرایی ۵ ٪ درصد با دقت $0.06° \times 0.06°$ و با در نظرگیری اثرات ساختگاهی آورده شده است. این برآورد برای به‌دست آوردن بیش‌ترین هم‌خوانی با آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ است. مقادیر حداکثر برای بیشینه شتاب افقی با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله (نگاره ۳) برای شهرهای پرجمعیت استان کرمان شامل کرمان، جیرفت، سیرجان، رفسنجان و بم به‌شماره، ۰/۵ g، ۰/۵ g، ۰/۲ g، ۰/۲ g و ۰/۵ g تخمین زده شد.



شکل ٤- نقشه‌های خطر لرزه‌ای بیشینه شتاب افقی با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله برای سنگ‌بستر.

بیشینه PGA افقی زمین با همین دوره بازگشت در این پژوهش 0.8 g تخمین زده شد که مربوط به شهر فاریاب است. این شهر در نزدیکی محل برخورد دو پهنه زمین‌ساختی ارواسیا و عربی واقع شده است. کمینه PGA افقی با همین دوره بازگشت نیز مربوط به گستره غیرمسکونی دشت لوت و شهر انار است که به‌شماره مقادیر شتاب آن‌ها برابر با 0.1 g و 0.15 g می‌باشند. بیشینه PGA افقی با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله (نگاره ٤) برای شهرهای کرمان،

جیرفت، سیرجان، رفسنجان و بم به‌شماره، 0.8 g، 0.8 g، 0.4 g، 0.3 g و 0.8 g تخمین زده شد. کمینه و بیشینه پارامتر شدت PGA افقی با همین دوره بازگشت به ترتیب 0.1g و 1.2 g است که به‌شماره، وابسته به گستره غیرمسکونی دشت لوت و شهر فاریاب می‌باشند.

٤- جمع‌بندی

در این پژوهش تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای استان کرمان بررسی شده بر عدم قطعیت‌های موجود در مراحل گوناگون تحلیل تأکید شده است. به دلیل اینکه کاتالوگ‌های لرزه‌ای مستقیماً بر پارامترهای لرزه‌خیزی تأثیر می‌گذارند، برای ایجاد یک کاتالوگ لرزه‌ای یکپارچه برحسب بزرگای گشتاوری، یک الگوریتم برای تبدیل بزرگا پیشنهاد شد که می‌توان از آن برای تدوین کاتالوگ‌هایی که بیش‌تر از داده‌های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده می‌برند، برای تمامی کشور استفاده نمود. چشمه‌های لرزه‌ای بر پایه چهار معیار لرزه‌خیزی، گسل‌ها، شرایط زمین‌شناختی و سازوکار کانونی مدل شدند. معمولاً در روش‌های مختلف، این ویژگی‌ها اندکی متفاوت است. شرایط زمین‌ساختی؛ راستا، درازا، سازوکار و اهمیت گسل‌ها؛ لرزه‌خیزی گستره، راستا و پهنای رشته‌کوه‌ها و مرز آن‌ها با دشت‌ها (که بیش‌تر گسل هستند) در اینجا درنظر گرفته شده‌اند. داده‌های کافی برای تخمین پارامترهای لرزه‌خیزی در هر چشمه لرزه‌ای به‌عنوان یک معیار مهم برای مدل‌سازی چشمه‌ها شناسایی شد که چشمه‌ها را محدود می‌سازد. سه عامل عدم حذف صحیح پیش‌لرزه و پس‌لرزه‌ها از کاتالوگ لرزه‌ای، استفاده از پیوند تبدیل بزرگای نامناسب یا استفاده از چندین پیوند کاهیدگی برای تبدیل یک رخداد به بزرگای گشتاوری و تشخیص ناصحیح کامل شدگی کاتالوگ که از مهم‌ترین عوامل ایجاد عدم قطعیت در محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی می‌باشند، شناسایی شدند. علاوه براین، انتخاب یک بزرگای حداقل کوچک به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی شناسایی شد. پس از بررسی کامل‌شدگی کاتالوگ، سه بازه سال‌های ۱۹۰۰ تاکنون، ۱۹٦۰ تاکنون و ۱۹۹۵ تاکنون به‌عنوان بازه‌های کامل‌شدگی برای برآورد بزرگای کامل شدگی در این تحقیق شناسایی شدند که می‌توان از این سه بازه برای تعیین کامل شدگی کاتالوگ در سرتاسر گستره ایران‌زمین استفاده نمود. برای بررسی ژرفای رخدادها در فلات ایران، طبق بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود تنها داده به دست آمده از شبکه‌های لرزه‌نگاری بومی‌استفاده شود.

نتایج این پژوهش به‌عنوان نقشه‌های خطر لرزه‌ای برای پارامترهای شدت بیشینه شتاب افقی زمین و با در نظرگیری اثرات ساختگاهی با احتمال فراگذشت ۲٪ و ۱۰٪ در ۵۰ سال برای تمامی استان کرمان ارائه شد تا تمامی نیازهای طراحی بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ را فراهم آورد. با استفاده از نقشه‌های به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان پارامتر زمین‌لرزه طرح ارائه شده در آیین‌نامه لرزه‌ای‌ایران (آیین‌نامه ۲۸۰۰) را به‌روزرسانی کرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، همان‌گونه که انتظار می‌رفت، دو گستره در استان کرمان با بیش‌ترین شتاب‌ها نشان داده شده‌اند؛ گستره

نخست، گستره گسلی کوه‌بنان–گلباف– بم با روند شمال‌باختری– جنوب خاوری بوده و گستره دوم پایانه شمال خاوری گستره برخوردی زاگرس به مکران است. هردو این گستره‌ها لرزه‌خیز بوده و از اهمیت زیادی دز بررسی‌های لرزه‌ای برخوردار هستند. از نظر مساحت، PGA با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال گستره بیش‌تری را با شتاب‌های بالا پیش‌بینی می‌نماید. PGA در کلان‌شهر کرمان که در استان دارای اهمیت بیش‌تری است و هم‌چنین شهرهای بم، کوه‌بنان، ماهان، جیرفت، راور و ارزوئیه، اگرچه در نقشه با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال دارای شتاب g ۷/۸–۰/۰ است، در نقشه با دوره بازگشت ۴۷۵ در گستره شتاب g ۴/۵–۰/۰ جای گرفته است. شاید بتوان دلیل این تغییر را در درازای دوره بازگشت به‌کار برده شده درنظر گرفت.

با مقایسه نتایج این بررسی و بررسی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان با روش‌های دیگر مانند روش AHP و در این پژوهش همانندی‌هایی وجود دارد. شهرهایی مانند زرند، کهنوج، جیرفت، اورزوئیه، قلعه‌گنج، راور، کرمان در هردو پژوهش در گستره پرخطر جای می‌گیرند. با مقایسه یک روش تحلیلی دیگر که در آن بیشینه شتاب شهر کرمان ناشی از ۱۵ تکه گسلی درون و پیرامون شهری ۰/۲ اندازه g تخمین زده شده، با روش این پژوهش که تا g ۰/۵ نیز می‌رسد، پی می‌بریم که این اختلاف می‌تواند به دلیل استفاده از گسل‌های ناحیه‌ای و گستره بزرگ‌تر در این نوشتار باشد.

پیشنهادها

نویسندگان این پژوهش پیشنهاد می‌کنند که برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها با کمک آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ از زمین‌لرزه طرح ارائه شده در این پژوهش بهره گرفته شود؛ زیرا که نقشه خطر لرزه‌ای استفاده شده در تدوین آیین‌نامه ۲۸۰۰ از دقت بسیار پایینی برخوردار است و بایستی در ویرایش‌های بعدی این آیین‌نامه به‌روزرسانی شود.

کتابنامه

اخلاص پور، پ؛ عباس‌نژاد، ا؛ نعمتی، م؛ ۱۴۰۰. استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه استان کرمان. *مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی*. دوره ۱۷. شماره ۳۳. بهار و تابستان ۱۴۰، ۷۳–۶۹.

حسن‌زاده، ر؛ عباس نژاد، ا؛ علوی، ا؛ شریفی تشنیزی، ا؛ ۱۳۹۰. تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریز پهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. *علوم زمین*. ۲۱(۸۱), ۲۳–۳۰ .

Ambraseys, N. N., & Melville, C. P., 2005. A history of Persian earthquakes. Cambridge university press, p 240, www.Cambridge.org/.

Berberian, M., 2005. The 2003 Bam urban earthquake: a predictable seismotectonic pattern along the western margin of the rigid Lut Block, southeast Iran. Earthq. Spectra. 21 (S1), S35–S99.

Ghasemi Nejad, Rezvan, Rahim Ali Abbaspour, Masoud Mojarab, (2021. Associating earthquakes with faults using cluster analysis optimized by a fuzzy particle swarm

optimization algorithm for Iranian provinces, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 140, 106433, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106433/.

Mahsuli, M., Rahimi, H., & Bakhshi, A., 2019. Probabilistic seismic hazard analysis of Iran using reliability methods. Bulletin of Earthquake Engineering, 17(3), 1117-1143.

Mehrabi, A.; Pirasteh, S.; Rashidi, A.; Pourkhosravani, M.; Derakhshani, R.; Liu, G.; Mao, W.; Xiang, W., 2021. Incorporating Persistent Scatterer Interferometry and Radon Anomaly to Understand the Anar Fault Mechanism and Observing New Evidence of Intensified Activity. Remote Sens. 13, 2072. https://doi.org/10.3390/rs13112072.

Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y., Wang, N., 1997. A uniform catalog of earthquakes for seismic hazard assessment in Iran. Acta Seismologica Sinica, 10, 713–726.

Moinfar, A. A., Naderzadeh, A., & Nabavi, M. H., 2012. New Iranian seismic hazard zoning map for new edition of seismic code and its comparison with neighbor countries. In 15th World conference on earthquake engineering (15th WCEE, LISBOA, 2012-09-24 - 2012-09-28.

Nemati, M., 2015. Aftershocks investigation of 2010 Dec. and 2011 Jan. Rigan earthquakes in the southern Kerman province, SE Iran. Journal of Tethys (Iran), 3(2): 96-113.

Nemati, M., 2018. Probabilistic View of Occurrence of Large Earthquakes In Iran. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 29(3), 241-252.

Nemati, M., 2019. Inter-event times between large earthquakes in Iran. Earthquake Sciences, 32: 1-18.

Nemati, M., Hajati, F. J., Rashidi, A., & Hassanzadeh, R., 2020. Seismology of the 2017 Hojedk earthquakes (MN 6.0–6.1), Kerman province, SE Iran. Tectonophysics, 780, 228398. Nemati, M., 2015c. Aftershocks investigation of 2010 Dec. and 2011 Jan. Rigan earthquakes in the southern Kerman province, SE Iran. Journal of Tethys (Iran), 3(2): 96-113.

Nemati, M. and Derakhshani, R., 2020. Short-term seismicity patterns along the most active faults in Iran", 47, 441-459.

Savidge, E., Nissen, E., Nemati, M., Karasözen, E., Hollingsworth, J., Talebian, M., ... & Rashidi, A., 2019. The December 2017 Hojedk (Iran) earthquake triplet—sequential rupture of shallow reverse faults in a strike-slip restraining bend. Geophysical Journal International, 217(2), 909-925.

Ahmad Rashidi, Mohamad Mahdi Khatib, Faramarz Nilfouroushan, Reza Derakhshani, Seyed Morteza Mousavi, Hossein Kianimehr, Yahya Djamour., 2019. Strain rate and stress fields in the West and South Lut block, Iran: Insights from the inversion of focal mechanism and geodetic data, Tectonophysics, 766, 94-114.

Ahmad Rashidi, Mohammad-Reza Abbassi, Faramarz Nilfouroushan, Shahram Shafiei, Reza Derakhshani, Majid Nemati., 2020. Morphotectonic and earthquake data analysis of interactional faults in Sabzevaran Area, SE Iran, Journal of Structural Geology, https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104147.

Tavakoli, B. and Ghafory-Ashtiany, M., 1999. Seismic Hazard Assessment of Iran, Annali di Geophysica, Vol. 42, 6, Dec. 1999, https://doi.org/10.4401/ag-3781.

Walker, R. T., Bergman, E. A., Elliott, J. R., Fielding, E. J., Ghods, A. R., Ghoraishi, M., ... & Talebian, M., 2013. The 2010–2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. Geophysical Journal International, 193(1), 349-374.

Yazdani, A., & Kowsari, M., 2017. A probabilistic procedure for scenario-based seismic hazard maps of Greater Tehran. Engineering Geology, 218, 162-172.

Building and House Research Center (BHRC), accelerometry network, http://www.bhrc.ac.ir/, 2020 .

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), http://www.iiees.ac.ir/, 2020.
Harvard University, Department of Geological Sciences, Global Centroid Moment Tensor catalogue (GCMT). available online at: http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html/, 2020.
International Seismological Center, ISC, http://www.isc.ac.uk/, 2020.
Institute of Geophysics University of Tehran, IGUT, http://irsc.ut.ac.ir/, 2020.
United State Geological Survey, USGS, http://www.neic.usgs.gov/, 2020.

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.273-301 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.74281.1145 Open access

Evaluating the Impact of Land Use Changes on Erosion and Sedimentation using the EPM model (Case Study: Kal-Aji Basin, Golestan Province)

Saleh Arekhi[a*], Somia Salmani[b], Somia Emadaddian[c]

[a]*Assistant Professor in Remote Sensing, Golestan University, Gorgan, Iran*
[b] *MA Student in Environmental Hazards, Golestan University, Gorgan, Iran*
[c] *Assistant Professor in Geomorphology, Golestan University, Gorgan, Iran*

Received: 19 December 2021 ***Revised: 26 January 2022*** ***Accepted: 5 February 2022***

Abstract

The present study was conducted to investigate the trend of land use changes and its impact on erosion and sediment, using Landsat satellite images of 1987, 2010 and 2019 and EPM model in the Kal-Aji watershed of Golestan province. Land use map was prepared using the maximum likelihood method. Training data were used to evaluate the accuracy of the results. Then, the most important methods of accuracy assessment, including total accuracy and classification kappa coefficient, were extracted. Those for 1987, 2010 and 2019, the total accuracy were 95, 98 and 95 and kappa coefficient were 0.93, 0.96 and 0.93, respectively. Erosion and sedimentation zoning maps were performed using the resulted land use maps, and such factors as slope, lithology, soil and precipitation were performed using the EPM method. The results showed that one of the most important factors in the Kal-Aji watershed is the loss of rangeland vegetation and its conversion into agricultural land. According to the hypothesis, the role of land use changes in the amount and increase of erosion and sediment was significantly determined. That is, with the change of land use, erosion and sediment have also increased. The reasons for the increase in the amount of sediment in the Kal-Aji area are the development of agricultural land uses and the decrease in rangeland between 1987 and 2019 (16.83%). These changes have reduced the important role of rangelands and vegetation of Kal-Aji watershed and have increased the amount of sediment in the outflow of sub-watersheds. Based on the obtained results, the total amount of special sediment was related to the period of 1987 (4353 cubic meters), which increased to 5164 cubic meters in 2019, which indicates the changes in land use that occurred in the watershed.

Keywords: Erosion and Sediment, Land Cover, Land Use, EPM, GIS, Kal-Aji

*-. Corresponding author: Saleh Arekhi Email: s.arekhi@gu.ac.ir Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Arekhi, S., Salmani, S., & Emadodin, S. (2023). Evaluating the impact of land use changes on erosion and sedimentation using the EPM model (Case study: Kal-Aji basin, Golestan province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 273-301.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.74281.1145

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74281.1145

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۳۰۱-۲۷۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM (مطالعه موردی: حوضه کال‌آجی استان گلستان)

صالح آرخی[1] – استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیه سلمانی– دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیّه عمادالدین– استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه، تابع شرایط اقلیمی، پستی‌وبلندی زمین، خاک و کاربری اراضی است که در این میان، اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان بر آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر است. هدف پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی/ پوشش گیاهی و تأثیر آن بر فرسایش و رسوب، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ لندست و مدل EPM در حوضه کال‌آجی استان گلستان است. نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر احتمال تهیه گردید. برای ارزیابی صحت نتایج، از داده‌های آموزشی استفاده به عمل آمد. سپس مهم‌ترین روش‌های ارزیابی صحت، شامل دقت کل و ضریب کاپای طبقه‌بندی استخراج شد که برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به ترتیب، برای دقت کل ۹۵، ۹۸ و ۹۵ و ضریب کاپا ۰/۹۳، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ درصد بود. نقشه‌های پهنه‌بندی شدت فرسایش و رسوب با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی حاصل و عواملی چون شیب، لیتولوژی، خاک و بارش با استفاده از روش EPM انجام شد. نتایج نشان می‌دهد از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش فرسایش

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۱۳۶۹۰۶۴۸ Email:s.arekhi@gu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

آرخی، صالح؛ سلمانی، سمیه؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۴۰۲. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM(مطالعه موردی: حوضه کال‌آجی استان گلستان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۳). صص ۳۰۱-۲۷۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74281.1145

و رسوب در حوضه آبخیز کال‌آجی از بین رفتن پوشش گیاهی مرتعی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی است؛ یعنی با تغییر کاربری بالطبع فرسایش و رسوب نیز افزایش یافته است. توسعه سطوح کاربری اراضی کشاورزی و کاهش سطوح مرتعی در بین سال‌های ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصد نسبت به سال ۱۳٦٦ است. این تغییرات نقش مهم تخریب مراتع و پوشش گیاهی حوضه آبخیز کال‌آجی در افزایش میزان رسوب خروجی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست‌آمده، مجموع مقادیر رسوب ویژه مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ (٤۳۵۳ مترمکعب) بوده که این میزان در سال ۱۳۹۸ به ٥۱٦٤ مترمکعب افزایش داشته است که نشان از تغییرات کاربری اراضی رخ داده در حوضه است.

کلیدواژه‌ها: فرسایش و رسوب، پوشش‌گیاهی/ کاربری اراضی، EPM، GIS، کال‌آجی.

۱- مقدمه

معضل فرسایش با کاهش حاصلخیزی خاک باعث تخریب اکوسیستم‌های طبیعی نظیر جنگل‌ها و مراتع و اکوسیستم‌های کشاورزی می‌گردد. مطالعات متعددی نشان داده که در میان عوامل مسبب فرسایش خاک، کاربری اراضی از اهمیت بیشتری نسبت به سایر عوامل برخوردار است. پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل کلیدی در تعیین کمیت و کیفیت فرسایش خاک و نیز پاسخ‌های هیدرولوژیکی سطحی زمین است (آدیلیا و همکاران[1]، ۲۰۱۱). نوع و شدت فرسایش عموماً تابع اقلیم، توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی است که در این میان تأثیر کاربری اراضی به دلیل نقش انسان بر چرخه طبیعت مهم‌تر از سایر عوامل است. نوع کاربری اراضی به همراه شرایط مدیریت بهره‌برداری از آن به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بشری بر روی منابع طبیعی و بخصوص فرسایش خاک به شمار می‌آید؛ بنابراین دانستن اینکه هرکدام از کاربری‌های اراضی چه نقشی در تولید فرسایش و رسوب دارند و با توجه به روند قبلی و شرایط زمین محیطی منطقه، عوامل مؤثر و محرک در تغییر کاربری اراضی کدام هستند، از ابتدایی‌ترین اطلاعات برای مدیران و بهره‌برداران اراضی به شمار می‌آید. با توجه به نقش بهینه کاربری اراضی در توسعه پایدار و کاهش هدر رفت منابع طبیعی، می‌توان گفت که تغییرات کاربری اراضی باعث به هم خوردن چرخه محیط طبیعی می‌گردد. همچنین به‌تبع آن فرسایش خاک در اثر عدم مدیریت صحیح اراضی و کاربری نادرست آن باعث بروز اثرات نامطلوبی بر زندگی اقتصادی- اجتماعی ساکنین حوضه نیز خواهد شد.

در کشور ایران به دلیل عدم توجه به مسئله و قابلیت و تناسب کاربری زمین، بیشتر اراضی به‌صورت نامناسب و نامعقول استفاده می‌شوند که این استفاده نادرست، به‌شدت فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز را افزایش می‌دهد. مطالعات زیادی در زمینه بررسی تغییر کاربری و نقش آن بر روی فرسایش و رسوب صورت گرفته است که بعضی از آن‌ها به شرح زیر است:

1 Adelia et al

شیلبرگ و همکاران[1] (۲۰۱۶)، به بررسی فرسایش توسط تغییرات استفاده از زمین در کوئینزلند استرالیا پرداختند. در این پژوهش میزان فرسایش آبرفتی و ویژگی سیلاب‌های پیش از آن برای ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی زمین در استرالیا را موردمطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش با GPS و عکس‌های هوایی تاریخی در ۱۸ محل در سراسر مگافان، نرخ فرسایش را به دست آورده و به این نتیجه رسیدند که چرای بیش‌ازحد دام‌ها از پوشش گیاهی و به وجود آمدن رواناب‌ها، اختلالاتی را در منطقه به وجود آورده‌اند که موجب فرسایش خاک‌های منطقه شده است. پاروسیون و همکاران[2] (۲۰۱۵)، در مطالعه خود با موضوع روشی برای مدل‌سازی اثرات تغییرات آب‌وهوا و کاربری اراضی در فرسایش و پایداری خاک در حوضه مدیترانه (لانگدوک، فرانسه) به این نتیجه رسیدند که حساسیت شدت فرسایش خاک به تغییرات کاربری اراضی بیشتر از تغییرات اقلیمی است. یوان و همکاران[3] (۲۰۱۵)، در مطالعه خود، رواناب سطحی و بار رسوب تحت کاربری اراضی مختلف در حوضه کوهستانی تای‌هانگ در شمال چین را شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که بار رسوب و رواناب در کاربری جنگل و بوته‌زار از همه کاربری‌ها کمتر است. میلوسکی[4] (۲۰۰۸) خطر فرسایش خاک در پایین‌دست حوضه آبخیز برجالنیکا، در جمهوری مقدونیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش EPM و ابزار GIS بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که GIS ابزاری قدرتمندی برای پیش‌بینی و تخمین خطر احتمالی فرسایش خاک است. قهرمان‌نژاد و همکارانش (۲۰۱۷)، در تحقیقی به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه کلیبرچای پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد، با افزایش اراضی دیم‌زار، میزان فرسایش افزایش و با افزایش اراضی پوشش درختی، میزان فرسایش کاهش می‌یابد. عابدینی و همکاران (۲۰۱۳) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز مشکین‌چای (مشکین‌شهر- اردبیل) را با روش EPM برآورد نمودند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که سه عامل مهم توپوگرافی، لیتولوژی و تغییرات کاربری اراضی در کنترل فرسایش و رسوب نقش مهمی ایفا نموده‌اند. مقدار ضریب شدت فرسایش (Z)، عدد ۲، میانگین رسوب کل ۱۰۱۲۳۷٦٤ مترمکعب در سال، دبی رسوب ویژه ۱۹۳۹۷/۹ و فرسایش ویژه ۲۱۵۵۳/۳ به دست آمد که نشان‌دهنده فرسایش خیلی شدید در منطقه موردمطالعه است. بیات و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی با استفاده از مدل EPM و به کمک فناوری‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و استفاده از تصاویر ماهواره ETM^+ به‌منظور تعیین اثر مدیریت کاربری اراضی بر میزان حوضه آبخیز دریاچه ارومیه به ارزیابی پرداختند. تاجیک (۲۰۰۷) اثر اقدامات آبخیزداری را بر روی سیل‌خیزی و رسوب‌دهی حوضه آبخیز رامیان را بررسی نمود. در بخشی از تحقیق خود با مقایسه نتایج مدل EPM با روش هیدرولوژیکی، برآورد بار معلق حد وسط دسته‌های دبی روزانه دریافت، دقت مدل EPM در این حوضه بالغبر ۹۹/۲ درصد است.

1 Shellberg
2 Paroissien
3 Yuan
4 Milevski

نبی‌پی لشکریان (۲۰۰۰) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در میزان فرسایش و رسوب نمود. وی به روش‌های MPSIAC و EPM اقدام به مقایسه رسوب‌دهی حوضه در شرایط کاربری اراضی فعلی و آتی (متناسب با استعداد) اراضی نمود. نتایج حاصل از این دو روش نشان داد که در صورت اصلاح و احیای پوشش گیاهی و استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان، فرسایش ویژه در روش MPSIAC به میزان ۹/۲۳ درصد و در روش EPM به میزان ۲۲/۹۸ درصد کاهش خواهد یافت.

اسفندیاری و همکاران (۲۰۱٤) در مطالعه‌ای در حوضه رود ورس قزوین، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کاربری زراعی از بیشترین و مراتع از کمترین پتانسیل برای فرسایش برخوردار بودند. مرادی و همکاران (۲۰۱٦) نیز به ارزیابی تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار در دو شهرستان رابر و ارزوئیه پرداختند. نتایج نشان داد گسترش فعالیت‌های زراعی سبب می‌شود مراتع به زمین‌های کم بازده تبدیل شود. فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش حوضه علویان را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که تبدیل اراضی مرتعی پر تراکم به مراتع کم‌تراکم و زراعت دیم، مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۷) نیز به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر و تأثیر آن بر فرسایش منطقه پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به ترتیب ۱۲/٥٤ و ۲٦/٥۱ درصد از مساحت شهرستان، در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. به‌طور عمده مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در هر دو دوره زمانی، در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی- باغات قرار دارند.

دادرسی‌سبزوار (۱۳۸٤) اثر تغییرات عمق و شیب بر میزان تولید رسوب را موردبررسی قرار داد و نتیجه‌گیری کرد که رابطه مستقیمی بین میزان تولید سالانه با زاویه و طول شیب و رابطه عکس با عمق خاک وجود دارد. نتایج مطالعات باتنی و گریسمر[1] (۲۰۰۰) نشان داد افزایش درصد شیب بین ٤ الی ۱٦ درصد، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر روی میزان هدررفت خاک دارد.

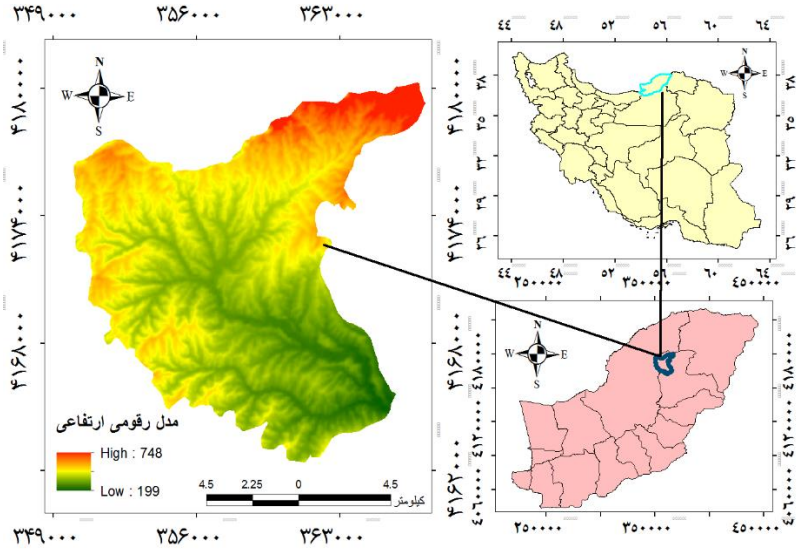
حوضه آبخیز کال‌آجی به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های گرگانرود در طی سالیان گذشته فرسایش شدیدی را متحمل شده است. این فرسایش به دلایل مختلفی رخ داده که یکی از آن‌ها تغییرات در کاربری زمین و ضعف مدیریت منابع آب‌وخاک است. هدف از این مطالعه برآورد تغییرات حاصل شده در فرسایش خاک و رسوب حوضه آبخیز کال‌آجی در یک بازه زمانی ۳۲ ساله و بررسی نقش کاربری اراضی و پوشش زمین در میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM است. برای سنجش تغییرات کاربری زمین از مقایسه تغییرات طبقه‌بندی تصاویر لندست برای سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ استفاده گردید.

1 Battanyand Grismer

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

حوضه آبخیز کال‌آجی با مساحت ۱۷۰۹۹ هکتار، ۰/۸۳ درصد مساحت استان و ۱/٤۷ درصد مساحت حوضه آبخیز گرگانرود گلستان را به خود اختصاص داده است. این حوضه در محدوده طول شرقی ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه و ۰٤ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۲ ثانیه و عرض شمالی ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه و ٤٤ ثانیه تا ۳۷ درجه و ٤۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه تقریباً در شمال شهر کلاله، واقع در شرق استان گلستان است. این حوضه در سرشاخه گرگانرود قرار داشته و از مناطق سیل‌خیز منطقه است. بلندترین نقطه حوضه ۷٦٤ متر است که در شمال شرقی حوضه واقع شده است و کمترین ارتفاع آن مربوط به خروجی حوضه است که حدود ۲۲۰ متر ارتفاع دارد و بارش متوسط آن ٤۲۵ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱٦/٤٤ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک است. بیشترین بارش متوسط کل حوضه مربوط به ماه اسفند با ٦۰/۱۱ میلی‌متر و کمترین آن به ماه تیر با ۱۲/٤٤ میلی‌متر است. شکل شماره ۱ نشان دهنده موقعیت محدوده موردمطالعه در تقسیمات سیاسی استان گلستان است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز کال‌آجی در تقسیمات سیاسی کشور

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق پس از به دست آوردن اطلاعات و جمع‌آوری آمار مربوط به منطقه، شامل نقشه توپوگرافی، اطلاعات هواشناسی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و پوشش گیاهی حاصل از

تجزیه و پردازش و اعمال تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌های: ۱- لندست ۵ سنجنده TM به تاریخ ۱۳٦٦/٤/۱۵؛ ۲- لندست ۷ سنجنده ETM^+ به تاریخ ۱۳۸۹/٤/۳۰؛ ۳- لندست ۸ سنجنده OLI به تاریخ ۱۳۹۸/٤/۲۵، اقدام به تولید لایه‌های رستری عامل‌های دخیل در فرسایش و رسوب، مربوط به مدل EPM در محیط GIS شد. در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوضه آبخیز (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب حساسیت سنگ‌وخاک به فرسایش (Y) و شیب حوضه (I) موردبررسی قرار گرفت. نقشه زمین‌شناسی حوضه موردمطالعه، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است. همچنین، آمار مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در دوره آماری ۳۲ سال آبی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸، از بایگانی و آمارهای شرکت منابع آب ایران و گزارش تلفیق مطالعات منابع آب گرگانرود استخراج گردید.

۲-۲-۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

امروزه رایج‌ترین روش برای تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی، استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور است (قوشه و همکاران[1]، ۲۰۱۳). تصاویر مورداستفاده مربوط به ماهواره لندست و سنجنده‌های TM، ETM^+ و OLI می‌باشند که بعد از اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک در تصاویر و انتخاب باندهای مناسب برای هر تصویر، طبقه‌بندی و استخراج لایه‌های کاربری از تصاویر مربوط به سه دوره انجام پذیرفته و در آخر برای ارزیابی صحت لایه‌های تهیه شده، از دو روش دقت کل و ضریب کاپا استفاده شده است.

۲-۲-۲- تصحیح هندسی و رادیومتریک

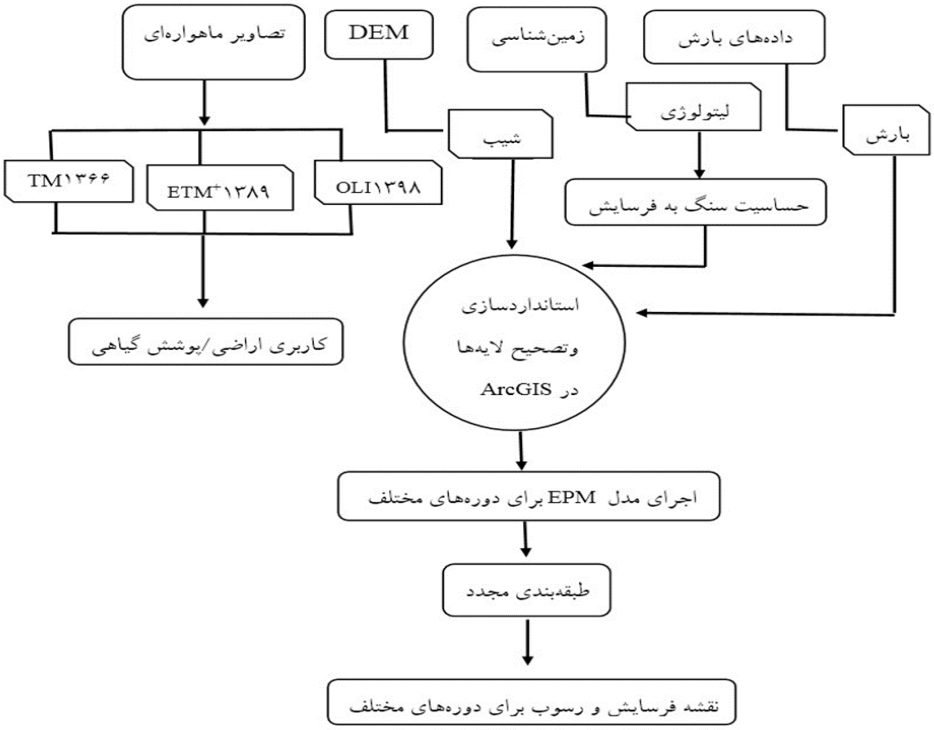
در این مطالعه، به‌منظور تصحیح هندسی، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان جغرافیایی ارتش استفاده گردید. در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 اقدام به اعمال تصحیح‌های هندسی بر روی تصاویر شد و تصویر سنجنده OLI سال ۱۳۹۸ با استفاده از روش تصویر- وکتور، زمین مرجع شد. برای این کار از ۳۹ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و در تقاطع جاده‌ها، آبراهه‌ها و ... استفاده گردید، تا مدل ریاضی که برای پیدا کردن ضرایب مجهول در معادله مورداستفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده، از تابع درجه اول استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده و درنهایت سنجنده OLI با خطای RMSE معادل ۰/۳۱ زمین مرجع گردید. تصحیح هندسی تصویر TM سال ۱۳٦٦ و ETM^+ سال ۱۳۸۹ به روش تصویر به تصویر انجام شد. بدین منظور تصویر ۱۳۹۸ بعد از تصحیح هندسی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد. ابتدا نقاط کنترل انتخاب شدند، سپس نقاطی که دارای خطای زیادی بودند از جدول مربوطه حذف شدند و درنهایت با حذف ۸ و ۱۰ نقطه کنترل زمینی، تصویر TM با ۳۸ و تصویر ETM^+ با ۳۵ نقطه کنترل با خطای معادل ۰/۳۰ و ۰/۳۵ تصحیح شد.

1 Ghosh et al

به‌منظور تعیین تغییرات علاوه بر هم مختصات بودن تصاویر، باید ابعاد پیکسل‌های آن‌ها نیز یکسان که در این تحقیق اندازه همه پیکسل‌ها ۲۸/۵ متر است.

در ضمن، تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی. روش تصحیح رادیومتریک مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به‌خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (دیو و همکاران[1]، ۲۰۰۲). در مقابل تصحیحات رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیرمنتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده[2] است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره‌رنگ دارای تابش صفر در همه طول‌موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آن‌ها صفر یا نزدیک به یک است (مثل آب). به‌این‌ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به‌صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همین دلیل جهت حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به‌طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (چاوز و مکنون[3]، ۱۹۹٤). در این مطالعه از این روش جهت تصحیح رادیومتریک تصاویر ذکر شده در بالا استفاده شده است. شکل ۲ مراحل مفهومی تحقیق را نمایش می‌دهد.

1 Du et al
2 Dark Object Subtraction
3 Chavez and Mackinnon



شکل ۲- فلوچارت مراحل انجام کار

۲-۲-۳- بررسی میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM

آگاهی از وضعیت فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز نیاز به مطالعه و بررسی عوامل مؤثر در این فرآیند پیچیده دارد. به دلیل پیچیدگی این فرایندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری رسوب در کشور، چنین مطالعاتی با استفاده از روش‌ها و مدل‌هایی که در سایر کشورها توسعه یافته‌اند، انجام می‌گیرد. در این تحقیق برای برآورد شدت فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز موردمطالعه از روش EPM و تکنیک‌های RS و GIS استفاده شده است. بعد از وارد کردن نقشه‌ها به محیط نرم‌افزار ARCGIS و زمین مرجع کردن آن‌ها، لایه‌های مورد نیاز رقومی و پایگاه اطلاعاتی برای آن‌ها ایجاد شد.با استفاده از مدل EPM، عوامل مؤثر در فرسایش در زیرحوضه‌ها ارزیابی و امتیازبندی شد. در این روش که در حقیقت ضریب شدت فرسایش است، چهار عامل ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه آبخیز (I) در زیر حوضه‌های مختلف و درنهایت در کل حوضه آبخیز موردمطالعه قرار گرفت. در هر یک از این زیرحوضه‌ها بر اساس چهار عامل، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش، متوسط سالانه رسوب ویژه (میزان رسوب تولید شده در واحد سطح) و مقدار رسوب تولید شده در طول سال در سطح زیرحوضه‌ها و بالاخره در کل حوضه محاسبه گردیده است.

برای سهولت و دقت کار در به دست آوردن میزان فرسایش و تولید رسوب، ابتدا کل حوضه آبخیز کال‌آجی به ۷ زیرحوضه تقسیم شد. سپس عوامل مؤثر در تولید رسوب در هر یک از زیرحوضه‌ها موردمطالعه قرار گرفت. در مرحله بعد میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از فرمول‌ها و ضرایب مربوطه به دست آمد که در زیر به بررسی هر یک از عوامل چهارگانه خواهیم پرداخت.

۲-۲-۳-۱- تعیین ضریب استفاده از زمین یا ضریب کاربری زمین (Xa)

بعد از انتخاب ترکیب باندهای مناسب برای هر دوره (TM432، $ETM^{+}432$ و OLI543)، برای تهیه نقشه کاربری اراضی نیاز به نمونه‌های تعلیمی از منطقه مطالعاتی است. نمونه‌های تعلیمی از طریق تفسیر بر روی تصاویر ماهواره‌ای و از روش ROI[1] در محیط نرم‌افزار ENVI به دست می‌آید. نمونه‌های اخذ شده از تصاویر، معرف طبقات کاربری اراضی است که در فرایند پردازش تصاویر به‌عنوان پیکسل‌های آموزشی عمل می‌کنند. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و نمونه‌های آموزشی، نقشه‌های کاربری اراضی برای منطقه موردمطالعه به کمک طبقه‌بندی نظارت شده با روش بیشترین احتمال، تهیه شده است.

روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال هنوز هم یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی تصویر است (بولستد و لیسند[2]، ۱۹۹۱). در این روش، طبقه‌بندی براساس واریانس و کوواریانس انجام می‌شود. در روش مذکور فرض بر این است که همهٔ مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گسترهٔ پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل موردنظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (علوی پناه و احسانی، ۲۰۰۳).

امتیاز ضریب استفاده از زمین بین ۰/۱ تا ۱ متغیر است. با استفاده از نقشه کاربری اراضی تولید شده برای سال‌های موردمطالعه و شرایط استفاده از زمین برای هر یک از کاربری‌ها، امتیازی اختصاص داده می‌شود و سپس با استفاده از مساحت اشغال شده توسط هر کاربری در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب استفاده از زمین در هر زیر حوضه محاسبه گردید.

۲-۲-۳-۲- ضریب حساسیت سنگ و خاک نسبت به فرسایش (Y)

امتیاز این عامل بین ۰/۲۵ تا ۲ متغیر است و بسته به مقاومت سنگ در مقابل فرسایش درجات مختلف به آن تعلق می‌گیرد. بدین ترتیب میزان امتیاز ضریب حساسیت خاک نسبت به فرسایش هر یک از سازندهای موجود در سطح حوضه از طریق جداول مربوطه تعیین گردید و سپس با توجه به وزن فرسایشی هر سازند و مساحت اشغال شده

1 Region of Interest
2 Bolstad and Lillesand

توسط آن در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب حساسیت خاک نسبت به فرسایش در هر زیرحوضه محاسبه گردید.

۲-۲-۳-۳- ضریب فرسایش حوضه (Ψ)

امتیاز این عامل بین۰/۱ تا ۱ متغیر است. این عامل در اصل وضعیت فعلی فرسایش را در سطح حوضه نشان می‌دهد. با استفاده از نقشه کاربری اراضی تولید شده برای سال‌های موردمطالعه و ویژگی‌های فرسایش هر کاربری، به هر یک از کاربری‌ها امتیازی اختصاص داده شده و سپس با استفاده از مساحت اشغال شده توسط هر کاربری در هر زیرحوضه، میزان متوسط وزنی ضریب فرسایش در هر زیرحوضه محاسبه شد.

۲-۲-۳-٤- تعیین شیب متوسط حوضه (I)

در این مطالعه، جهت استخراج پارامتر شیب، از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه در صد متوسط شیب استخراج گردید.

با توجه به چهار فاکتور محاسبه شده در مرحله قبل، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش برای هر یک از زیرحوضه‌ها و درنهایت کل حوضه آبخیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$Z=Xa.Y(\Psi+ I ½) \qquad \text{رابطه ۱}$$

در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه که در حقیقت میزان فرسایش را در واحد سطح (هکتار یا کیلومترمربع) حوضه را نشان می‌دهد، از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$Wsp = T.H.Z^{1.5} Pi \qquad \text{رابطه ۲}$$

که در آن Wsp: مقدار فرسایش برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، H متوسط بارندگی سالیانه حوضه برحسب میلی‌متر، Z شدت فرسایش، Pi= عدد ثابت پی معادل ۳/۱٤ و T: ضریب درجه حرارت که از رابطه‌ی ۳، به دست می‌آید (احمدی، ۲۰۰۷).

$$T= (t/10 + 0.1)^{0.5} \qquad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه (t) متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه برحسب درجه سانتی‌گراد است.

مقدار Wsp محاسبه‌شده در رابطه ۲، بیان‌کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است، اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد، بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که درواقع بر ضریب رسوب‌دهی حوضه تأثیر می‌گذارد (قنبرزاده و غلامرضایی، ۲۰۰۷).

مقدار رسوب ویژه حوضه آبخیز از طریق رابطه ٤، به دست می‌آید، که در آن Gsp: رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، Wsp: فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و R_U: ضریب

رسوب‌دهی حوضه آبخیز است. ضریب رسوب‌دهی حوضه یا ضریب نگهداشت مواد فرسایش یافته معین می‌نماید که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی خارج می‌شود و مقدار آن از طریق رابطه ۵، حاصل می‌شود. در این رابطه L طول حوضه به کیلومتر، P: محیط حوضه به کیلومتر و D اختلاف ارتفاع برحسب کیلومتر که از رابطه ٦، به دست می‌آید (رفیعی، ۲۰۰۹).

$$G_{sp} = W_{sp} \cdot R_u$$ رابطه ٤

$$R_u = 4(P * D)^{0.5} / L + 10$$ رابطه ۵

$$D = D_{av} - D_{\circ}$$ رابطه ٦

در رابطه ٦، Dav: ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و D_0: ارتفاع نقطه خروجی رودخانه است. مقدار رسوب کل حوضه از رابطه ۷، به دست می‌آید (احمدی، ۲۰۰۷):

$$G_S = G_{SP} \cdot A$$ رابطه ۷

که در آن: G_S رسوب کل برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع، G_{sp} رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع و A مساحت حوضه آبخیز برحسب کیلومترمربع است.

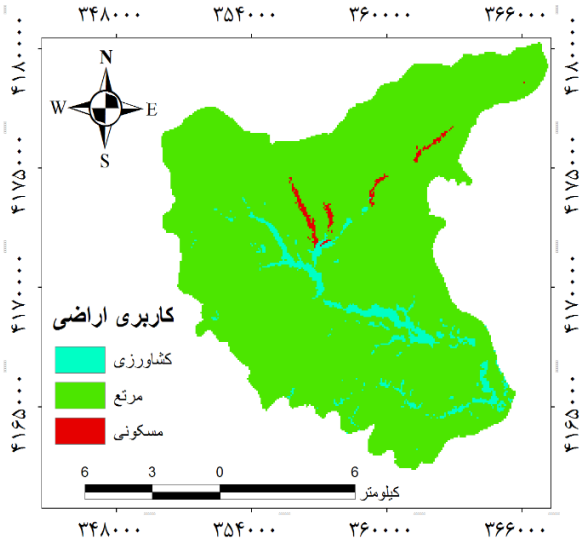
۳- نتایج و بحث

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقاط کنترل زمینی، تصاویر با خطایی حدود ۰/۳۲ زمین مرجع گردید تصاویر تطابق یافته، دقت بالای عمل تطابق هندسی مورد تائید قرار گرفت. همچنین برای تصحیح رادیومتریک از روش تصحیح رادیومتریک نسبی استفاده گردید. این روش برای کاهش اثرات پخش اتمسفریک بر روی تصویر است. در ضمن، تعداد پوشش/ کاربری اراضی با توجه به تصاویر و نقشه‌های کاربری موجود و شرایط منطقه موردمطالعه و بازدید میدانی برای تهیه نقشه پوشش زمین به چهار کلاس تقسیم شده است که عبارتند از: مرتع، کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی.

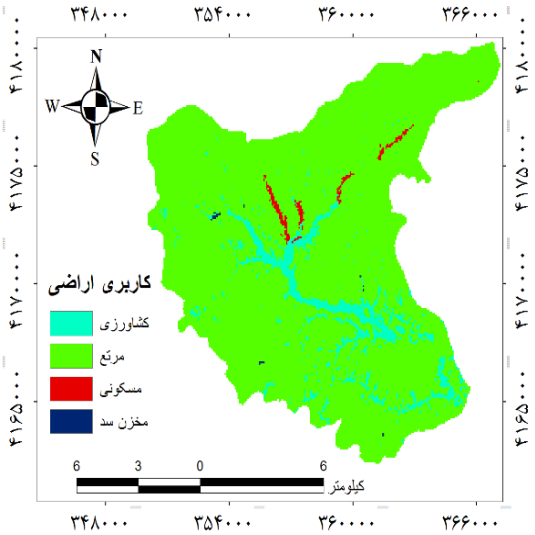
پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی صحت پرداخته شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی، انتخاب یک‌سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی لازم است. بدین‌جهت تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه‌شده به نرم‌افزار ENVI انتقال یافته و میزان دقت کاربری‌ها (دقت کل و ضریب کاپا) به دست آمد. دقت کل در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۵، ۹۸ و ۹۵ در صد بود. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در سه دوره موردمطالعه، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست.

۳-۱- انواع کاربری اراضی و میزان تغییرات آن‌ها

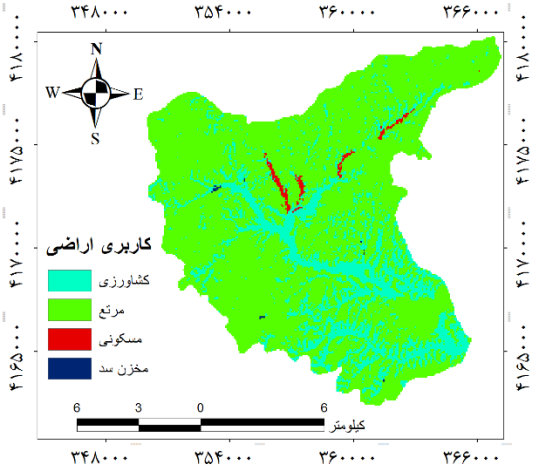
در شکل‌های ۳ تا ۵ نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به ترتیب نشان داده شده است. در ادامه نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ ارائه شده است. همچنین در جدول ۱ نمودار درصد تغییرات طبقات پوشش زمین مرتع، کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی نشان داده شده است. چنانچه در شکل ٦ مشاهده می‌شود، در تمام سال‌های موردمطالعه، بیشترین طبقه پوشش زمین مربوط به مرتع و کمترین آن مربوط به کاربری کشاورزی، مسکونی و پهنه‌های آبی است. همچنین در شکل ٦ مشاهده می‌شود، در تمام دوره‌های موردمطالعه روند تغییرات مرتع به‌صورت کاهشی ولی روند تغییرات کشاورزی به‌صورت افزایشی بوده است.



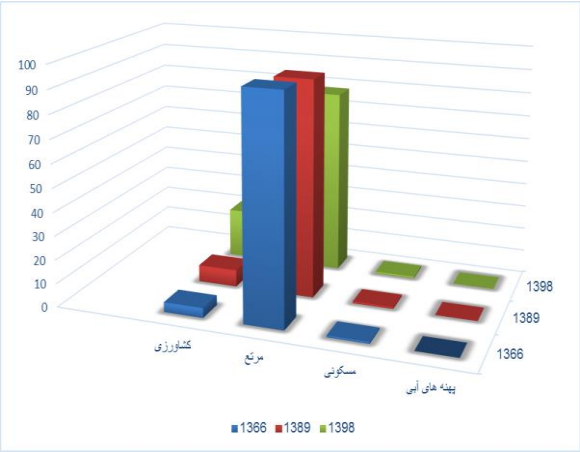
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳٦٦



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۸۹



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۹۸



شکل ٦- نمودار تغییرات مساحت کاربری اراضی در بازه زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

جدول ۱- مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های مختلف

کاربری سال	سال ۱۳٦٦		سال ۱۳۸۹		سال ۱۳۹۸	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
کشاورزی	۷۱۷/۱۳	٤/۱۹	۱۲۳۲/۲۷	۷/۲۱	۳۵۹۳/۲۹	۲۱/۰۲
مرتع	۱٦۲۵۱/۳۵	۹۵/۰٤	۱۵۷۲۱/۸٦	۹۱/۹٤	۱۳۳۵۷/۳٦	۷۸/۱۲
مسکونی	۱۳۱/٦۳	۰/۷۷	۱۳۲/۲۰	۰/۷۷	۱۳۳/٦۳	۰/۷۸
پهنه آبی	۰	۰	۱٤/۱۸	۰/۰۸	۱٤/۱۸	۰/۰۸

مع‌الوصف بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، تغییرات انواع کاربری اراضی طی بازه‌های زمانی ۱۳٦٦ و ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به شرح زیر است:

۳-۱-۱- اراضی با کاربری کشاورزی

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصد افزایش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۷۱۷/۱۳ هکتار (٤/۱۹ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۲۳۲/۲۷ هکتار (۷/۲۱ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۳۵۹۳/۲۹ هکتار (۲۱/۰۲ درصد) در سال ۱۳۹۸ افزایش داشته است. از علل مهم افزایش وسعت این نوع کاربری می‌توان به پدیده مهاجرت و ازدیاد جمعیت در سال‌های اخیر و متعاقب آن تبدیل مراتع و اراضی فاقد کاربری به باغات و اراضی کشاورزی اشاره نمود.

۳-۱-۲- اراضی با کاربری مرتع

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۹۲ درصد کاهش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۱٦۲۵۱/۳۵ هکتار (۹۵/۰٤ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۵۷۲۱/۸٦ هکتار (۹۱/۹٤ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۳۵۷/۳٦ هکتار (۷۸/۱۲ درصد) در سال ۱۳۹۸ کاهش داشته است. دلیل این کاهش، تبدیل اراضی مرتعی به باغات و اراضی کشاورزی در طی سالیان ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ بوده است که خود از پیامدهای افزایش جمعیت در سال‌های اخیر است.

۳-۱-۳- اراضی با کاربری مسکونی

سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱ درصد افزایش داشته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید سطح این اراضی ۱۳۱/٦۳ هکتار (۰/۷۷ درصد) در سال ۱۳٦٦ به ۱۳۲/۲۰ هکتار (۰/۷۷ درصد) در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۳/٦۳ هکتار (۰/۷۸ درصد) در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است.

۳-۱-٤- اراضی با پهنه آبی

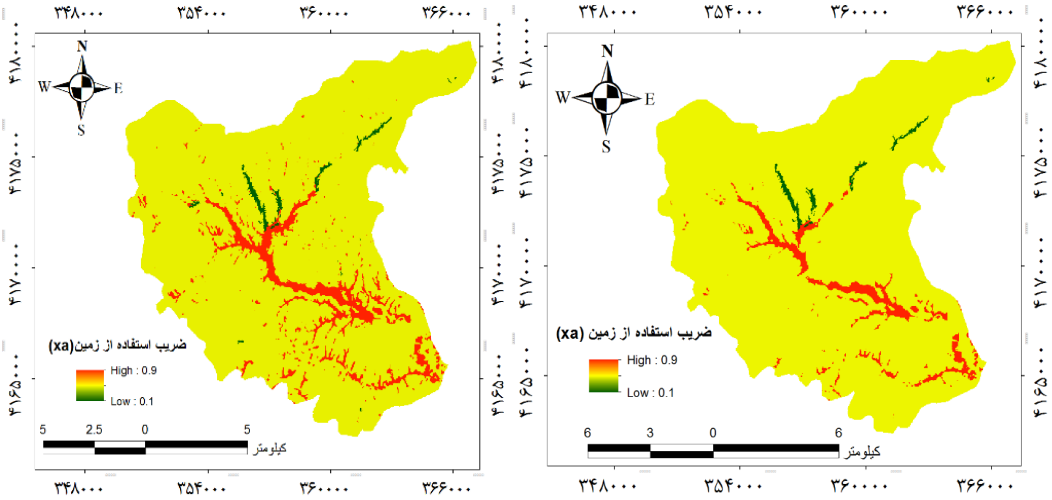
سطح این اراضی در فاصله زمانی بین ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ هیچ‌گونه تغییری نیافته است. نتیجه حاصل از بررسی نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ نشانگر تغییراتی در مساحت انواع کاربری‌ها است. ازجمله دلایل کاهش سطح مراتع می‌توان افزایش روزافزون جمعیت که موجب تغییر کاربری مرتعی و تبدیل آن به زمین‌های زراعتی، مناطق مسکونی و ... شده است. البته عوامل طبیعی دیگری نظیر عوامل اقلیمی مانند سرمای زودرس، خشک‌سالی و عوامل بیولوژیک مانند طغیان آفات نیز در تخریب مراتع حوضه نقش بسزایی دارد؛ اما کاهش سطح مراتع حوضه را می‌توان به دلیل استفاده بی‌رویه دامداران جهت تعلیف احشام خود دانست؛ بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تا حدودی از وضعیت کاربری‌ها پیشین آگاه شد و این توانایی را به محقق می‌دهد که بتولند با تعیین کاربری‌ها و مقایسه با کاربری‌های فعلی تا لندازه‌ای از تغییرات مساحت‌ها و نقش این تغییرات در افزایش فرسایش و رسوب و حتی مشکلات عدیده‌ای نظیر سیل و... مطلع شد.

۳-۲- مقادیر ضریب استفاده از زمین یا ضریب کاربری زمین (X_a)

مطالعه کاربری اراضی حوضه کال آجی نشان می‌دهد، حوضه موردمطالعه از ٤ کاربری تشکیل‌شده است که در جدول ۲ انواع مختلف کاربری و در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ضرایب مربوط به هر نوع کاربری در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ و در جدول ۳ ضرایب مربوط به هر نوع کاربری در زیر حوضه‌های مختلف نشان داده شده است. کاربری اراضی به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی فرسایش خاک محسوب می‌شود و با توجه به نقشه کاربری اراضی درصد خیلی زیادی از مساحت حوضه به کاربری مرتع و کشاورزی اختصاص داده شده است که امتیاز حاصله در جدول ذیل نشان داده شده است.

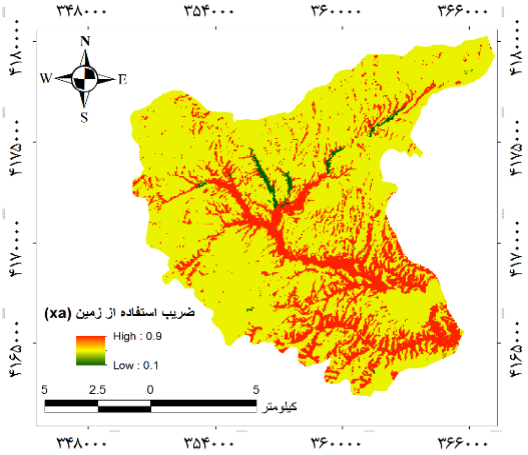
جدول ۲- انواع مختلف کاربری در حوضه و ضرایب استفاده از زمین

شماره	نوع کاربری	ضریب استفاده از زمین (X_a)
۱	مسکونی	۰/۱
۲	کشاورزی	۰/۹
۳	مرتع	۰/۵
٤	سطوح آبی	۰/۱



شکل ۷- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ۱۳٦٦

شکل ۸- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ۱۳۸۹



شکل ۹- نقشه ضریب استفاده از زمین در سال ۱۳۹۸

جدول ۳- مقادیر ضریب استفاده از زمین (X_a) در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی

زیر حوضه‌های آبخیز	۱۳٦٦Xa-	-۱۳۸۹Xa	۱۳۹۸Xa-	میزان تغییرات
۱	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/٦۱	۰/۱
۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/٤
۳	۰/۵٤	۰/۵٦	۰/٦۳	۰/۹
٤	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵٦	۰/۵
۵	۰/٤۸	۰/٤۹	۰/۵۱	۰/۳
٦	۰/٤۸	۰/٤۸	۰/۵۲	۰/٤
۷	۰/٤۹	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/٤

بر اساس جدول شماره ۳ می‌توان نتیجه گرفت مقدار ضریب استفاده از زمین در مجموع در همه زیرحوضه‌ها افزایشی بوده و در ضمن در زیرحوضه شماره ۱ مقدار آن حداقل (۰/۱) و در زیرحوضه شماره ۳ مقدار آن حداکثر (۰/۹) است.

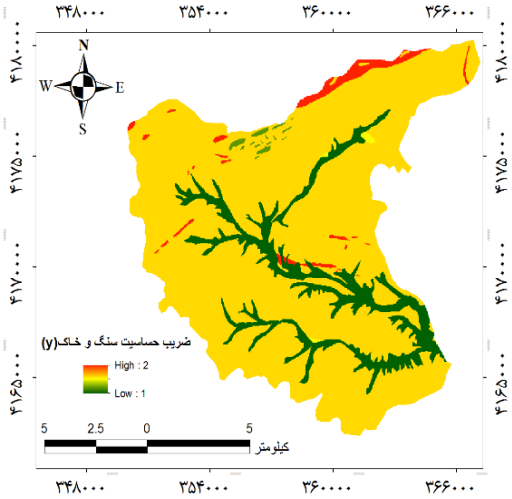
۳-۳- ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)

امتیاز عامل زمین‌شناسی از منابع مختلف (تنگستانی، ۲۰۰٦؛ یمانی و اسکندرنژاد، ۲۰۱۰؛ خاکسار و همکاران، ، ۲۰۰٦) اخذ و طی آن از نظر مقاومت برای سنگ‌شناسی دامنه بین ۰/۱ تا ۲ لحاظ شده است، به‌طوری‌که سنگ‌های سست و بسیار حساس به فرسایش بیشترین امتیاز (کد ۲) و سنگ‌های مقاوم و سخت، کم‌ترین امتیاز (کد ۰/۱) را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به گزارش زمین‌شناسی، منطقه موردمطالعه از لحاظ لیتولوژی و حساسیت به فرسایش به ۷ کلاس حساسیت تفکیک گردیده که در شکل ۱۰ مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در حوضه آبخیز کال‌آجی آورده شده است.

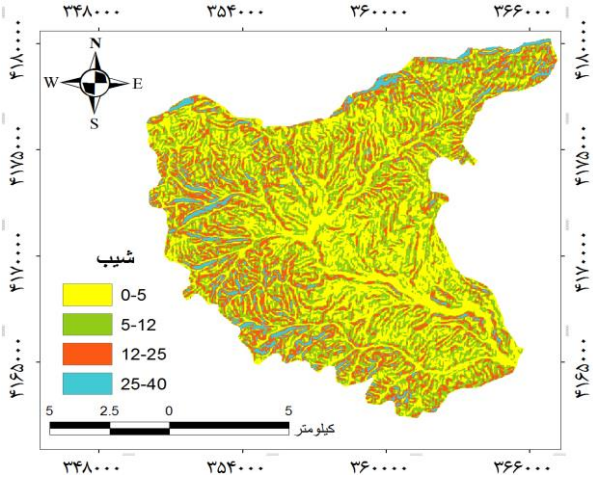
۳-٤- محاسبه شیب متوسط (I)

شیب حوضه رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای با نفوذ آب و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک دارد و در میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه مؤثر است؛ بنابراین وجود این عامل به‌صورت بحرانی نقش تأثیرگذار در روند فرسایش و تولید رسوب می‌تواند داشته باشد (دیا و لی[1]، ۲۰۰۲). دامنه کلاس‌های شیب به‌کاررفته در این مطالعه برحسب درصد عبارتند از: ۰-۵، ۵-۱۲، ۱۲-۲۵ و ۲۵-٤۰. در شکل ۱۱ نقشه شیب منطقه و همچنین در جدول ٤ شیب حوضه آبخیز کال‌آجی نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول ٤ پیداست بخش عمده حوضه موردمطالعه دارای شیب بیش از ۱۲ درصد (۷۵ درصد مساحت حوضه) داشته‌اند که نشان از ناهموار بودن حوضه و تأثیر آن روی فرسایش و رسوب است.

1 Dai and Lee



شکل ۱۰- نقشه ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)



شکل ۱۱- نقشه درصد شیب حوضه

جدول ٤. شیب حوضه

طبقات شیب (درصد)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
٥-٠	٤٢٦٥/٢٩	٢٤/٩٤
١٢-٥	٦٧٩٢/٧	٣٩/٧٢
٢٥-١٢	٥٩٩١/١٩	٣٥/٠٣
٤٠-٢٥	٥٠/٧٦	٠/٢٩

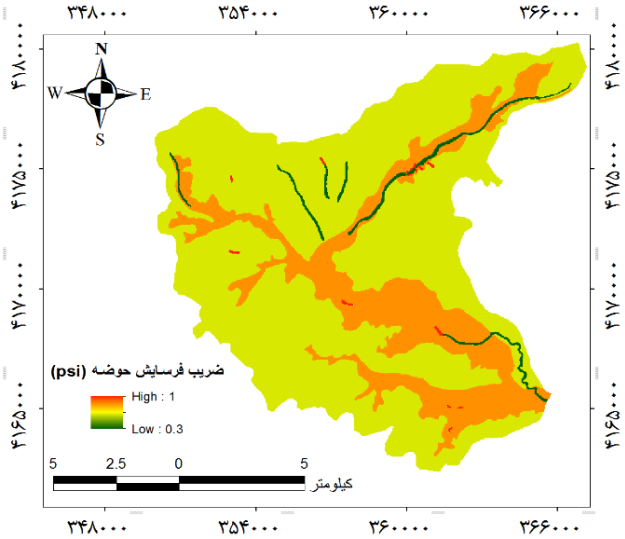
۳-۵- مقادیر ضریب فرسایش منطقه (Ψ)

پس از انجام بازدیدهای متعدد از حوضه موردمطالعه، نقشه اشکال مختلف فرسایش تهیه گردید، به‌طورکلی در حوضه کال‌آجی ۵ تیپ فرسایش مشاهده گردید که در جدول ۵ انواع مختلف فرسایش و ضرایب مربوطه آمده است. همچنین در شکل ۱۲ به‌صورت نقشه ضریب فرسایش حوضه نشان داده شده است.

جدول ۵- انواع مختلف فرسایش در حوضه و ضرایب فرسایش

شماره	نوع فرسایش	ضریب فرسایش Ψ
۱	Dulin	۰/۷
۲	River Bank Erosion	۰/۳

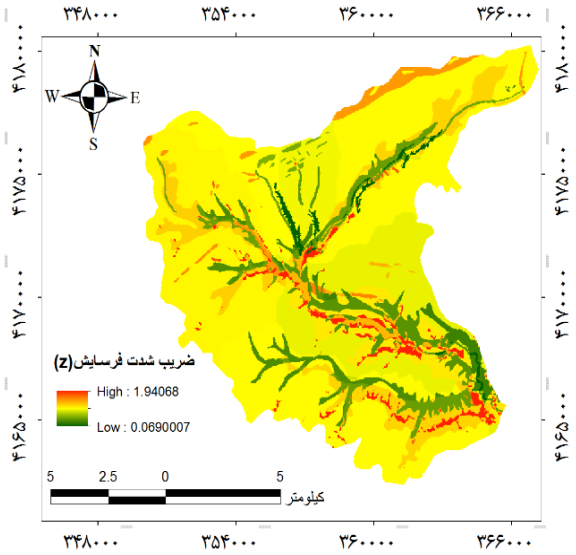
۳	Gully	۱/۰
٤	River Erosion + Sheet Erosion + Micro terrace	۰/۷
٥	sheet + rill + river + splash erosion	۰/٦



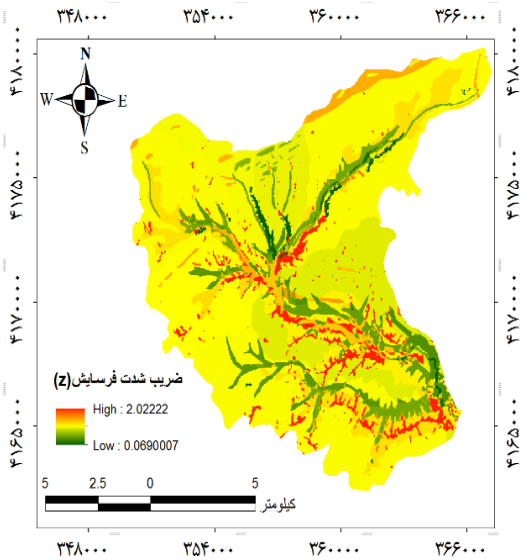
شکل۱۲- نقشه ضریب فرسایش حوضه

۳-٦- ضریب شدت فرسایش

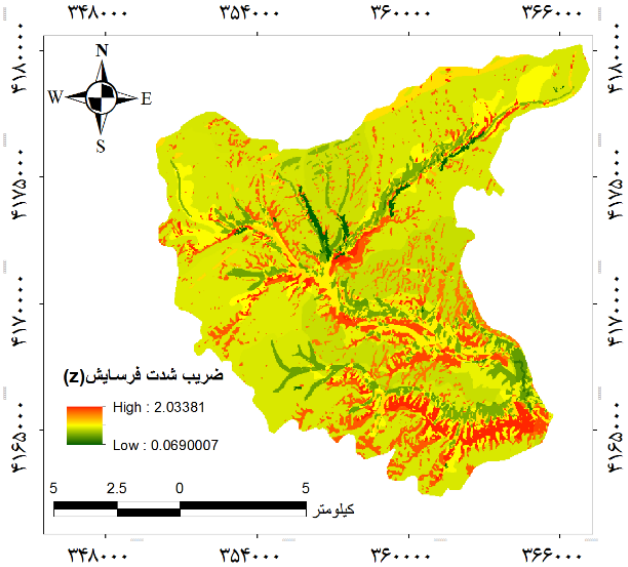
پس از تهیه عوامل چهارگانه مدل و جای‌گذاری آن‌ها ضریب شدت فرسایش در اشکال ۱۳، ١٤ و ۱۵ در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ نشان داده شده است. همچنین در جدول ٦ شدت فرسایش در زیرحوضه‌های مختلف را می‌توان مشاهده کرد. علت شدید بودن فرسایش در این زیرحوضه‌ها، شیب زیاد و حساسیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش و خصوصاً تغییرات کاربری اراضی است.



شکل ۱۳- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳٦٦



شکل ١٤- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳۸۹



شکل ۱۵- نقشه ضریب شدت فرسایش (Z) در سال ۱۳۹۸

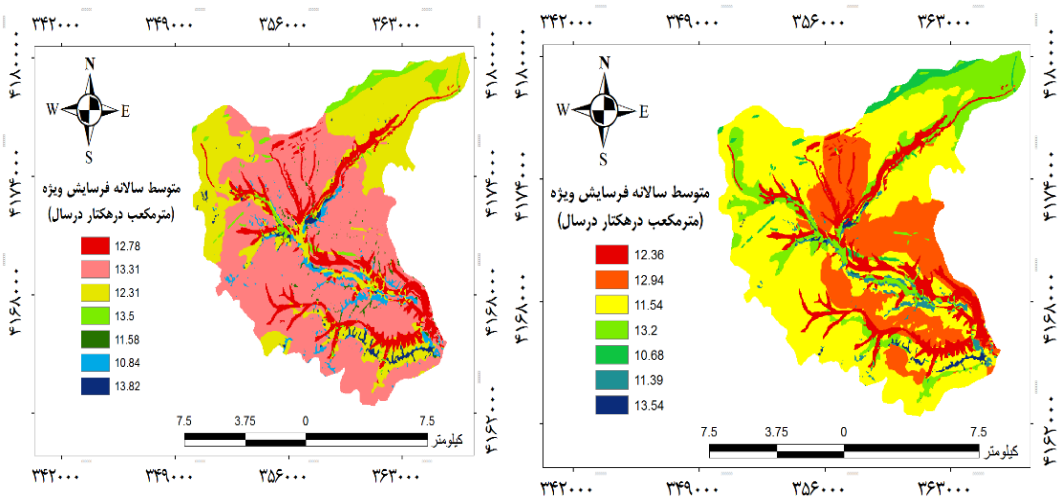
جدول ٦- ضریب شدت فرسایش زیر حوضه‌های آبخیز کال‌آجی

زیر حوضه‌های آبخیز	Z-۱۳٦٦	Z-۱۳۸۹	Z-۱۳۹۸	شدت فرسایش
۱	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۹۵	شدید
۲	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۸	شدید
۳	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۹۲	شدید
٤	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۹	شدید
٥	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷٦	شدید
٦	۰/۷٤	۰/۷٥	۰/۸۱	شدید
۷	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸٦	شدید
میانگین	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۷	

بر اساس جدول شماره ٦ می‌توان نتیجه گرفت مقدار ضریب شدت فرسایش حوضه در فاصله زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ در مجموع در همه زیرحوضه‌ها افزایشی بود و در ضمن در زیرحوضه شماره ۳ مقدار آن حداقل (۰/۱) و در زیرحوضه شماره ٤ مقدار آن حداکثر (۰/۸) است.

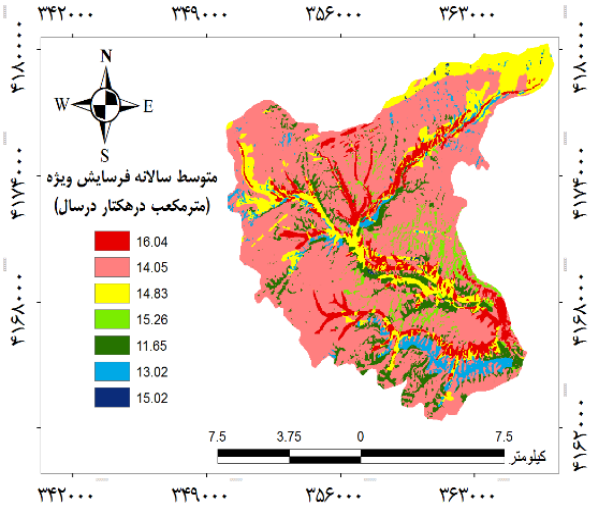
۳-۷- برآورد فرسایش ویژه در هر یک از زیر حوضه‌ها

در ادامه نتایج محاسبات برآورد مقادیر فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌ها در اشکال ۱٦، ۱۷ و ۱۸ همچنین در جدول ۷ و ۸ و شکل ۱۹ درصد فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی ارائه گردیده است. با توجه به جداول ۸ و ۹ فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع در همه زیرحوضه‌ها در فاصله زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کماکان افزایشی بوده منتها در زیرحوضه شماره ٥ مقدار آن حداقل (۹٦/٥۱) و در زیرحوضه شماره ۳ (۳۲۸/۹۸) مقدار آن حداکثر است. همچنین، نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد مقدار فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که زیر حوضه شماره ٥ و ٤ در هر سه دوره نسبت به سایر حوضه‌های دیگر مقدار فرسایش بیشتری را به خود اختصاص داده است و زیرحوضه ٥ و زیرحوضه شماره ٦ در بازه زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کمترین مقدار فرسایش را به خود اختصاص است.



شکل ۱۶- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۶۶

شکل ۱۷- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۸۹



شکل ۱۸- نقشه فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۹۸

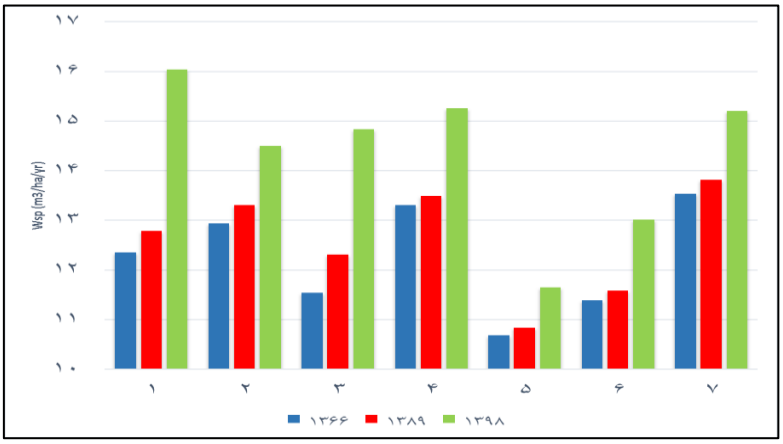
جدول ۷- درصد فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌ها در بین بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp (m^3/ha/yr)		
	۱۳۶۶	۱۳۸۹	۱۳۹۸
۱	۱۲/۳۶	۱۲/۳۶	۱۲/۷۸
۲	۱۲/۹٤	۱۲/۹٤	۱۳/۳۱
۳	۱۱/٥٤	۱۱/٥٤	۱۲/۳۱

زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp (m³/ha/yr)		
	۱۳٦٦	۱۳۸۹	۱۳۹۸
٤	۱۳/۳۰	۱۳/۳۰	۱۳/۵۰
٥	۱۰/٦۸	۱۰/٦۸	۱۰/۸٤
٦	۱۱/۳۹	۱۱/۳۹	۱۱/۵۸
۷	۱۳/٥٤	۱۳/٥٤	۱۳/۸۲
میانگین	۱۲/۳٦	۱۲/٤۲	۱۲/٥۹

جدول ۸- فرسایش ویژه هر یک از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز کال آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

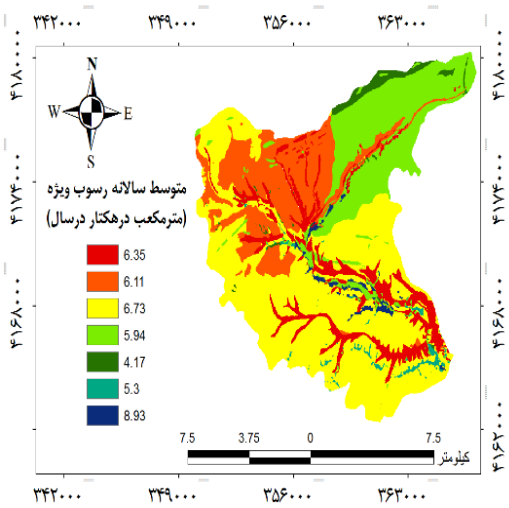
زیر حوضه‌های آبخیز	Wsp-۱۳٦٦ (M³/Km²/Year)	Wsp-۱۳۸۹ (M³/Km²/Year)	Wsp-۱۳۹۸ (M³/Km²/Year)
۱	۱۲۳٥/۹۰	۱۲۷۸/۲۷	۱٦۰۳/۸۰
۲	۱۲۹۳/۷۳	۱۳۳۰/٦۹	۱٤٤۹/٦٤
۳	۱۱٥٤/٤٤	۱۲۳۱/۰٦	۱٤۸۳/٤۲
٤	۱۳۳۰/۳٥	۱۳٤۹/۷٤	۱٥۲٥/۸٦
٥	۱۰٦۸/۰۹	۱۰۸۳/٦۸	۱۱٦٤/٦۰
٦	۱۱۳۸/۹۲	۱۱٥۷/۹٤	۱۳۰۱/۷۰
۷	۱۳٥٤/۰۰	۱۳۸۲/۱۷	۱٥۲۰/۲۳
جمع	۸٥۷٥/٤٤	۸۸۱۳/٥٥	۱۰۰٤۹/۲٥
میانگین	۱۲۲٥/۰٦	۱۲٥۹/۰۸	۱٤۳٥/٦۱



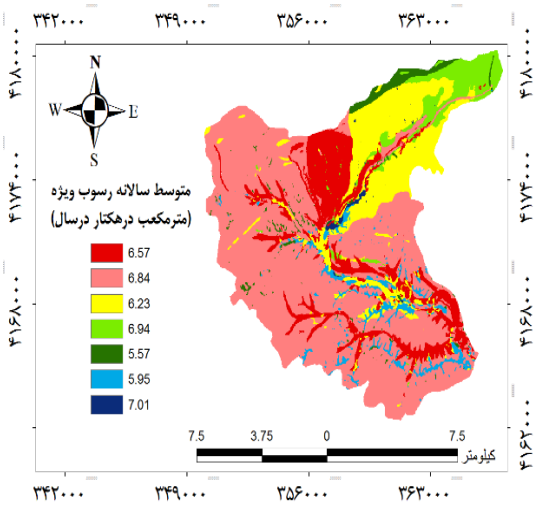
شکل ۱۹- نمودار درصد فرسایش ویژه هر یک از زیرحوضه‌های کال آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

۳-۸- برآورد رسوب ویژه در هر یک از زیرحوضه‌ها

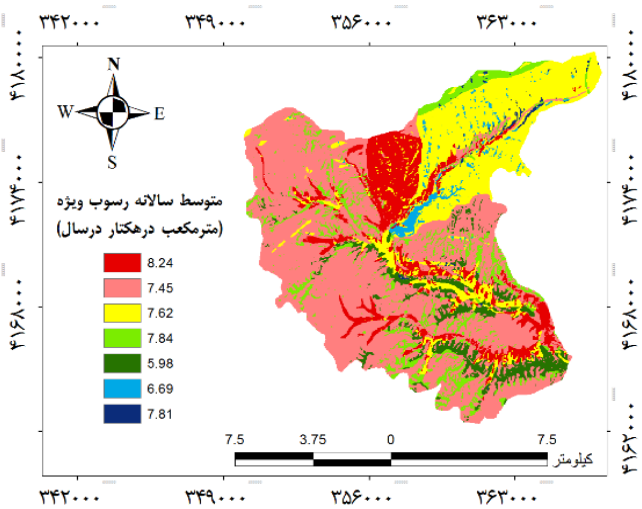
با توجه به مقادیر متوسط ضریب شدت فرسایش (Z) در هر یک از واحدهای کاری حوضه آبخیز کال‌آجی، رسوب ویژه مربوط به هر زیرحوضه با استفاده از روش میانگین وزنی محاسبه گردید. در ادامه نتایج محاسبات برآورد مقادیر رسوب هر یک از زیر حوضه‌ها در اشکال ۲۰، ۲۱ و ۲۲ همچنین در جدول ۹ و ۱۰ و شکل ۲۳ درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۱۰ رسوب ویژه برحسب مترمکعب در سال در کیلومترمربع در همه زیرحوضه‌ها به‌جز زیر حوضه شماره ۷ در فاصله زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کماکان افزایشی بوده است. همچنین، نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد مقدار رسوب هر یک از زیرحوضه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است. به‌طوری‌که زیرحوضه شماره ۷ و ۱ در هر سه دوره نسبت به سایر زیرحوضه‌های دیگر مقدار رسوب بیشتری را تولید کرده است و زیرحوضه ۵ و زیرحوضه شماره ٦ در بازه زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ کمترین مقدار رسوب را تولید کرده است.



شکل ۲۰- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳٦٦



شکل ۲۱- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در سال ۱۳۸۹



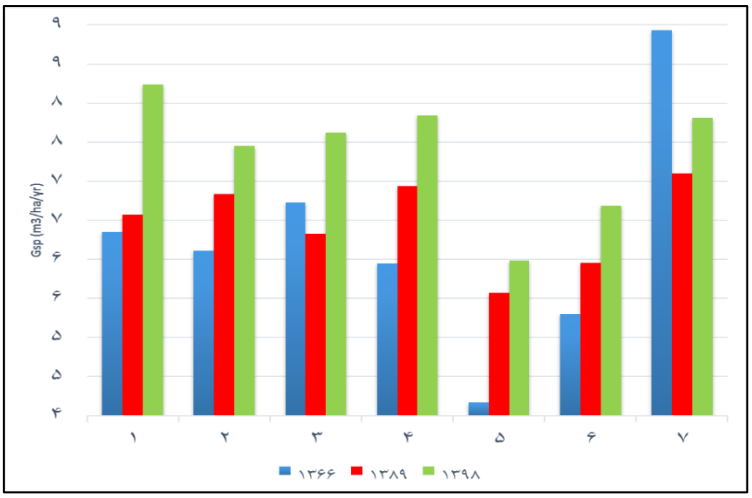
شکل ۲۲- نقشه رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در سال ۱۳۹۸

جدول ۹- رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Gsp-۱۳٦٦ ($M^3/Km^2/Year$)	Gsp-۱۳۸۹ ($M^3/Km^2/Year$)	Gsp-۱۳۹۸ ($M^3/Km^2/Year$)
۱	٦۳۵/۰۹	٦٥٦/۸٦	۸۲٤/۱٤
۲	٦۱۱/۰۰	٦۸۳/۸۰	۷٤٤/۹۲
۳	٦۷۲/۹۸	٦۳۲/٦۰	۷٦۲/۲۸
٤	٥۹٤/۳٦	٦۹۳/٥۹	۷۸٤/۰۹
٥	٤۱٦/۷۲	٥٥٦/۸۷	٥۹۸/٤٥
٦	٥۲۹/۹۹	٥۹٥/۰۲	٦٦۸/۹۰
۷	۸۹۲/۹۸	۷۱۰/۲٥	۷۸۱/۱۹
جمع	٤۳٥۳/۱۲	٤٥۲۹/۰۰	٥۱٦۳/۹۷

جدول ۱۰- درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌ها در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

زیر حوضه‌های آبخیز	Gsp ($m^3/ha/yr$)		
	۱۳٦٦	۱۳۸۹	۱۳۹۸
۱	٦/۳٥	٦/٥۷	۸/۲٤
۲	٦/۱۱	٦/۸٤	۷/٤٥
۳	٦/۷۳	٦/۳۳	۷/٦۲
٤	٥/۹٤	٦/۹٤	۷/۸٤
٥	٤/۱۷	٥/٥۷	٥/۹۸
٦	٥/۳۰	٥/۹٥	٦/٦۹
۷	۸/۹۳	۷/۱۰	۷/۸۱



شکل ۲۳- نمودار درصد رسوب ویژه هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کال‌آجی در بین بازه زمانی ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مجموع مقادیر رسوب ویژه مربوط به بازه زمانی ۱۳٦٦ (مترمکعب ٤۳۵۳/۱۲) بوده که این میزان در سال ۱۳۹۸ به ۵۱٦٤/۰۰ مترمکعب افزایش داشته است که با تغییرات افزایشی یا کاهشی تغییرات کاربری اراضی رخ داده، در منطقه همخوانی دارد. چنانچه مشاهده شد که سطح اراضی کشاورزی در فاصله زمانی بین ۱۳٦٦ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱٦/۸۳ درصد افزایش داشته است.

با توجه به جدول۱۰ و با در نظر گرفتن وزن مخصوص رسوب معادل ۱/۳ تن در مترمکعب در کل حوضه به ترتیب برای سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ آورده شده است که مقدار رسوب برای بازه زمانی ۱۳٦٦ معادل ۵۷۰۲/٦۲ تن در سال، برای بازه زمانی ۱۳۸۹ معادل ۵۸۸۷/۷۲ تن در سال و برای بازه زمانی ۱۳۹۸ معادل٦۷۱۳/۲۰ تن در سال است، که با تقسیم بر مساحت حوضه مقداری برابر ۰/۳۳ تن در هکتار در سال ۱۳٦٦، ۰/۳٤ تن در هکتار برای سال ۱۳۸۹ و ۰/۳۹ تن در هکتار برای سال ۱۳۹۸ برآورد گردید.

٤- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در ۳۲ سال گذشته و اثرات آن روی فرسایش و رسوب صورت گرفته است. نتایج طبقه‌بندی تصاویر در این بررسی همانند دیگر تحقیقات صورت گرفته، بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین است. استفاده از تصاویر چند زمانه با بازه‌های زمانی معین، می‌تواند به مدیران در پایش منابع طبیعی و تصمیم‌گیری درباره آینده کمک کند. نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از حوضه موردبررسی نشان می‌دهد که درصد مساحت کشاورزی، مرتع،

مسکونی و پهنه‌های آبی در سال ۱۳٦٦ به ترتیب ٤/۱۹، ۹۵/۰٤، ۰/۷۷ و ۰ بوده که در سال ۱۳۸۹ به ترتیب به ۷/۲۱، ۹۱/۹٤، ۰/۷۷ و ۰/۰۸ رسیده و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۲۱/۰۲، ۷۸/۱۲، ۰/۷۸ و ۰/۰۸ رسیده است؛ به‌عبارت‌دیگر در ۳۲ سال گذشته (۱۳٦٦–۱۳۹۸) حدود ۲۸۷٦ هکتار از سطح مراتع کاسته شده که تقریباً تمام آن به کشاورزی تبدیل شده است. درصد کاهش مساحت مرتع در دوره زمانی ۱۳٦٦–۱۳۸۹ و ۱۳۸۹–۱۳۹۸ به ترتیب ۳/۱۰ و ۱۳/۸۲ است. سرعت رشد مسکونی در حوضه موردمطالعه بسیار کم است. بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال‌های مختلف در حوضه نشان داد که تغییرات صورت گرفته عموماً به‌صورت کاهش سطح مرتع و افزایش مساحت اراضی کشاورزی است. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عامل اصلی تغییرات کاربری اراضی در حوضه موردمطالعه، دخالت‌های انسانی است. می‌توان گفت نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه افرادی چون اسفندیاری و همکاران (۲۰۱٤)، مرادی و همکاران (۲۰۱٦)، فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۷)، مارتینز و همکاران (۲۰۱۱) و داسیلوا و همکاران (۲۰۱٦) تطابق دارد. بدین‌صورت که آن‌ها نیز معتقدند کاربری کشاورزی از بیشترین پتانسیل و مراتع از کمترین پتانسیل برای ایجاد فرسایش برخوردارند. نتایج نشان داد که ضریب شدت فرسایش در سال‌های ۱۳٦٦، ۱۳۸۹ و ۱۳۸٦ به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۰ و ۰/۸۷ است. مشاهده می‌شود که روند تغییرات ضریب شدت فرسایش افزایشی است. در ضمن، میزان فرسایش ویژه حوضه در این سال‌ها به ترتیب ۱۲۲۵/۰٦، ۱۲۵۹/۰۸ و ۱٤۳۵/٦۱ مترمکعب در کیلومترمربع در سال است؛ یعنی سال ۱۳۹۸ متناظر با ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه بیشتری داشته است. کشت‌وکار روی سازندهای سیلتی–رسی حساس به فرسایش آبی، احداث تاکستان‌های دیم روی دامنه‌های شیب‌دار و تخریب مراتع منجر به فرسایش تشدیدی در خاک‌های سطح حوضه شده است. این تغییرات نقش مهم مراتع و پوشش گیاهی حوضه آبخیز کال‌آجی را نشان می‌دهد که موجب افزایش میزان رسوب خروجی زیر حوضه‌ها گردیده است.

به نظر می‌رسد لازم است در جهت حفظ عرصه‌های طبیعی، تثبیت و قانونی کردن کاربری اراضی و کنترل فرسایش، اقداماتی برای حفاظت از خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایش بالا در چهارچوب طرح‌های حفاظتی در دستور کار متخصصان و مدیران اراضی قرار گیرد. از سوی دیگر، هرگونه تغییر در کاربری اراضی حوضه موردمطالعه، بایستی بر اساس آگاهی و دانش کافی از محدودیت‌های زیست‌محیطی منطقه و خطرات احتمالی ناشی از تغییر کاربری اراضی باشد.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ ۱۳۸٦. *ژئومورفولوژی کاربردی* جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران. ٦۸۸ص.

اسفندیاری، مهرداد؛ معینی، ابوالفضل؛ مقدسی، راحله؛ ۱۳۹۳. بررسی تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر اشکال فرسایش و میزان تولید رسوب (مطالعه موردی حوزه آبخیز رود ورس استان قزوین). *مجله جغرافیای سرزمین*، ۱۱ (۲)، ۵۱-٦۲.

https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_7974_931e5dd1c2fe799361af66c7f9057b3a.pdf

اصغری‌سراسکانرود، صیاد؛ آقایاری، لیلا؛ پیروزی، الناز؛ ۱۳۹٦. بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: شهرستان نیر). *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۸(٤)، ٤۹-٦۲.

https://journals.iau.ir/article_539088_e6b20b13c35e7d599fb4903c04889227.pdf

بیات، رضا؛ سررشته‌داری، امیر؛ جعفری‌اردکانی، علی؛ سکوتی‌اسکویی، رضا؛ ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تأثیر مدیریت کاربری اراضی بر فرسایش خاک حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ٤(۳)، ۱۲٦-۱۱۸.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_101747_0478a26d93d1e69b070962d76161e3ad.pdf

تاجیکی، مهدی؛ ۱۳۸٦. *ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری بر روی سیل‌خیزی و رسوبدهی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رامیان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

خاکسار، کاوه؛ گودرزی، مسعود؛ غریب‌رضا، محمد رضا؛ رحمتی، مراحم؛ ۱۳۸۵. تعیین حساسیت سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز مهارلو به فرسایش. *فصلنامه علوم زمین*، ٦۲، ۱۲۹-۱۱٦.

https://www.sid.ir/paper/31920/fa

دادرسی سبزوار، ابوالقاسم؛ رنگ‌آور، عبدالصالح؛ ۱۳۸٤. بررسی اثر تغییرات عمق خاک و شیب بر میزان تولید رسوب، *مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب*، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

https://civilica.com/doc/8325

رفاهی، حسینقلی؛ ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.٦۷۲ص.

علوی پناه، سیدکاظم؛ احسانی، امیرهوشنگ؛ ۱۳۸۲. بررسی بیابانزایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چند طیفی. *مجله بیابان*، ۹(۱)، ۱٤۳-۱٥٤.

https://www.sid.ir/paper/5320/fa

عابدینی، موسی؛ شبرنگ، شنو؛ اباذر، اسمعلی؛ ۱۳۹۲. بررسی میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مشکین‌چای به روش EPM، *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۳۰)، ۱۰۰-۸۷.

https://gdij.usb.ac.ir/article_245_2765332d8717e2e654a4562074d00f1d.pdf

فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹٦. مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳ (۱۱)، ۲۱-۳۸.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6712_863dc2dac02f02a7b0225f6656988e3d.pdf

قهرمان‌نژاد، اسلام؛ نظرنژاد، حبیب؛ میریعقوب‌زاده، میرحسن؛ ۱۳۹٦. تأثیرسناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه کلیبرچای. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک* (علمی - پژوهشی)، ۷ (۲)، ۹۱-۱۰٤.

https://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_11548_fbb577c5d2c4a9acfce07613bcb0189f.pdf

قنبرزاده، هادی؛ غلامرضایی، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب با مدل EPM در حوضه آبخیز آرکمر در فریمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله علوم جغرافیایی*، شماره ۷(۸)، ۱۸۷-۲۰٦.

https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-161-fa.pdf

مرادی، علیرضا؛ جعفری، محمد؛ ارزانی، حسین؛ ابراهیمی، مهدیه؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۷(۱)، ۱۰۰-۸۹.

https://girs.bushehr.iau.ir/article_521998_022633f2b5e8579d69d594091d629719.pdf

نبی‌پی لشکریان، سارا؛ ۱۳۷۹. *بررسی اثرات کاربری اراضی در فرسایش خاک و رسوبدهی حوضه آبخیز رودخانه ماسوله در گیلان*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان https://www.virascience.com/thesis/4940

یمانی، مجتبی؛ اسکندری‌نژاد، فاطمه؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل ژئومورفولوژیک بر رسوب‌زایی حوضه قزقنچای (زیرحوضه حبله‌رود در بالا دست سد نم‌رود). *مجله پژوهش‌های علوم زمین* ۱، ۱۷-۱.

https://rtis2.ut.ac.ir/cv/myamani/

Adélia N, Nunes ACA. and Celeste C., 2011. Impact of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. Applied Geography, 31(2): 687–699. DOI: 10.1016/j.apgeog.2010.12.006. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.12.006

Battany MC. and Grismer ME., 2000. Rainfall runoff and ero-sion in Napa Valley vineyards effect of slope cover and surface roughness, Hydrological process. Vol. 14, PP: 1289-1304. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200005)14:7<1289::AID-HYP43>3.0.CO;2-R

Bolstad, P. V, and Lillesand, T. M, (1991). Rapid maximum likelihood classification Photogramm. Eng. Remote Sens. 57.
https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1991journal/jan/1991_jan_67-74.pdf

Chavez PS., 1996. Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62, 1025– 1036. http:// static1.1.sqspcdn.com/ static/f/891472/15133582/1321370214637/Chavez_P.S._1996.pdf

Da Silva VPR, Silva MT. and De Souza, EP., 2016. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the Sao francisco river basin, Soil Engineering, 36 (6), 1005-1015. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1005-1015/2016

Dai FC. and Lee C.F., 2002. Landslide characteristics and slope stability Modeling using GIS, Lantau, Island, Hong Kong, Geomorphology, 31, 181-216.http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3

Du Y, Teillet PM. and Cihlar J., 2002. Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment 82: 123–134.https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9

Ghosh K, Kumar DS, Sushima S. and Bandyopadhyay S., 2013. Assessment of soil loss of the Dhalai River Basin, Tripura, India using RUSLE. International Journal of Geosciences., 4: 11-23. https://www.scirp.org/pdf/IJG_2013011115152357.pdf

Martínez-Murillo MJF, Lopez Vicente M, Poesen J. and Ruiz Sinoga JD., 2011. Modelling the effects of land use changes on runoff and soil Eerosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain), Landform Analysis, 17(1), 99-104. https:// idp.kuleuven.be/ idp/ profile/ SAML2/ Redirect/ SSO? execution=e2s1

Milevski I., 2008. Estimation of soil erosion risk in a upper part of Bregalnica watershed- republic of Macedonia, based on digital elevation model and satellite imagery, 5th international Conference on Geographic Infromation systems (ICGIS), 351-358. http:// www.milevski.50webs.com/trudovi/Ivica%20Milevski%20Estimation%20of%20soil%20erosion%20risk%20in%20the%20upper%20part%20of%20Bregalnica%20watershed.pdf

Paroissien JB, Darboux F, Couturier A, Devillers B, Mouillot F, Raclot D. and Le Bissonnais Y., 2015. A Method for modeling the effects of Climate and Land Use Changes on Erosion and Sustainability of Soil in a Mediterranean Watershed (Languedoc, France). Journal of Environmental Management. 150:57-68 https://shs.hal.science/halshs-01103359/document

Shellberg JG, Spencer J, Brooks AP. and Pietsch TJ., 2016. Degradation of the Mitchell River Fluvial Megafan by Alluvial Gully Erosion Increased by Post-European Land Use Change, Queensland, Australia. Geomorphology, 266: 105–120. https:// doi.org/ 10.1016/ j. geomorph. 2016. 04.021

Tangestani M., 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield in a semi-arid Environment, Journal of Asian earth Science, 27(5), 585-597. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.06.002

Ye B. and Bai Z., 2008. Simulating land use/land cover changes of Nanjing County based on Ca-markov model. In IFIP International Federation for Image processing, Vol, 1, 321-329.https://dl.ifip.org/db/conf/ifip12/ccta2007-1/YeB07.pdf

Yuan Z, Chu Y. and Shen Y., 2015. Simulation of surface runoff and sediment yield under different land-use in a Taihang Mountains watershed, North China. Soil & Tillage Research. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198715000872.

Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.303-325 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.73958.1138 Open access

Analysis of Moral Norms in Theory of Planned Behavior to Predict the Behavior of Rural Households in the Protection of Zagros Forests

Hamed Izadi [a*], Ameneh Savari Mombeni [b], Moslem Savari [c]

[a] *PhD Candidate, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Khuzestan Agriculture Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran*

[b] *PhD, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Khuzestan Agriculture Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran*

[c] *Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Khuzestan Agriculture Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran.*

Received: 1 December 2021 ***Revised: 7 February 2022*** ***Accepted: 11 March 2022***

Abstract

The main purpose of this applied research was to analyze the norms in the theory of planned behavior to predict the behavior of rural households in the protection of Zagros forests. The data required for the research was collected by survey method and a questionnaire. The collected data were analyzed by SPSS and Amos, using structural equation modeling approach. The statistical population of this study consisted of rural households in four villages of Dowreh Chegeni (N=2020) that based on Krejcie and Morgan table, a sample of 300 households was selected. The sample was studied using stratified sampling method with proportional assignment. Findings showed that the behavior variable has a positive and significant relationship with the attitude, subjective norm, perceived behavior control, moral norm, and intention variables. The results of structural equations of path analysis showed that the variables of moral norm, intention, and behavior control perceived have a positive, direct and significant effect and the variables of moral norm, attitude and behavioral control have an indirect and significant effect on behavior variable. Finally, the theory of planned behavior mediated by the moral norm variable can predict respectively 52% and 38% of the changes in the variables of intention and behavior of rural households towards forest protection. The results showed that the constructs of the theory of planned behavior such as attitudes, moral norms and perceived behavioral control are good predictors of Zagros forest protection behaviors in the studied area. ThTheese findings may be useful to executives, because instead of trying to change behavior, they can focus first on conceptual and persuasive changes, such as changing attitudes toward forest protection

Keywords: Zagros Forests, Dowreh Chegeni County, Rural Households, Moral Norm

[*]. Corresponding author: Hamed Izadi E-mail: hamedizadi541@yahoo.com Tel: + 989396395460

How to cite this Article: Izadi, H., Savari Mombeni, A., & Savari, M. (2023). Analysis of moral norms in the theory of planned behavior to predict the behavior of rural households in the protection of Zagros Forests. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 302-325.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.73958.1138

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73958.1138

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۳۲۵-۳۰۳

مقاله پژوهشی

تحلیل هنجارهای اخلاقی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده برای پیش‌بینی رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌های زاگرس (موردمطالعه: شهرستان دوره چگنی استان لرستان)

حامد ایزدی[1]- دانشجوی دکتری ترویج و آموزش کشاورزی و توسعه روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، اهواز، ایران.
آمنه سواری ممبنی- دکتری ترویج و آموزش کشاورزی و توسعه روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، اهواز، ایران.
مسلم سواری- استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

چکیده

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از منابع ثروت ملی برای نسل‌های کنونی و آینده در کشور، از اهمیت خاصی برخوردارند. شواهد حاکی از آن است که امروزه، جنگل‌ها توسط گسترش کشاورزی و سایر کاربری‌های زمین تهدید می‌شوند بنابراین حفاظت از آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. هدف این تحقیق بررسی سازه‌های پیش‌بینی‌کننده رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌های زاگرس با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده به‌واسطهٔ هنجار اخلاقی است. این پژوهش ازلحاظ هدف کاربردی و ازنظر نحوهٔ جمع‌آوری داده‌ها توصیفی- پیمایشی بوده است. داده‌های گردآوری شده به‌وسیله نرم‌افزارهای SPSS و Amos و با رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. جامعه آماری این پژوهش را خانوارهای روستایی در چهار دهستان دوره چگنی (N=۱۳۹۹) تشکیل دادند که بر اساس جدول کرجسی و مورگان حجم نمونه ۳۰۰ خانوار انتخاب شد. افراد نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۹۶۳۹۵۴۶۰ Email: hamedizadi541@yahoo.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

ایزدی، حامد؛ سواری ممبنی، آمنه؛ سواری، مسلم؛ ۱۴۰۲. تحلیل هنجارهای اخلاقی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده برای پیش‌بینی رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌های زاگرس (مورد مطالعه: شهرستان دوره چگنی استان لرستان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۳۲۵-۳۰۳

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73958.1138

طبقه‌ای با انتساب متناسب موردمطالعه قرار گرفتند. ابزار جمع‌آوری اطلاعات، پرسشنامه محقق ساخته بوده که روایی صوری و محتوایی آن توسط جمعی از استادان و صاحب‌نظران تأیید گردید. افزون بر این، برای تعیین میزان پایایی، از پیش‌آزمون با محاسبه ضریب آلفا کرونباخ استفاده و تائید شد. یافته‌ها نشان داد متغیر رفتار با متغیرهای نگرش، هنجار ذهنی، کنترل رفتاری درک شـــده، هنجار اخلاقی و نیت رابطه مثبت و معنی‌داری دارد. نتایج به دســت آمده از مدل معادله‌های ســاختاری تحلیل مســیر نیز نشــان داد، متغیرهای هنجار اخلاقی، نیت و کنترل رفتاری درک شـده تأثیر مثبت، مستقیم و معنی‌دار و متغیرهای هنجار اخلاقی، نگرش و کنترل رفتاری درک شـده دارای تأثیر غیرمسـتقیم و معنی‌داری بر متغیر رفتار می‌باشـند. درنهایت نظریهٔ رفتار برنامه‌ریزی شـده با واسـطه متغیر هنجار اخلاقی می‌تواند به ترتیب ۵۲ و ۳۸ درصـد از تغییرات متغیرهای نیت و رفتار خانوارهای روستایی را نسبت به حفاظت از جنگل‌ها پیش‌بینی کند.

کلیدواژه‌ها: جنگل‌های زاگرس، شهرستان دوره چگنی، خانوارهای روستایی، هنجار اخلاقی

۱- مقدمه

سـرعت جهانی انقراض گونه‌ها و تأثیرات اجتناب‌ناپذیر انسـان بر تنوع زیسـتی، نیاز به حفظ، بازسـازی و اسـتفاده پایدار از اکوسیستم‌ها را افزایش داده است (اوتل و لاپین[1]، ۲۰۲۱). منابع مستقر در زمین و به‌ویژه جنگل‌های طبیعی به دلیل رشـد اقتصـادی و جمعیت و همچنین تغییرات مرتبط در مصـرف، در سـطح جهان تحت‌فشـار فزاینده‌ای قرار دارند (عبدالکریم[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ اسـچولز[3] و همکاران، ۲۰۱۸). منابع طبیعی هر جامعه، ثروت آن جامعه می‌باشـند ازاین‌رو جنگل‌ها به‌عنوان یکی از منابع ثروت ملی در کشـــور ما از اهمیت خاصـــی برخوردارند (ملک میرزایی و کریمیان، ۱۳۹۹). جنگل‌ها نقش اســـاســـی در حفظ منابع طبیعی دارند، آن‌ها از منابع آب، خاک محافظت می‌کنند و آب‌وهوا را تنظیم می‌کنند درنتیجه ســـدی در برابر بیلبان‌زایی هســـتند (احمد[4] و همکاران، ۲۰۲۰). جنگل‌ها خدمات اکوســـیســـتمی متعددی را ارائه می‌دهند و بخش بزرگی از تنوع زیســـتی زمین را در برمی‌گیرند (کوک[5] و همکاران، ۲۰۱۷). تنوع گیاهی ســـازندهای جنگلی نشـــان‌دهنده طیف وســـیعی از مزایا و خدمات به جامعه اســـت (احمد و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین نقش جنگل‌ها در حصـول اطمینان از دسـترسـی به آب از اهمیت بالایی برخوردار اسـت زیرا جنگل‌ها بالاترین کیفیت آب را در بین هر اکوسیستمی تولید می‌کنند که برای نیازهای اکولوژیکی و بقای انسـان بســیار مهم اســت (ایمپید و امنج[6]، ۲۰۲۱). جنگل‌ها منبع غذا، ســوخت، فیبر و درآمد برای میلیون‌ها نفر از مردم در

1 Oettel and Lapin
2 Abdulkarim
3 Scholes
4 Ahmed
5 Kok
6 Empidi and Emang

سراسر جهان هستند؛ بنابراین منشأ بسیاری از خدمات زیست‌محیطی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی در راستای اشتغال، درآمد و زندگی بسیاری از مردم جهان است (نوتون[1]، ۲۰۱۶). جنگل همچنین ممکن است ارزش‌های دیگری (یا خدمات اکوسیستمی) مانند ذخیره‌سازی کربن و حفاظت از تنوع زیستی و همچنین ارزش‌هایی برای تنوع کاربری‌های فرهنگی و تفریحی ایجاد کند (بورجنسان و آنگو[2]، ۲۰۲۱)؛ بنابراین جنگل‌های جهان کمک‌های ارزشمندی به مردم می‌کنند، اما همچنان توسط گسترش کشاورزی و سایر کاربری‌های زمین تهدید می‌شوند (کارتر[3] و همکاران، ۲۰۱۷؛ برونر[4] و همکاران، ۲۰۲۰). تغییر کاربری اراضی ناشی از جنگل‌زدایی است و ۲۷ درصد از بین رفتن جنگل‌های جهانی را نسبت می‌دهد (کارتیس[5] و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین عوامل مختلفی مانند بهره‌برداری‌های بی‌رویه، چرای دام، آتش‌سوزی و برداشت چوب، ثبات و پایداری این بوم‌سازگان‌ها را تهدید می‌کند و به همین دلیل روزبه‌روز از تعداد و کیفیت گونه‌های گیاهی و جانوری جنگل‌ها کاسته می‌شود (کولیبالی[6] و همکاران، ۲۰۱۱؛ ایمپید و امنج، ۲۰۲۱). علاوه بر این روستاهایی که در داخل جنگل یا با فاصلهٔ نزدیکی از آن قرار گرفته‌اند، ازنظر امکانات رفاهی، خدماتی، بهداشتی و آموزشی از سطح پایینی از دسترسی برخوردارند و ساکنان آن‌ها برای امرار معاش و تأمین برخی نیازها از جنگل استفاده می‌کنند. همین موضوع سبب شده است که این افراد آگاهانه یا ناآگاهانه، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم جنگل‌ها را تخریب کنند (جانا[7] و همکاران، ۲۰۱٤)؛ بنابراین به دلایل واضح، اختلالات ناشی از فعالیت‌های انسان اغلب در مرکز تجزیه‌وتحلیل تخریب جنگل‌ها قرار دارند، حتی اگر رویدادهایی مانند آتش‌سوزی یا طوفان‌ها به‌طور طبیعی رخ دهند (بورجنسان و آنگو، ۲۰۲۱).

بر اساس رده‌بندی اتحادیه جهانی حفاظت از منابع طبیعی کشور ایران به لحاظ دارا بودن سطح جنگل در بین ٦٦ کشور رتبه ٥٦ را دارد که نشان می‌دهد به لحاظ منابع جنگلی به‌عنوان کشوری با پوشش کم جنگلی و سطح کمتر از ۱۳ درصد مساحت کشور محسوب می‌گردد و ازنظر سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد هر کشوری که کمتر از ٥٦ درصد خاک آن جنگل باشد ازنظر زیست‌محیطی وضعیت بحرانی در آن کشور حاکم است (ارمغان، ۱۳۹۷). واقعیت‌های موجود بیانگر این مسئله هستند که منابع طبیعی کشور در حال تخریب است و با شیوه‌های کنونی بهره‌برداری، این روند ادامه خواهد داشت (رودگرمی و همکاران،۱۳۹۰). نکته قائل توجه ادامه فشارهای وارده بر جنگل‌ها و مراتع است که روند از بین رفتن گونه‌های گیاهی را تشدید نموده و آینده‌ای نه‌چندان مناسب رقم خواهد زد (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹٤). به دلیل نگرانی از پیامدهای تخریب محیط‌زیست، برنامه‌های حفاظتی و همچنین

7 Newton
8 Börjeson and Ango
9 Carter
10 Börner
11 Curtis
12 Coulibaly
1 jana

سیاست‌های کشاورزی به‌تدریج به سمت اهداف اجتماعی گسترده‌تر، عمدتاً به سمت حفظ منافع زیست‌محیطی از طریق مدیریت پلیدار تغییر یافته است (گیلام و بارنز[1]، ۲۰۱۳). در طول چند دهه گذشته، مدیریت عملکردهای اکوسیستم جنگلی از طریق سیاست‌هایی مانند "فرماندهی و کنترل" موفقیت‌آمیز نبوده است، عمدتاً به این دلیل که سیاست‌ها و قوانین موجود برای مدیریت منابع طبیعی ناکافی بوده و اغلب بدون مشورت با جوامع محلی مانند کشاورزان تدوین شده است (عبدالکریم و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین اقدامات مختلف حفاظتی و بازسازی (طرح‌های ملی احیای جنگل... و غیره) توسط مقامات ذی‌صلاح بدون دستیابی به نتایج مطلوب انجام شده است (مدجاهدی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). جنگل‌ها مناظری هستند که در دوره‌های طولانی به‌طور هدفمند توسط انسان مدیریت شده‌اند (باله [3] و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از واقعیت‌های آشکار این است که اقدامات انسان در درجه اول به‌عنوان آغازگر شناخته می‌شوند و انسان‌ها نیز دریافت کننده تأثیرات آن‌ها هستند. با توجه به طبیعت دوگانه عوامل انسانی، ادغام دیدگاه انسان در اقدامات حفاظتی از جنگل‌ها مهم و بسیار حائز اهمیت است (ایمپید و امنج، ۲۰۲۱)؛ بنابراین از بین رفتن جنگل‌های جهان، نیازمند تغییری جامع و جمعی در جهت رفتار پایداری است (اسچندرهان اوپل و بوگنر[4]، ۲۰۲۱)؛ بنابراین هدف این تحقیق بررسی سازه‌های پیش‌بینی‌کننده رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌های زاگرس با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده به‌واسطهٔ هنجار اخلاقی است.

دهه‌هاست که محققان در جستجوی متغیرهایی هستند که بر رفتار تأثیر می‌گذارند و متغیرهایی را که بیشترین تأثیر را بر رفتار دارند، شناسایی می‌کنند (استریدوم[5]، ۲۰۱۸). نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده بینش بیشتری در مورد پیش‌بینی

رفتار کشاورزان نسبت به سایر متغیرهای اجتماعی–اقتصادی ارائه می‌دهد (لام[6]، ۲۰۰۶؛ گریواس[7] و همکاران، ۲۰۱۳؛ عبدالکریم و همکاران، ۲۰۱۷) و یکی از محبوب‌ترین مدل‌های روان‌شناختی اجتماعی برای درک و پیش‌بینی رفتار انسان است (آجزن[8]، ۲۰۱۵؛ سورانی و احمدوند[9]، ۲۰۱۹). نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده یک نظریه اجتماعی–روان‌شناختی است که بیان می‌کند رفتار واقعی را می‌توان با نیت یا همان قصد رفتاری بهتر پیش‌بینی کرد (پوپا[10] و همکاران، ۲۰۱۹). متغیر نیت پیش‌بینی کننده بسیار خوبی برای رفتارهای واقعی زیست‌محیطی است (ایمپید و امنج،

2 Guillem and Barnes
3 Medjahdi
4 Balée
5 Schneiderhan-Opel and Bogner
5 Strydom
6 Lam
7 Greaves
8 Ajzen
9 Soorani & Ahmadvand
10 Popa

۲۰۲۱؛ هولت[1] و همکاران، ۲۰۲۱) و در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده، نیت رفتاری، بهترین تعیین کننده مستقیم رفتار واقعی (ایمپید و امنج، ۲۰۲۱) و نزدیک‌ترین پیش‌بینی کننده رفتار است (سانچز[2] و همکاران، ۲۰۱۸). نیت رفتاری یعنی تصمیم و خواست فرد برای انجام رفتاری خاص (گلنز و بیشوپ[3] ۲۰۱۰)؛ به‌عبارت‌دیگر نیت انعکاسی از سطح انگیزش، آمادگی و ارادهٔ فرد برای اتخاذ رفتار است؛ ازاین‌رو وضعیت نیت رفتاری افراد در تحلیل و پیش‌بینی رفتارها حائز اهمیت است (ایلدرج[4] و همکاران، ۲۰۱۶).. نیت افراد برای اقدام عمدتاً به سه عامل نگرش رفتاری، هنجارهای ذهنی و کنترل رفتاری درک شده بستگی دارد (کوته[5] و همکاران، ۲۰۱۲؛ سی[6] و همکاران، ۲۰۱۹). بسیاری از مطالعات تائید کردند که نگرش یکی از پیش‌بینی کننده‌های اصلی نیت است (لیو[7] و همکاران، ۲۰۱۶؛ رازدین و واتینلتان[8]، ۲۰۱۸؛ تریهادمجو[9] و همکاران، ۲۰۲۰). نگرش منعکس کننده ارزیابی مثبت یا منفی فرد از انجام یک رفتار است (سانچز، ۲۰۱۸؛ یولا[10] و همکاران، ۲۰۲۱). نگرش به میزان قابل‌توجهی بر نیت رفتاری مردم تأثیر می‌گذارد. این امر نشان‌دهنده اهمیت ایجاد شرایط برای تشویق باورهای رفتاری مردم نسبت به اقدامات حفاظتی است که پایداری جنگل‌ها را تضمین می‌کند (ایمپید و امنج، ۲۰۲۱)؛ بنابراین برای شکل‌گیری رفتارهای طرفدارانه از محیطزیست، باید نگرش مثبت در این زمینه به وجود آید (هولت و همکاران، ۲۰۲۱؛ یولا و همکاران، ۲۰۲۱). متغیر دیگر این نظریه هنجار ذهنی یا فشار اجتماعی درک شده برای مواجه شدن یا نشدن با یک رفتار است (واترس[11] و همکاران، ۲۰۱۰). هنجارهای ذهنی به‌عنوان فشار یا نفوذ اجتماعی افراد در مواجهه با یک انتخاب رفتاری است (سانچز، ۲۰۱۸) و ترکیبی از درک فرد از فشارهای اجتماعی برای انجام عمل و انگیزه آن‌ها برای سازگاری است (هولت و همکاران، ۲۰۲۱).

در واقع، هنجار ذهنی به یک نوع رفتار تدبیر شده مبتنی بر اعتقادات افراد و فشارهای مردم درباره یک موضوع، یا بایدها و نبایدهای آن و چگونگی درک آن اشاره دارد (لی دانگ[12] و همکاران، ۲۰۱٤).

سازه کنترل رفتاری درک شده به‌عنوان سومین عامل تعیین‌کننده نیت انجام رفتار به درک فرد از آسانی و سختی انجام رفتار مربوط است (ایمپید و امنج، ۲۰۲۱؛ واترس و همکاران، ۲۰۱۰)؛ به‌عبارت‌دیگر کنترل رفتاری درک شده به سهولت یا دشواری درک شده و درنهایت انجام یک رفتار خاص اشاره دارد (سانچز، ۲۰۱۸).

1 Holt
2 Sánchez
3 Glanz and Bishop
4 Eldredge
5 Cote
6 Si
7 Lu
8 Raziuddin and Vaithianathan
9 Trihadmojo
10 Ullah
11 Wauters
12 Le Dang

اگرچه تئوری رفتار برنامه‌ریزی شـده به‌طور گسـترده‌ای برای آزمایش رابطه بین سـاختارهای نگرشـی و قصـد رفتاری با موفقیت بزرگ مورد اسـتفاده قرار گرفته اسـت؛ با این حال یک مدل جامع نیسـت و تأثیر متغیر تأثیرگذاری مثل هنجارهای اخلاقی و اثرات غیرمستقیم آن نادیده گرفته شده است (باقری[1] و همکاران، ۲۰۱۹) هنجارهای اخلاقی یک عامل مؤثر بر رفتار می‌باشـند و قرار دادن هنجارهای اخلاقی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شـده می‌تواند در برخی موارد توانایی پیش‌بینی مدل را بهبود بخشـد (دونالد[2] و همکاران، ۲۰۱٤). همچنین این متغیر، بارها در مطالعات رفتار زیست‌محیطی به کار گرفته شده است (اوپ[3]، ۲۱۰۳؛ آگیولار لازون[4] و همکاران، ۲۰۱۳؛ بیجانی[5] و همکاران، ۲۰۱۷؛ باقری و همکاران، ۲۰۱۹؛ کاستیلهو[6] و همکاران، ۲۰۱۸؛ تریهادمجو و همکاران، ۲۰۲۰).

هنجار اخلاقی به‌عنوان احسـاس تعهد اخلاقی ذاتی مطابق با نظام ارزش فرد (مولر[7] و همکاران، ۲۰۱۸). برای انجام یا خودداری از اقدامات خاص می‌باشد (واسکه[8] و همکاران، ۲۰۲۰)؛ به‌عبارت‌دیگر هنجار اخلاقی، احساسات و الزامات اخلاقی برای انجام یک رفتار خاص است (ایتو[9] و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به مطالب ذکر شده چارچوب نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده در نگاره (۱) ترسیم شده است.

جنبه‌های متعددی از تحقیقات مرتبط با جنگلداری نیز بر اسـاس نظریه رفتار برنامه‌ریزی شـده مورد ارزیابی قرار گرفت. کارپینن[10] (۲۰۰۵) نشـان داد که در فنلاند، انتخاب روش احیای جنگل‌ها را می‌توان با نظریهٔ رفتار برنامه‌ریزی شده توصیف کرد: نگرش قوی‌ترین عامل توضیحی بود و هنجار ذهنی و کنترل رفتاری درک شده به وضوح تأثیرات کوچکتر اما متقابل یکسـانی بر قصـد راه‌اندازی مجدد جنگل‌ها داشـتند. پریمر و کارپینن[11] (۲۰۱۰) در تحقیقی بر نگرش جنگلبانان و هنجارهای اجتماعی مؤثر بر حفاظت از تنوع زیستی با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده به تأثیر قابل توجه نگرش و هنجار ذهنی جنگلداران بر حفاظت از تنوع زیستی تأکید کردند.

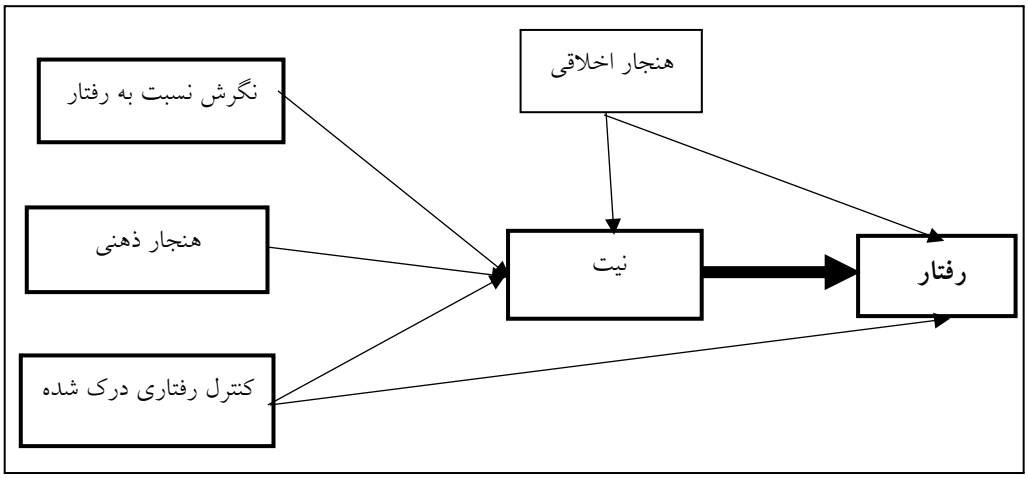
کارپینن و برگل[12] (۲۰۱۵) به‌منظور انجام اقدامات بهبود جنگل‌ها در فنلاند از این نظریه اسـتفاده کردند. نتایج نشان داد هنجار ذهنی مهم‌ترین عامل تبیین‌کننده بود و نگرش‌ها قدرت توضیحی کمتری داشتند. مایجر[13] و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به‌منظور کاشت درخت توسط کشاورزان خرده‌مالک در مالاوی از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده

1 Bagheri
2 Donald
3 Opp
4 Aguilar-Luzón
5 Bijani
6 Castilho
7 Møller
8 Vaske
9 Ito
10 Karppinen
11 Primmer and Karppinen
12 Karppinen and Berghäll
13 Meijer

برای بررسی رابطه بین نگرش و رفتار استفاده کردند نتایج نشان داد که نگرش مثبت نسبت به کشاورزی منجر به کاشت بیشتر درختان در مزارع می‌شود، که نشان می‌دهد ارائه آموزش و تشویق بیشتر به کشاورزان می‌تواند سطح پذیرش را افزایش دهد.

یافته‌های تحقیق کاستیلهو و همکاران (۲۰۱۸) که به بررسی نگرش و رفتار ساکنان روستایی نسبت به انگیزه‌های مختلف برای شکار و جنگل‌زدایی در مناطق حفاظت شده جنگل شمال شرقی اقیانوس اطلس، برزیل بود نشان داد که اقدامات مدیریتی برای تغییر رفتار ساکنان نسبت به حفاظت از جنگل‌های منطقه موردمطالعه، باید نگرش‌ها و هنجارهای افراد را در نظر بگیرند. پوپا و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور اهداف مشارکت در اجرای قانون جنگل در رومانی از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده استفاده کردند نتایج نشان داد قصد مشارکت در اجرای قانون جنگل توسط نگرش، هنجار ذهنی و کنترل رفتاری درک شده پیش‌بینی شد.

امپیدی و امنج (۲۰۲۱) به درک مقاصد عمومی برای مشارکت در ابتکارات حفاظتی برای مناطق آبخیز جنگلی با استفاده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده در مالزی پرداختند نتایج نشان داد نگرش به‌طور قابل‌توجهی بر قصد رفتاری مردم تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، این نشان‌دهنده اهمیت ایجاد شرایط برای تشویق باورهای رفتاری مردم نسبت به ابتکارات حفاظتی است که پایداری جنگل‌ها را تضمین می‌کند و بنابراین به حفظ اکوسیستم‌ها که برای رفاه انسان حیاتی هستند کمک کند.



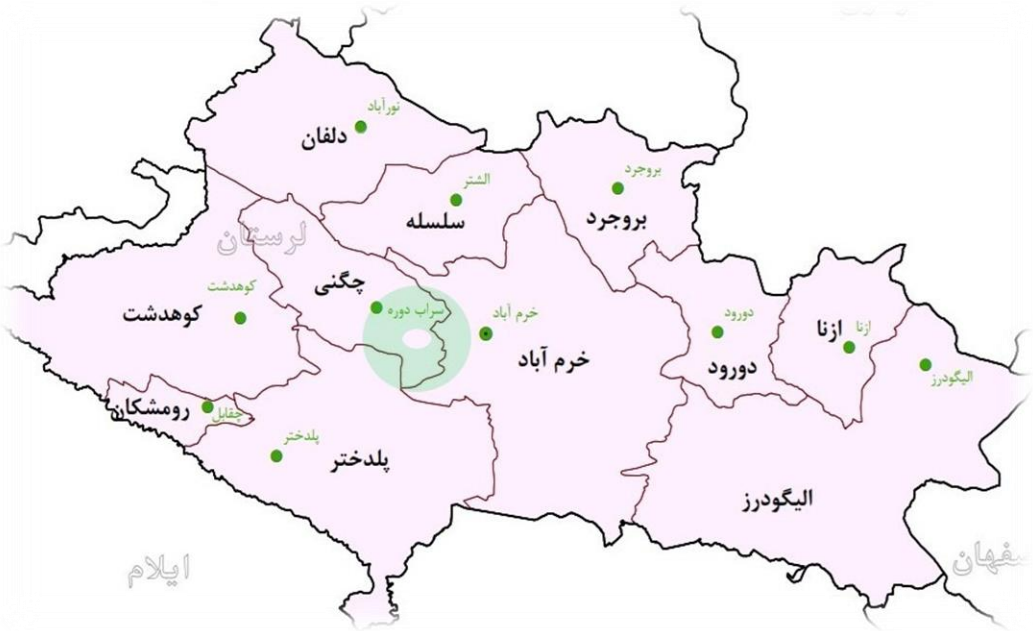
شکل ۱- چارچوب نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقهٔ موردمطالعه

شهرستان دوره چگنی از شهرستان‌های تازه تأسیس استان لرستان است. این شهرستان در اواخر سال ۱۳۸٦ با جدا شدن دو بخش چگنی و ویسیان از شهرستان خرم‌آباد، تأسیس شد. مرکز این شهرستان، شهر سراب‌دوره می‌باشد. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهرستان ٤۱۷٥٦ نفر در قالب ۱۱۹٤۸ خانوار بوده است. شغل اصلی مردم روستانشین شهرستان اغلب کشاورزی، دامپروری و باغداری می‌باشد. این منطقه با توجه به برخورداری از منابع آبی مناسب و خاک حاصلخیز ظرفیت بهره‌برداری از محصولات کشاورزی را در سطح بالایی به خود اختصاص داده و هر ساله محصولات زراعی و باغی متنوعی را تولید می‌کند. با توجه به نزدیکی به مرکز استان همه روزه رفت و آمد فراوان در میان دو شهرستان انجام می‌شود. در حد فاصل شهرستان خرم‌آباد و دوره چگنی نیز همانند سایر نقاط استان لرستان جنگل‌های بلوط سراسر مسیر را پوشانده و طبیعت زیبای اطراف جاده همواره با جذابیت خود رهگذاران را برای استراحت جذب می‌کند. همین امر باعث شده تا سالانه بواسطه شکاندن شاخه‌ها، هجوم سودجویان برای برش درختان و زغال‌گیری، بیماری زوال بلوط که سال‌هاست درختان منطقه زاگرس را به مرگ تهدید می‌کند و البته چرای بی‌رویه دام‌ها که بوسیله مردم بومی و حتی عشایر استان‌های همجوار انجام می‌شود و بسیاری دلایل دیگر سالیانه حجم عظیمی از جنگل‌ها رو به نابودی بگذارد؛ بنابراین منطقه موردمطالعه بر اساس اطلاعات محقق در مورد استفاده‌های گردشگری و تفریحی و وجود پارک جنگلی انتخاب شد. علاوه بر گونه‌های بلوط، از دیگر درختان جنگلی موجود در منطقه می‌توان به زالزالک، ون، مازو و غیره اشاره کرد. به جزء درختان

جنگلی می‌توان به انواع نبلتات دارویی معطر موجود در منطقهاز قبیل علف گاوزبان، خاک شـــیر، گل ختمی و غیره اشـاره نمود. این منطقه حد فاصـل بین دو شـهرسـتان خرم‌آباد و دوره چگنی بوده و ازنظر تقسـیمات کشـوری از توابع شهرستان دوره چگنی به حساب می‌آید. شکل (۲) موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

۲-۲-روش پژوهش

این تحقیق ازنظر ماهیت از نوع پژوهش‌های کمی محسوب می‌شود و ازنظر هدف از نوع کاربردی است. در این تحقیق از روش توصـیفی همبسـتگی اسـتفاده شـده اسـت. جامعه آماری این تحقیق خانوارهای روسـتایی در چهار دهستان دوره چگنی (N=۱۳۹۹) تشکیل دادند. حجم نمونه بر اساس جدول کرجسی و مورگان، ۳۰۰ خانوار انتخاب شـد. افراد نمونه با اسـتفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای با انتسـاب متناسـب موردمطالعه قرار گرفتند. بر حسـب توزیع جمعیت روسـتاها در چهار دهسـتان این شـهرسـتان (تشکن، دوره، شـوراب، ویسیان) به شـیوۀ انتسـاب متناسـب تعداد نمونه‌ها در هر بخش انتخاب شـــدند (جدول۱). همان‌طور که بیان شـــد چارچوب نظری و متغیرهای این تحقیق برگرفته ازنظریۀ رفتار برنامه‌ریزی شـده با اضـافه شـدن متغیر هنجار اخلاقی اسـت. ابزار گردآوری داده‌ها پرسـشـنامه محقق ساخت بوده و سؤالات متناسب با انجام این تحقیق برای خانوارهای روستایی از منابع مختلف برای متغیرهای این نظریه مطرح شـدند. نگرش با گویه‌هایی نظیر "به نظر من انجام رفتارهای حفاظت از جنگل‌ها سـودمند اسـت"،

"من انجام رفتارهای حفاظت از جنگل‌ها را خوشـــایند/ مطلوب می‌دانم" و "ازنظر من انجام رفتارهای حفاظت از جنگل‌ها مفید و ارزشـمند اسـت" سـنجیده شـد. برای متغیر هنجار ذهنی گویه‌هایی نظیر" اکثریت اطرافیان نزدیک من مخالف تخریب جنگل هســتند"، " دوســتان و همســایگان من، مرا به محافظت از جنگل‌ها تشــویق می‌کند" و " فعالیت‌های من در رابطه با حفاظت از جنگل مورد تأیید اطرافیانم می‌باشـد"؛ برای سـنجش متغیر کنترل رفتاری درک شده از گویه‌هایی نظیر " احساس می‌کنم می‌توانم برنامه‌ای برای کاهش تخریب جنگل‌ها ارائه دهم"، " برای حفاظت از جنگل می‌توانم فردی معتقد و کارآمد باشـــم" و " دانش و مهارت لازم برای محافظت از جنگل‌ها را دارم"؛ برای ســنجش متغیر هنجار اخلاقی از گویه‌هایی نظیر" جنگل‌ها جزئی از زندگی ما هســتند که موظف به مراقبت از آن‌ها هسـتیم"، " اگر به جنگل آسـیب برسـانم احسـاس گناه می‌کنم" و " انجام فعالیت و اقدامات محافظت از جنگل‌ها از اصول وجدانی در درون من است"؛ برای سنجش متغیر نیت از گویه‌هایی نظیر" من قصد دارم سایر دوستان یا افراد را به محافظت از جنگل‌ها تشـویق کنم"،" من قصـد دارم بهره‌برداری و اسـتفاده از جنگل‌ها را کاهش دهم" و " من قصد دارم زمین‌های نزدیک و داخل جنگل را کشت نکنم"؛ و درنهایت برای سنجش متغیر رفتار از گویه‌هایی نظیر " فعالیت‌های کشـاورزی خانواده من بر حسـب عدم خسـارت به جنگل انجام می‌شـود"، " تعلیف دام را در منزل انجام می‌دهم تا دام‌ها به درختان آسیب نرسانند" و " برای گسترش زمین کشاورزی خود وارد محدوده جنگل نمی‌شوم" استفاده شده است.

همه گویه‌های پنج متغیر نظریه رفتار برنامه‌ریزی شـــده و هنجار اخلاقی بر مبنای طیف پنج درجه‌ای لیکرت ۵ امتیازی شامل "خیلی‌کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و"خیلی زیاد" سنجیده شدند. به‌منظور اطمینان از روایی ظاهری و محتوایی پرسـشـنامه، برخی از اسـتادان و صـاحب‌نظران مربوطه، نظرات اصـلاحی خود را اعلام کردند که پس از مصـاحبه حضـوری با این افراد و بحث و بررسـی در مورد دیدگاه‌های مطرح شـده، اصـلاحات ضـروری انجام شـد. به‌منظور تأیید پایایی پرسـشـنامه طراحی شـده پیش از ورود به مرحلهٔ گردآوری اطلاعات در مقیاس گسـترده، از یک بررسی پیش‌آزمون ۳۰ پرسشنامه‌ای که خارج از نمونه اصلی بررسی و توزیع شد، استفاده شد و نتایج ضریب آلفای کرونباخ به دست آمده برای آن، همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، گویای قابل قبول بودن پایایی پرسشنامه برای انجام تحقیق بوده است (جدول ۲).

به‌منظور تعیین تعداد نمونه‌های تحقیق بر حسـب جمعیت هر دهسـتان، تعداد نمونه‌ها به شـیوهٔ انتسـاب متناسـب تعیین و در کل ۳۰۰ پرسـشـنامه کامل و بدون نقص تکمیل شـد. پس از تکمیل داده‌ها، عملیات کدگذاری، اسـتخراج اطلاعات و انتقال آن‌ها به روی رایانه صـورت پذیرفت. پس از طی فرآیند داده‌پردازی، محاسـبات آماری (توصـیفی و استنباطی) با استفاده از نرم افزار SPSS (V20) و AMOS (V20) انجام شد.

جدول ۱- دهستان‌های دوره چگنی و تعداد نمونه‌ها در هر دهستان

ردیف	نام دهستان	تعداد نمونه
۱	تشکن	٦۱
۲	دوره	۱۱۰
۳	شوراب	۵۷
٤	ویسیان	۷۲
	جمع	۳۰۰

جدول ۲- ضریب آلفا و تعداد گویه‌های مربوط به متغیرهای پژوهش

نوع متغیر	متغیرها	تعداد گویه	ضریب آلفای کرونباخ	منبع
مستقل	نگرش	٦	۰/۹۵	بیجانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ سانچز و همکاران، ۲۰۱۸
	هنجار ذهنی	۵	۰/۷۷	هارلند[1] و همکاران، ۲۰۰۷؛ دی گروت[2] و همکاران، ۲۰۰۷؛ استریدوم و همکاران، ۲۰۱۸
	کنترل رفتاری درک	٦	۰/۸۹	سانچز و همکاران، ۲۰۱۸؛ استریدوم و همکاران،
	هنجار اخلاقی	٦	۰/۹٤	هان[3]، ۲۰۱۵؛ زنگ[4] و همکاران، ۲۰۱۷؛ لاندون[5] و همکاران، ۲۰۱۷
وابسته	نیت	۸	۰/۹۲	لی[6]، ۲۰۱۱؛ باقری و همکاران، ۲۰۱۹
	رفتار	٦	۰/۸۵	لارسون[7] و همکاران، ۲۰۱۵؛ بیجانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ کاستیلهو و همکاران، ۲۰۱۸

۳- نتایج و بحث

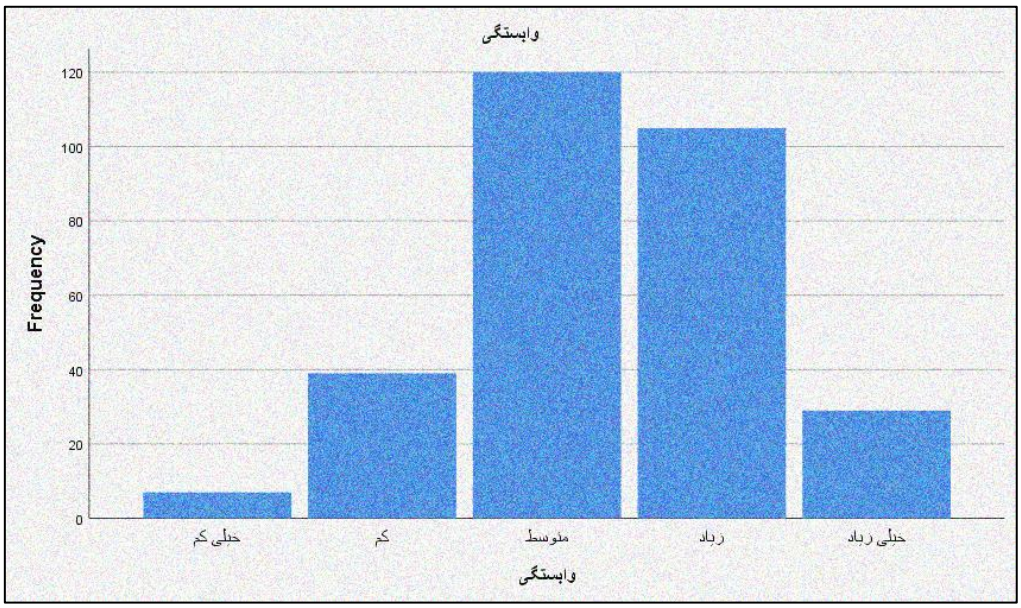
۳-۱- توصیف ویژگی‌های فردی، اجتماعی و جمعیت‌شناختی پاسخگویان

بر اساس یافته‌های تحقیق، میانگین سن پاسخگویان در نمونه تحقیق، ٤۲/۰ سال بود که سن جوان‌ترین پاسخگو ۲۲ و مسن‌ترین آن‌ها ۸۷ سال بود. در رابطه با سطح سواد پاسخگویان، نتایج به دست آمده نشان داد که ۲٦/۳ درصد

1 Harland
2 De Groot
3 Han
4 Zhang
5 Landon
6 Lee
7 Larson

(۷۹ نفر) بی‌سواد، ۱۹/۳ درصد (۵۸ نفر) ابتدایی، ۲۰/۳ درصد (٦١ نفر) راهنمایی، ٦/۳ درصد (۱۹ نفر) دبیرستان، ۱۳/۳ درصد (٤٠ نفر) دیپلم، ۱/۷ درصد (۵ نفر) فوق دیپلم، ۹/۷ درصد (۲۹ نفر) لیسانس و ۳/۰ درصد (۹ نفر) فوق لیسانس و بالاتر داشتند.

ازنظر جنسیت ۵۸ درصد پاسخگویان را مرد و ٤٢ درصد آنان معادل ١٢٦ نفر زن بودند. وضعیت تأهل پاسخگویان نیز حاکی از آن بود که ۸۵ درصد متأهل و ۱۵ درصد مجرد بودند. همچنین با توجه به نمودار ۱ و بر اساس نتایج تحقیق، میزان وابستگی معیشت پاسخگویان عمدتاً در حد متوسط و زیاد عنوان شده و تنها میزان اندکی در حدود ۲ درصد وابستگی خود به جنگل و بهره‌برداری از آن را در حد کم بیان نموده‌اند.



شکل ۳- توزیع فراوانی پاسخگویان بر اساس میزان وابستگی به جنگل‌ها

۳-۲- همبستگی بین متغیرهای پژوهش

به‌منظور بررسی رابطه بین متغیرهای تحقیق، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، متغیر رفتار با متغیرهای نگرش (r=۰/۵۳،P< ۰/۰۰۱)، هنجار ذهنی (r=۰/۲۷،P< ۰/۰۰۱)، کنترل رفتاری درک شده (r=۰/۲۵،P< ۰/۰۰۱)، هنجار اخلاقی (r=۰/٤٧، P< ۰/۰۰۱)، و نیت (r=۰/٤٢، P< ۰/۰۰۱) رابطه مثبت و معنی‌داری دارد. در تفسیر این نتایج می‌توان گفت هر چه خانوارهای روستایی نگرش مثبت به حفاظت از جنگل‌ها داشته و برای حفاظت از جنگل‌ها از طرف دوستان و اطرافیان مورد تشویق قرار بگیرند و انجام این گونه اقدامات را

در توان خود ببینند و همچنین حفاظت از جنگل‌ها را یک کار اخلاقی و پسندیده بدانند تمایل بیشتری برای حفاظت از جنگل‌ها خواهند داشت و در این راستا اقدام به انجام رفتارهای زیست‌محیطی برای حفاظت از جنگل‌ها می‌کنند.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرهای تحقیق

متغیرها	نگرش	هنجار ذهنی	کنترل رفتاری	هنجار اخلاقی	نیت	رفتار
نگرش	۱					
هنجار ذهنی	۰/۵۸**	۱				
کنترل رفتاری	۰/۲۷**	۰/۲٤**	۱			
هنجار اخلاقی	۰/۵۸**	۰/۵۸**	۰/۱۲*	۱		
نیت	۰/۵٦**	۰/۵۲**	۰/۲۷**	۰/٦٦**	۱	
رفتار	۰/۵۳**	۰/۲۷**	۰/۲۵**	۰/٤۷**	۰/٤۲**	۱
*در سطح ۵ درصد معنی دار است.			**در سطح ۱ درصد معنی‌دار است			

۳-۳- تبیین عوامل مؤثر بر رفتار خانوارهای روستایی نسبت به حفاظت از جنگل‌ها

برای بررسی عامل‌های مؤثر بر رفتار خانوارهای روستایی نسبت به حفاظت از جنگل‌ها از مدل معادله‌های ساختاری[1] با استفاده از نرم افزار اموس ۲۰ استفاده شد. بدین منظور در آغاز رابطهٔ بین متغیرها در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده بررسی شد و آنگاه با مراتب بالا، کای اسکور، درجه آزادی و تقریب ریشه میانگین مربع خطا برای نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده محاسبه شد که در جدول ٤ گزارش شده است. اثرهای علّی کل و مستقیم در جدول ۵ گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نسبت کای اسکوئر به درجه آزادی برابر ۲/۵٦۹ و ریشه میانگین مربعات خطا تقریب (RMSEA) برابر ۰/۰۷۲ است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت مدل از برازش مناسبی برخوردار است (جدول٤).

جدول ٤- نتایج میزان انطباق مدل ساختاری با شاخص‌های برازش

CMIN/DF	RMSEA	TLI	CFI	IFI	NFI	GFI
۲/۵٦۹	۰/۰۷۲	۰/۹۱۳	۰/۹۲۱	۰/۹۲۲	۰/۸۷۸	۰/۷۸۵

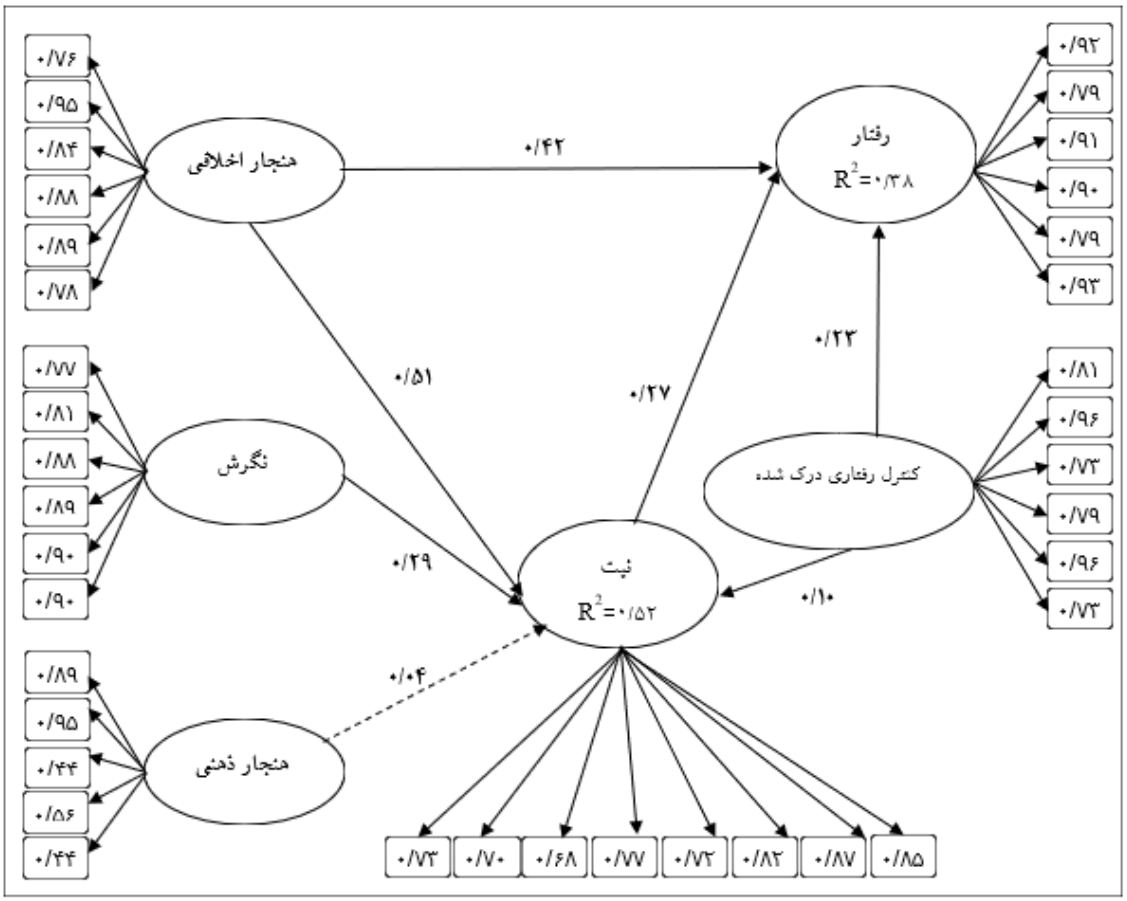
نگاره۳ عامل‌های مؤثر بر رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نگاره۳ مشاهده می‌شود، متغیرهای هنجار اخلاقی (β =۰/۵۱،P< ۰/۰۰۱)، نگرش (β =۰/۲۹،P< ۰/۰۰۱) و کنترل

1 Structural Equation Model

رفتاری درک شـــده (β =۰/۱۰،P< ۰/۰۰۱) تأثیر مثبت، مســـتقیم و معنی‌داری بر متغیر نیت دارند. متغیرهای هنجار اخلاقی (β =۰/٤۲ ،P< ۰/۰۰۱)، نیت (β =۰/۲۷ ،P< ۰/۰۰۱) و کنترل رفتاری درک شده (β =۰/۲۳ ،P< ۰/۰۰۱) تأثیر مثبت، مســـتقیم و معنی‌داری بر رفتار داشـــتند. متغیرهای هنجار اخلاقی (β =۰/۵۱،P< ۰/۰۰۱)، نگرش (۰/۰۰۱ >P،β =۰/۲۹) و کنترل رفتاری درک شـده (β =۰/۱۰،P< ۰/۰۰۱) دارای تأثیر غیرمســتقیم و معنی‌داری بر متغیر رفتار می‌باشند. درنهایت نظریهٔ رفتار برنامه‌ریزی شده با واسطه متغیر هنجار اخلاقی می‌تواند به ترتیب ۵۲ و ۳۸ درصد از تغییرات متغیرهای نیت و رفتار را پیش‌بینی کند.

جدول ۵- تأثیر متغیرهای پیش‌بینی در نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده

متغیر	هنجار اخلاقی	کنترل رفتاری	هنجار ذهنی	نگرش	نیت	رفتار
اثرات کل استاندارد						
نیت	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۰٤	۰/۲۹	-	-
رفتار	۰/۵۰	۰/۲٤	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱٦	-
اثرات مستقیم استاندارد						
نیت	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۰٤	۰/۲۹	-	-
رفتار	۰/٤۱	۰/۲۲	-	-	۰/۱٦	-
اثرات غیر مستقیم استاندارد						
نیت	-	–	–	–	–	-
رفتار	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۵	–	-



شکل ٤- مدلسازی معادلات ساختاری نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده

٤- جمع‌بندی

جنگل‌های زاگرس از کانون‌های حیات و زندگی در ایران است و حفاظت از این جنگل‌ها که نقش به سزایی در حیات منطقه و نسل‌های آینده دارد، باید دغدغه و وظیفه همه دستگاه‌های حاکمیتی و مردم باشد. با توجه به اهمیت فوق‌العاده و ارزش‌های حیاتی و غیرقابل‌انکار عرصه‌های جنگلی و نقش محوری و اساسی آن‌ها در تداوم حیات بشری، حفاظت و احیاء این مخلوقات زنده و زیبا حائز اهمیت فراوانی است. هدف این پژوهش بررسی سازه‌های پیش‌بینی‌کننده رفتار خانوارهای روستایی در حفاظت از جنگل‌های زاگرس با استفاده ازنظریهٔ رفتار برنامه‌ریزی شده می‌باشد.

با توجه به اینکه بهره‌برداری غیراصولی از جنگل‌ها توسط جنگل‌نشینان و روستاییان از مهم‌ترین عوامل تخریب جنگل‌ها و تشدید سرعت جنگل‌زدایی است لذا یافتن راهکارهایی جهت کاهش این گونه فشارها بر جنگل‌ها و عرصه‌های منابع طبیعی می‌تواند در میزان کاهش تخریب جنگل‌ها تأثیر داشته باشند بنابراین در این راستا پیشنهاد

می‌شود با توسعه و گسترش کسب و کارهای کوچک و توجه به مبحث اشتغال‌زایی در روستاها و همچنین ترویج کارآفرینی و افزایش تنوع شغلی بهره‌برداری‌های با اهداف اقتصادی از جنگل را محدود نموده و از این طریق با افزایش درآمد و تنوع منابع درآمدی روستاییان میزان وابستگی آنان به جنگل را کاهش داد.

نتایج تحقیق نشان داد هنجار اخلاقی یکی از متغیرهایی است که بر رفتار حفاظت از جنگل‌ها به صورت مستقیم و به‌واسطهٔ نیت به صورت غیرمستقیم مؤثر بوده است. محققین دیگر (اوپ، ۲۰۱۳؛ آگیولار لازون، ۲۰۱۳؛ مالان[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ شین و هانسر[2]، ۲۰۱۶؛ تریهامجو، ۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابه دست یافتند. هنجار اخلاقی تعهد اخلاقی فرد جهت انجام رفتارهای حفاظت از جنگل‌هاست، بنابراین بر تصمیم‌گیری‌های افراد مؤثر است و رفتار افراد را پیش‌بینی می‌نماید؛ بنابراین، منطقی است که تصور کنیم فردی با هنجار اخلاقی بالا، وظیفه و مسئولیت اخلاقی بیشتری در حفاظت از جنگل‌ها و محیط‌زیست خواهد داشت. علاوه بر این، توجه به نقش هنجارهای اخلاقی در ارتقاء رفتار حفاظت از جنگل‌ها بسیار مهم است؛ بنابراین، رویکردهایی برای همسویی ارزش‌های حفاظت از محیط‌زیست، احترام به طبیعت و حفاظت از منابع، باید در خانوارهای روستایی پیاده شوند تا کلیه اقدامات بر اساس این دستورالعمل‌ها انجام شود. توصیه می‌شود با برگزاری برنامه‌های آموزشی ترویجی از طریق رسانه‌ها با برجسته‌سازی موضوع تخریب محیط‌زیست و به خصوص جنگل‌ها و تمرکز بر روی اتمام منابع طبیعی و آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از آن نقش فعالی در آگاه‌سازی مردم و به تبع آن حفاظت از جنگل‌ها داشت.

نتایج تحقیق همچنین نشان داد نیت یکی از متغیرهایی است که بر رفتار حفاظت از جنگل‌ها به صورت مستقیم مؤثر بوده است. محققین دیگر (سانچز و همکاران، ۲۰۱۸؛ یولا و همکاران، ۲۰۲۱؛ امپید و امنج، ۲۰۲۱؛ هولت و همکاران، ۲۰۲۱) نیز به نتایج مشابه دست یافتند. نیت حفاظت از جنگل‌ها در واقع به تعهد خود فرد برای شرکت در رفتارهای حفاظت از محیط‌زیست و به خصوص جنگل‌ها اشاره دارد. نیت رفتاری به این معنی است که رفتار خاص زمانی در آینده رخ خواهد داد، در حالی که رفتار واقعی به این معنی است که رفتار خاص بلافاصله رخ خواهد داد یا قبلاً رخ داده است. افراد به احتمال زیاد اظهار می‌کنند که مایل به انجام رفتاری هستند که در آینده رخ می‌دهد و تمایلی به انجام رفتاری که بلافاصله اتفاق می‌افتد ندارند. بر اساس همین منطق، در این تحقیق مشخص شده است که قصد خانوارها برای حفاظت از جنگل‌ها در آینده رخ می‌دهد. با این حال، با توجه به اینکه رفتار حفاظت از جنگل‌ها قریب الوقوع است، ممکن است خانوارها تمایل نداشته باشند که سبک زندگی خود را تغییر دهند و به حفاظت از جنگل‌ها بپردازند. به علاوه، برخی از خانوارها ممکن است باورهای اجتناب گرا داشته باشند و فکر می‌کنند که می‌توانند در آینده در فعالیت‌های حفاظت از جنگل‌ها سهیم شوند و نقش مؤثری داشته باشند. با توجه به تاثیرگذاری متغیر نیت

1 Mullan
2 Shin and Hancer

رفتاری بر رفتار خانوارهای روستایی برای حفاظت از جنگل‌ها توصیه می‌شود با برگزاری برنامه‌های آموزشی ترویجی و همچنین تبلیغات، آگاهی و اجرای برنامه‌های مثبت در راستای حفاظت از جنگل‌ها افراد را به انجام فعالیت‌های زیست‌محیطی و حفاظت از جنگل‌ها دعوت کرده تا همه از این موهبت الهی برخوردار شوند.

نتایج مطالعه نشان داد نگرش به‌واسطهٔ نیت رفتاری، قدرت زیادی در پیش‌بینی رفتار حفاظت از جنگل‌ها دارد. مطابق با نتایج به دست آمده، نتایج مطالعه (بیجانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ سانچز و همکاران، ۲۰۱۸؛ ترهادمجو و همکاران، ۲۰۲۰؛ هولت و همکاران، ۲۰۲۱؛ امپید و امنج، ۲۰۲۱؛ یولا و همکاران، ۲۰۲۱) نشان داد نگرش در تعیین غیرمستقیم رفتار حفاظت از جنگل‌ها مهم است که تأثیر آن به‌واسطهٔ نیت رفتاری است؛ بنابراین نگرش یک متغیر مهم در پیش‌بینی رفتار حفاظت از جنگل‌ها می‌باشد. به‌طور خاص، می‌توان عنوان کرد پاسخ‌دهندگان به مزایای زیست‌محیطی ناشی از حفاظت از جنگل‌ها توجه داشتند، که نشان‌دهنده آگاهی شدید زیست‌محیطی خانوارها است و نگرش آنان به این قضیه مثبت است. اگر چه به نظر می‌رسد سود مالی مورد انتظار برای حفاظت از جنگل‌ها برای خانوار مهم باشد، اما نتیجه تحلیل مطابق با (دی دومینیکیز[1] و همکاران، ۲۰۱۹) می‌باشد که اشاره کرد انگیزه‌های اجتماعی بیش از انگیزه‌های مالی در اهداف طرفدار محیط‌زیست تأثیرگذار هستند؛ اما سیاست گذاران تشویق به حفاظت از جنگل‌ها را با منافع پولی در نظر می‌گیرند. با توجه به اینکه نگرش خانوارها یکی از عوامل تعیین‌کننده قصد رفتاری آن‌ها جهت حفاظت از جنگل‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد سیاست‌گذاری‌ها در راستای حفاظت بیشتر از جنگل‌ها، موفق نخواهد، بود مگر این‌که نگرش مناسب و مثبتی نسبت به شیوه‌های حفاظت از جنگل‌ها، در ذهن همه خانوارهای روستایی به وجود آید. نگرش افراد بیش‌تر تحت تأثیر جامعه پذیرنده قرار می‌گیرد؛ بنابراین ارتباطات خانوارهای روستایی و تعاملات آن‌ها با اعضاء فامیل، همسایگان، دوستان و آشنایان، افراد باتجربه و سازمان‌هایی مانند سازمان منابع طبیعی و اداره جهاد کشاورزی می‌تواند روی نگرش و رفتار تصمیم‌گیری خانوارهای روستایی جهت حفاظت از جنگل‌ها تأثیر گذارد. هم‌چنین وسایل ارتباط‌جمعی به‌ویژه رادیو و تلویزیون از جمله عوامل مهمی هستند که در تغییر نگرش خانوارهای روستایی مؤثرند و می‌توانند با تحریک روانی مردم و ایجاد فضای همدلی، باعث تغییر نگرش آن‌ها نسبت به حفاظت از منابع و به خصوص جنگل‌هاگردند.

نتایج تحقیق نشان داد کنترل رفتاری درک شده یکی از متغیرهایی است که بر رفتار حفاظت از جنگل‌ها به صورت مستقیم و به‌واسطهٔ نیت به صورت غیرمستقیم مؤثر بوده است. محققین دیگر (واترس و همکاران، ۲۰۱۰؛ ساترلند[2]، ۲۰۱۱؛ سانچز و همکاران، ۲۰۱۸) نیز به نتایج مشابه دست یافتند. کنترل رفتاری درک شده نشان می‌دهد که انگیزه یک فرد به‌وسیله درک فرد از میزان دشواری رفتارها و میزان موفقیت وی در انجام یا عدم انجام یک رفتار، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اگر شخص اعتقادات قوی کنترلی درباره وجود عوامل تسهیل کننده یک رفتار داشته باشد،

1 De Dominicis
2 Sutherland

کنترل درک شده بالایی بر روی یک رفتار خواهد داشت. برعکس اگر شخص اعتقادات کنترلی قوی نداشته باشد، درک پایینی از کنترل خواهد داشت که مانع بروز رفتار می‌شود. این درک می‌تواند مربوط به تجارب گذشته، پیش‌بینی وقایع آینده و نگرش‌های متأثر از هنجارهای محیط اطراف فرد باشد. به‌منظور واقف شدن خانوارهای روستایی در رابطه با روش‌های حفاظت از جنگل‌ها و به خصوص سهولت در انجام اقدامات تدوین استراتژی‌ها و برنامه‌هایی جهت این که خانوارهای روستایی از سهولت حفاظت از جنگل اطمینان پیدا کنند می‌تواند در ایجاد تعهد اخلاقی در آن‌ها و انجام رفتارهای حفاظتی مناسب توسط آن‌ها اثرگذار باشد. همچنین ارائه تسهیلات لازم توسط دولت و متولیان این امر برای آسان‌تر کردن فعالیت‌های حفاظتی پیشنهاد می‌گردد.

کتابنامه

ارمغان، سیمین؛ ۱۳۹۷. راهبردهای افزایش مشارکت مردمی در ارتقاء شاخص‌های زیست‌محیطی نواحی روستایی (مطالعه موردی: دهستان‌های بخش مرکزی ملارد). *فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*. سال دهم. شماره دوم. بهار ۱۳۹۷. https://geography.garmsar.iau.ir/article_539275.html

ایلدرمی، علیرضا؛ قاسمیور، فرهاد؛ بهمنی، نگار؛ ۱۳۹٤. بررسی نقش عوامل اقتصادی-اجتماعی در تخریب زیست‌بوم جنگل‌های زاگرس (منطقه کاکارضا لرستان). *دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*. ۱۳(۲): ۱٤۹-۱٤۰. http://dx.doi.org/10.22092/ijfrpr.2016.106021

رودگرمی، پژمان؛ انصاری، ناصر؛ فراهانی، ابراهیم؛ ۱۳۹۰. بررسی عوامل اجتماعی- اقتصادی مؤثر در تخریب منابع طبیعی استان تهران. *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. جلد ۱۸. شماره ۱. ص ۱۵۱-۱۷۱. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2011.102052

ملک میرزایی، مریم؛ کریمیان، علی اکبر؛ ۱۳۹۹. نقش بهره‌برداری بی‌رویه از محصولات فرعی جنگل و مرتع در تخریب آن‌ها (مطالعهٔ موردی: بخش زرین آباد، شهرستان دهلران). *مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*. دوره ۷۳. شماره ۱. بهار ۱۳۹۹. https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.265100.1295

Abdulkarim, B., Yacob, M. R., Abdullahi, A. M., & Radam, A., 2017. Farmers' perceptions and attitudes toward forest watershed conservation of the North Selangor Peat Swamp Forest. Journal of sustainable forestry, 36(4), 309-323. https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1300539

Aguilar-Luzón, M. D. C., García-Martínez, J. M. Á., Calvo-Salguero, A., & Salinas, J. M., 2012. Comparative study between the theory of planned behavior and the value–belief–norm model regarding the environment, on Spanish housewives' recycling behavior. Journal of Applied Social Psychology, 42(11), 2797-2833. https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2012.00962.x

Ahmed, A. S., Yahia, N., Okkacha, H., & Hadj, K., 2020. Impact of ecological restoration techniques on the dynamics of degraded ecosystems of the mounts of Saida: Case of the forests of Doui Thabet (West Algeria). Acta scientifica naturalis, 7(2), 98-121. https://doi.org/10.2478/asn-2020-0023

Ajzen, I., 2015. Consumer attitudes and behavior: the theory of planned behavior applied to food consumption decisions. *Italian Review of Agricultural Economics*, *70*(2), 121-138. https://doi.org/10.13128/REA-18003

Bagheri, A., Bondori, A., Allahyari, M. S., & Damalas, C. A., 2019. Modeling farmers' intention to use pesticides: An expanded version of the theory of planned behavior. Journal of Environmental Management, 248, 109291. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109291

Balée, W., de Oliveira, V. H., dos Santos, R., Amaral, M., Rocha, B., Guerrero, N., ... & Pezzuti, J., 2020. Ancient transformation, current conservation: traditional forest management on the Iriri River, Brazilian Amazonia. Human Ecology, 1-15. https://doi.org/10.1007/s10745-020-00139-3

Bijani, M., Ghazani, E., Valizadeh, N., & Haghighi, N. F., 2017. Pro-environmental analysis of farmers' concerns and behaviors towards soil conservation in central district of Sari County, Iran. International Soil and Water Conservation Research, 5(1), 43-49. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.03.001

Börjeson, L., & Ango, T. G., 2021. The production and destruction of forests through the lens of landesque capital accumulation. Human Ecology, 1-11. https://doi.org/10.1007/s10745-021-00221-4

Börner, J., Schulz, D., Wunder, S., & Pfaff, A., 2020. The effectiveness of forest conservation policies and programs. Annual Review of Resource Economics, 12, 45-64. https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-resource-110119-025703

Carter, S., Herold, M., Avitabile, V., de Bruin, S., De Sy, V., Kooistra, L., & Rufino, M. C., 2017. Agriculture-driven deforestation in the tropics from 1990–2015: emissions, trends and uncertainties. Environmental Research Letters, 13(1), 014002.
https://doi.org/10. 10.1088/1748-9326/aa9ea4

Castilho, L. C., De Vleeschouwer, K. M., Milner-Gulland, E. J., & Schiavetti, A., 2018. Attitudes and behaviors of rural residents toward different motivations for hunting and deforestation in protected areas of the northeastern Atlantic Forest, Brazil. Tropical Conservation Science, 11. https://doi.org/10.1177/194008291775350

Coté, C. J., Lerman, J., & Todres, I. D., 2012. *A practice of anesthesia for infants and children E-book: Expert consult: Online and print*. Elsevier Health Sciences. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=bXn3RGPW77oC&oi=fnd&pg=PP1&dq

Coulibaly-Lingani, P., Savadogo, P., Tigabu, M., & Oden, P. C., 2011. Factors influencing people's participation in the forest management program in Burkina Faso, West Africa. Forest Policy and Economics, 13(4), 292-302. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.02.005

Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C., 2018. Classifying drivers of global forest loss. Science, 361(6407), 1108-1111.
https://doi.org/10. 10.1126/science.aau344

De Dominicis, S., Sokoloski, R., Jaeger, C. M., & Schultz, P. W., 2019. Making the smart meter social promotes long-term energy conservation. Palgrave Communications, 5(1), 1-8. https://doi.org/10.1057/s41599-019-0254-5

De Groot, J. I. M., Steg, L., and Dicke, M., 2007. Morality and reducing car use: Testing the norm activation model of prosocial behavior. Transportation Research Trends. New York, NY: NOVA.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Morality+and+reducing+car+use%3A+Testing+the+norm+activation+model+of+prosocial+behavior.+&btnG

Donald, I. J., Cooper, S. R., & Conchie, S. M., 2014. An extended theory of planned behaviour model of the psychological factors affecting commuters' transport mode use. Journal of environmental psychology, 40, 39-48. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.03.003

Eldredge, L. K. B., Markham, C. M., Ruiter, R. A., Fernández, M. E., Kok, G., & Parcel, G. S., 2016. *Planning health promotion programs: an intervention mapping approach*. John Wiley & Sons.
https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=UyrdCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR10&dq=Eldredge+2016&ots

Empidi, A. V. A., & Emang, D., 2021. Understanding Public Intentions to Participate in Protection Initiatives for Forested Watershed Areas Using the Theory of Planned Behavior: A Case Study of Cameron Highlands in Pahang, Malaysia. Sustainability, 13(8), 4399. https://doi.org/10.3390/su13084399

Glanz, K., & Bishop, D. B., 2010. The role of behavioral science theory in development and implementation of public health interventions. *Annual review of public health*, *31*, 399-418. https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103604

Greaves, M., Zibarras, L. D., & Stride, C., 2013. Using the theory of planned behavior to explore environmental behavioral intentions in the workplace. Journal of Environmental Psychology, 34, 109-120. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.02.003

Guillem, E. E., & Barnes, A., 2013. Farmer perceptions of bird conservation and farming management at a catchment level. Land use policy, 31, 565-575. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.002

Han, H., 2015. Travelers' pro-environmental behavior in a green lodging context: Converging value-belief-norm theory and the theory of planned behavior. Tourism Management, 47, 164-177. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.09.014

Harland, P., Staats, H., & Wilke, H. A., 2007. Situational and personality factors as direct or personal norm mediated predictors of pro-environmental behavior: Questions derived from norm-activation theory. Basic and Applied Social Psychology, 29(4), 323-334. https://doi.org/10.1080/01973530701665058

Holt, J. R., Butler, B. J., Borsuk, M. E., Markowski-Lindsay, M., MacLean, M. G., & Thompson, J. R., 2021. Using the Theory of Planned Behavior to Understand Family Forest Owners' Intended Responses to Invasive Forest Insects. Society & Natural Resources, 34(8), 1001-1018. https://doi.org/10.1080/08941920.2021.1924330

Ildorom, A., Ghasemi, F., Bahmani,N., 2015. Investigating the role of socio-economic factors in the degradation of Zagros forests ecosystem (Kakareza region of Lorestan). Journal of Iranian Forests and Rangelands Protection and Conservation Research. 13 (2): 149-140., in Persian). http://ijfrpr.areeo.ac.ir/article_106

Ito, K., Ida, T., & Tanaka, M., 2018. Moral suasion and economic incentives: Field experimental evidence from energy demand. American Economic Journal: Economic Policy, 10(1), 240-67. http:// 10.1257/pol.20160093

Jana, S. K., Lise, W., & Ahmed, M., 2014. Factors affecting participation in joint forest management in the West Bengal state of India. Journal of Forest Economics, 20(4), 317-332. https://doi.org/10.1016/j.jfe.2014.09.003

Karppinen, H., 2005. Forest owners' choice of reforestation method: an application of the theory of planned behavior. Forest Policy and Economics, 7(3), 393-409. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2003.06.001

Karppinen, H., & Berghäll, S., 2015. Forest owners' stand improvement decisions: Applying the Theory of Planned Behavior. Forest Policy and Economics, 50, 275-284.

https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.09.009
Kok, M. T., Kok, K., Peterson, G. D., Hill, R., Agard, J., & Carpenter, S. R., 2017. Biodiversity and ecosystem services require IPBES to take novel approach to scenarios. Sustainability Science, 12(1), 177-181. https://doi.org/10.1007/s11625-016-0354-8
Lam, S. P., 2006. Predicting intention to save water: Theory of planned behavior, response efficacy, vulnerability, and perceived efficiency of alternative solutions 1. Journal of Applied Social Psychology, 36(11), 2803-2824. https://doi.org/10.1111/j.0021-9029.2006.00129.x
Landon, A. C., Kyle, G. T., & Kaiser, R. A., 2017. An augmented norm activation model: The case of residential outdoor water use. Society & Natural Resources, 30(8), 903-918. https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1239294
Larson, L. R., Stedman, R. C., Cooper, C. B., & Decker, D. J., 2015. Understanding the multi-dimensional structure of pro-environmental behavior. Journal of Environmental Psychology, 43, 112-124. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.06.004
Le Dang, H., Li, E., Nuberg, I., & Bruwer, J., 2014. Understanding farmers' adaptation intention to climate change: A structural equation modelling study in the Mekong Delta, Vietnam. Environmental Science & Policy, 41, 11-22. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.04.002
Lee, S. J., 2011. Volunteer tourists' intended Participation: Using the Revised Theory of Planned Behavior (Doctoral dissertation, University Libraries, Virginia Polytechnic Institute and State University). https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282273112269312
Lu, A. C. C., Gursoy, D., & Del Chiappa, G., 2016. The influence of materialism on ecotourism attitudes and behaviors. Journal of Travel Research, 55(2), 176-189. https://doi.org/10.1177/00472875145410
Medjahdi, B., Letreuch-Belarouci, A., Maazouz, S., & Taïbi, K., 2018. Diversité floristique des subéraies des monts de Tlemcen (Nord Ouest Algérien). Fl. Medit, 28, 67-77. https://doi.org/10. 10.7320/FlMedit28.067
Meijer, S. S., Catacutan, D., Sileshi, G. W., & Nieuwenhuis, M., 2015. Tree planting by smallholder farmers in Malawi: Using the theory of planned behaviour to examine the relationship between attitudes and behaviour. Journal of Environmental Psychology, 43, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.05.008
Møller, M., Haustein, S., and Bohlbro, M. S., 2018. Adolescents' associations between travel behaviour and environmental impact: A qualitative study based on the Norm-Activation Model. Travel Behaviour and Society, 11, 69-77. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.12.005
Mullan, B., Allom, V., Sainsbury, K., & Monds, L. A., 2015. Examining the predictive utility of an extended theory of planned behaviour model in the context of specific individual safe food-handling. Appetite, 90, 91-98. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.02.033
Newton, P., Miller, D. C., Byenkya, M. A. A., & Agrawal, A., 2016. Who are forest-dependent people? A taxo nomy to aid livelihood and land use decision-making in forested regions. Land Use Policy, 57, 388-395. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.05.032
Oettel, J., & Lapin, K., 2021. Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. Ecological Indicators, 122, 107275. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107275
Opp, K. D., 2013. Norms and rationality. Is moral behavior a form of rational action? Theory and Decision, 1-27. https://doi.org/10.1007/s11238-012-9315-6
Popa, B., Niță, M. D., & Hălălișan, A. F., 2019. Intentions to engage in forest law enforcement in Romania: An application of the theory of planned behavior. Forest Policy and Economics, 100, 33-43. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.11.005

Primmer, E., & Karppinen, H., 2010. Professional judgment in non-industrial private forestry: Forester attitudes and social norms influencing biodiversity conservation. Forest Policy and Economics, 12(2), 136-146. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.09.007

Raziuddin, K., Vaithianathan, S., 2018. A fresh look at understanding green consumer behavior among young urban Indian consumers through the lens of Theory of Planned Behavior. J. Clean. Prod. 183, 46–55. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.097

Roudgarmi, P., Anssari, N., Farahani, E., 2011. Determining effective socio-economic factors on degradation of Natural Resources in Tehran province, Iranian journal of Range and Desert Reseach, Vol. 18 No. (1), 2011. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2011.102052

Sánchez, M., López-Mosquera, N., Lera-López, F., & Faulin, J., 2018. An extended planned behavior model to explain the willingness to pay to reduce noise pollution in road transportation. Journal of cleaner production, 177, 144-154. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.210

Schneiderhan-Opel, J., & Bogner, F. X., 2021. Cannot See the Forest for the Trees? Comparing Learning Outcomes of a Field Trip vs. a Classroom Approach. Forests, 12(9), 1265. https://doi.org/10.3390/f12091265

Scholes, R., Montanarella, L., Brainich, A., Barger, N., ten Brink, B., Cantele, M., ... & Willemen, L., 2018. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat, Bonn, Germany. https://www.ipbes.net/system/tdf/spm_3bi_ldr_digital.pdf?file=1&type=node&id=28335

Si, H., Shi, J. G., Tang, D., Wu, G., & Lan, J., 2020. Understanding intention and behavior toward sustainable usage of bike sharing by extending the theory of planned behavior. *Resources, Conservation and Recycling*, *152*, 104513. https://doi.org/10.3390/ijerph16152788

Shin, Y. H., & Hancer, M., 2016. The role of attitude, subjective norm, perceived behavioral control, and moral norm in the intention to purchase local food products. Journal of foodservice business research, 19(4), 338-351. https://doi.org/10.1080/15378020.2016.1181506

Soorani, F., & Ahmadvand, M., 2019. Determinants of consumers' food management behavior: Applying and extending the theory of planned behavior. *Waste management*, *98*, 151-159. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.025

Strydom, W. F., 2018. Applying the theory of planned behavior to recycling behavior in South Africa. Recycling, 3(3), 43. https://doi.org/10.3390/recycling3030043

Sutherland, L. A., 2011. "Effectively organic": Environmental gains on conventional farms through the market? Land Use Policy, 28(4), 815-824. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.01.009

Trihadmojo, B., Jones, C. R., Prasastyoga, B., Walton, C., & Sulaiman, A., 2020. Toward a nuanced and targeted forest and peat fires prevention policy: Insight from psychology. Forest Policy and Economics, 120, 102293. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102293

Ullah, S., Abid, A., Aslam, W., Noor, R. S., Waqas, M. M., & Gang, T., 2021. Predicting behavioral intention of rural inhabitants toward economic incentive for deforestation in Gilgit-Baltistan, Pakistan. Sustainability, 13(2), 617. https://doi.org/10.3390/su13020617

Vaske, J. J., Landon, A. C., & Miller, C. A., 2020. Normative influences on farmers' intentions to practice conservation without compensation. Environmental Management, 66, 191-201. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01306-4

Wauters, E., Bielders, C., Poesen, J., Govers, G., & Mathijs, E., 2010. Adoption of soil conservation practices in Belgium: an examination of the theory of planned behaviour in the agri-environmental domain. Land use policy, 27(1), 86-94. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.009

Zhang, X., Geng, G., & Sun, P., 2017. Determinants and implications of citizens' environmental complaint in China: Integrating theory of planned behavior and norm activation model. Journal of Cleaner Production, 166, 148-156. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.020

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)

VOLUME 12, NO 47, Fall 2023

CONTENTS

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

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 Interdiciplinary research journal devoted to the publication of original scientific and technical papers in natural and technological hazards. The subjects include of full rang of Hazardous events from extreme Geological, Geomorphlogical, Hydrological, Atmospheric and Biological events such as earthquakes, subsidence, floods, debris flows, landslids, storms, desertification, air pollution and epidemics to technological Impacts and Human malifunction such as industrial explosions, fires, nuclear and toxic waste releases.
With an approach to Geography this journal highlightes issues of Geographically risk degree of regions, human exposure, vulnerability, awareness , respons to disasters and planning.
The role of hazards in affecting development process particularly in under development countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

NOTES FOR CONTRIBUTORS

Geography and Environmental Hazards is a bilingual Journal in Persian and English languages. Persian authors with papers in their own language must submit an extended abstracet in English. authors with English papers must submit the initial electronic mansuript to one of the following Addresses:
Journal website: **http://geoeh.um.ac.ir**
Journal Email: **geo.eh@ um.ac.ir**
The initial manuscript must be sent in two separate files, **word** and **pdf** form.

Manuscript Style

All submissians must be printed on A4 paper size, be double- line spaced and have a margin of 3.5 cm all round.
Illustrations and tables must be printed on separate sheets and not be incorporated into the text.
Title Page must list full title, short title, names and affilications of author(s), and full address of each author. The precise mailing address, Telephon, Fax, and Email address of the corresponding author.
Supply an abstract of up to 300 words and a keyword list up to 6 words below the abstract. The abstract should precise the paper, giving a clear indication of Its conclusions. It should contain no citation to other published works.

Reference Style

References should be presented in the text as name of author and year within brackets and listeted at the end of the paper alphabetically. All references in the reference list should appear in the text.
Where reference is made to more than one work by the same author published in the same year, identify each citation in the text as follows: (Baker, 1987 a), (Baker 1987b). Where three or more outhors are listed in the reference list, cite in the text as (Baker et al 1998) References should be listed in the following style:

- **Journals**: Baker, V.R., 1994. Geomorphological understanding of floods. Geomorphology 10, 139–156.
- **Books:** Huggett, R., 1989. Cataclysms and Earth history: the Development of Diluvialism. Clarendon Press, Oxford, 220 pp.
- **Proceedings**,: Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood Hydrology. In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Lavish, D.R. (Eds.), Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. Water Science and Application, vol. 5. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1–19.

Illustrations must relate clearly to the section in which appear and sholud be referred to in the text as **figure 1**. **figure 2**, etc. Illustrations should be supplied as **JPEG** or **TIFF** files, the filename must include the corresponding author, Surname and figure number. This journal is only greyscale so All figures (**Maps, graphs and pictures**) must be comprehensible in black and white, please use patterns to differentiate sections.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents
(Abstracts)

VOLUME 12, NO 47, Fall 2023 Pages

JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Research Journal

Volume. 12, No. 47,Fall 2023

ISSN:2322-1682
Published by
Ferdowsi University of Mashhad