

تهیه نقشه چندخطره استان مازندران با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی

نرجس محمودی وانعلیا

دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

میثم ارگانی*

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

محمدرضا جلوخانی نیارکی

دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله ۱۴۰۰/۸/۳ - پذیرش ۱۴۰۰/۱۰/۲۹)

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، تولید نقشه چندخطره^۱ استان مازندران با استفاده از ترکیب نقشه‌های مخاطرات سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی در نرم‌افزار ArcGIS است. معیارهای به‌کاررفته در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۲ وزن‌دهی شده و با به‌کارگیری روش چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)^۳ با یکدیگر ترکیب شدند. ارزیابی صحت نقشه‌های پتانسیل خطر به‌دست‌آمده نیز از راه مقایسه آنها با مخاطرات واقعی رخ داده انجام گرفت. در ادامه برای تولید نقشه چندخطره استان مازندران از دو روش همپوشانی طبقات پرخطر نقشه‌های خطر و میانگین هندسی کل طبقات استفاده شد. در پایان، با مقایسه نقشه چندخطره حاصل و نقشه جمعیت استان مازندران، میزان مساحت و جمعیت در معرض خطر بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که روش همپوشانی طبقات پرخطر، تنوع بیشتری از مخاطرات تهدیدکننده را نسبت به روش میانگین هندسی شامل می‌شود. همچنین نتایج بررسی‌ها بیانگر این است که حدود ۵۹٫۷ درصد از مساحت و ۳۰٫۶ درصد از جمعیت استان مازندران در معرض مخاطرات طبیعی قرار دارند که سهم هر یک از مخاطرات آتش‌سوزی، زمین‌لغزش و سیلاب به ترتیب ۱۸٫۴، ۱۸٫۲ و ۱۳٫۳ درصد از مساحت و ۴٫۱، ۶٫۵ و ۱۷٫۹ درصد از جمعیت در معرض خطر است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، ترکیب خطی وزن‌دار، روش تحلیل سلسله‌مراتبی، زمین‌لغزش، سیلاب، نقشه چندخطره.

Email: argany@ut.ac.ir

1. Multi-Hazard
2. Analytic Hierarchy Process
3. Weighted Linear Combination

* نویسنده مسئول

مقدمه

در سال‌های اخیر، مقیاس و فراوانی مخاطرات طبیعی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. داده‌ها و گزارش‌های منتشرشده در زمینه مخاطرات طبیعی، افزایش چنین وقایعی را در سراسر جهان نشان می‌دهند [۲۳]. پیامدهای منفی مخاطرات طبیعی با توجه به فراوانی و شدت وقوع خطرهای مختلف و همچنین شدت خسارت‌های ناشی از آن تعیین می‌شوند. در بیشتر موارد مخاطرات طبیعی با آسیب‌رسانی همراه‌اند که ارزیابی آن مستلزم شناسایی و درک میزان حساسیت عناصر مختلف در معرض خطر، به‌ویژه سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های مهم جوامع انسانی است [۱۲]. مناطق چندخطره، پتانسیل دریافت خسارت‌های شدیدتری را در زیرساخت‌ها، حمل‌ونقل و محیط زیست انسان‌ها دارند [۱۶]. سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی هستند [۱۹]. سیل یکی از خطرهای طبیعی متداول و مخرب در جهان است که شدت وقوع و تلفات ناشی از آن در سطح جهان، با افزایش چشمگیری روبه‌روست. در ایران نیز حاشیه جنوبی دریای خزر به‌خصوص شهرهای غربی استان مازندران همیشه با مشکل طغیان رودخانه‌ها مواجه بوده‌اند. براساس داده‌ها و آمار وزارت کشور در سال ۲۰۱۲، ۷۰ درصد از اعتبارات مربوط به جبران خسارت‌ها در استان مازندران، متعلق به خطر سیلاب است [۲۱]. زمین‌لغزش از شایع‌ترین بلایای زمین‌شناسی است که سالانه موجب مرگ‌ومیر ۱۰۰۰ نفر و حدود ۴ میلیارد دلار خسارت مالی در سطح جهان می‌شود [۱۱]. استان مازندران بیشترین میزان وقوع زمین‌لغزش را در ایران دارد. بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ بیش از ۵۰۰ مورد زمین‌لغزش در استان مازندران اتفاق افتاده و خسارت‌های فراوانی را به اراضی جنگلی، روستاها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها وارد کرده است [۲۰]. آتش‌سوزی نیز یکی از تهدیدهای اصلی محیط زیست با اثرهای منفی فراوان است که پیامدهای ناشی از آن در بعضی از موارد تا بیش از ۱۰ سال بعد از وقوع ادامه دارد [۸]. در ایران آتش‌سوزی یکی از بحران‌های مهم اکوسیستم‌های جنگلی و از عوامل اصلی جنگل‌زدایی، نابودی زیست‌توده و تخریب نواحی شمالی کشور به‌شمار می‌آید. براساس اعلام ارزیابی منابع جهانی جنگل‌ها (FAO) (2015)، سالانه حدود ۳۴۰۰ هکتار از جنگل‌ها و ۸۸ هزار هکتار از اراضی کشور ایران بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ دچار آتش‌سوزی شده‌اند [۶]. پیشرفت‌های اخیر فناوری‌های اطلاعات جغرافیایی در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی سبب شده که این فناوری‌ها به‌عنوان

ابزاری برای ارزیابی مخاطرات محیطی استفاده شوند. در این زمینه، GIS^۱ ابزاری عالی برای ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی است که امکان ترکیب مقادیر عددی و توصیفی با داده‌های مکانی را فراهم می‌آورد [۱۵]. روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)^۲ نیز به‌طور گسترده در یکپارچه‌سازی، شناسایی یا رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار و به‌ویژه در تجزیه و تحلیل مخاطرات طبیعی به‌کار گرفته شده‌اند. این روش‌ها با اعمال راهبردهای مختلف تصمیم‌گیری می‌توانند دقت مدل‌سازی مکانی مخاطرات طبیعی را افزایش دهند [۹]. روش مقایسه زوجی AHP از رایج‌ترین روش‌های تخمین وزن معیارها در کاربردهای مختلف GIS-MCDA است که در بسیاری از موقعیت‌های مختلف تصمیم‌گیری مانند مشکلات مربوط به انتخاب مکان و ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی کاربرد دارد [۱۵].

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های بسیار زیادی در زمینه مدل‌سازی چندخطره مخاطرات طبیعی انجام گرفته است. برای مثال، ناکاپا و همکاران با استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی^۳ و ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۴ نقشه چندخطره سیلاب و زمین‌لغزش را در ایالت سالزبورگ اتریش تولید کردند [۱۶]. جاویدان و همکاران با ترکیب مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و نقشه‌های حساسیت به فرسایش گالی، نحوه مدیریت خطر و برنامه‌ریزی کاربری اراضی را در حوضه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان بررسی کردند [۱۳]. پورقاسمی و همکاران توزیع مکانی نقشه‌های خطر سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی جنگل‌ها را به‌صورت نقشه چندخطره در استان فارس تهیه کردند [۱۹]. اکشا و همکاران سه خطر زمین‌لغزش، سیلاب و زمین‌لرزه را با استفاده از روش‌های AHP و آماری در نپال ارزیابی کردند [۷]. اسکیلودیمو و همکاران [۲۲] از روش AHP مبتنی بر GIS در یونان برای تولید نقشه چندخطره زمین‌لغزش، سیلاب و زمین‌لرزه استفاده کردند.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که تولید نقشه چندخطره تأثیر بسیار مهمی در شناسایی و نحوه توزیع مکانی مخاطرات طبیعی خواهد داشت و راهنمای بسیار مناسبی برای مدیران و برنامه‌ریزان مناطق به‌منظور کسب آمادگی لازم برای مواجهه با مخاطرات احتمالی خواهد بود. هدف این پژوهش تهیه نقشه چندخطره استان مازندران با استفاده از ترکیب نقشه‌های خطر سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی است. نوآوری این پژوهش نسبت به

1. Geographic Information System
2. Multi-Criteria Decision Analysis
3. Random Forest
4. Support Vector Machine

پژوهش‌های گذشته، به‌کارگیری دو روش مختلف برای ترکیب نقشه‌های خطر به‌منظور تولید نقشه چندخطره و تعیین کارایی هر یک از آنها در تشخیص مناطق آسیب‌پذیر استان مازندران است. همچنین در این پژوهش، مساحت و جمعیت در معرض آسیب مخاطرات مختلف نیز در استان مازندران بررسی و شناسایی شد.

منطقه پژوهش

استان مازندران با مساحت تقریبی ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع در شمال ایران قرار دارد و جمعیت آن بالغ بر ۳ میلیون نفر است (۴/۹ درصد از جمعیت ایران). بیشتر نقاط استان مازندران آب‌وهوای معتدل و مرطوب دارند. میانگین بارندگی در این منطقه در حدود ۵۰۰ میلی‌متر در سال و بیش از متوسط کشور است. حداکثر بارش (۱۴۰۰ میلی‌متر) در نواحی غربی استان اتفاق می‌افتد [۲۱]. این منطقه به‌دلیل شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، محیط هیدروژئولوژیکی و فعالیت‌های انسانی، در معرض بسیاری از مخاطرات طبیعی مانند سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی قرار دارد که هر ساله هزینه‌های مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی را وارد می‌کنند. در شکل ۱ نمای کلی استان مازندران نشان داده شده است.

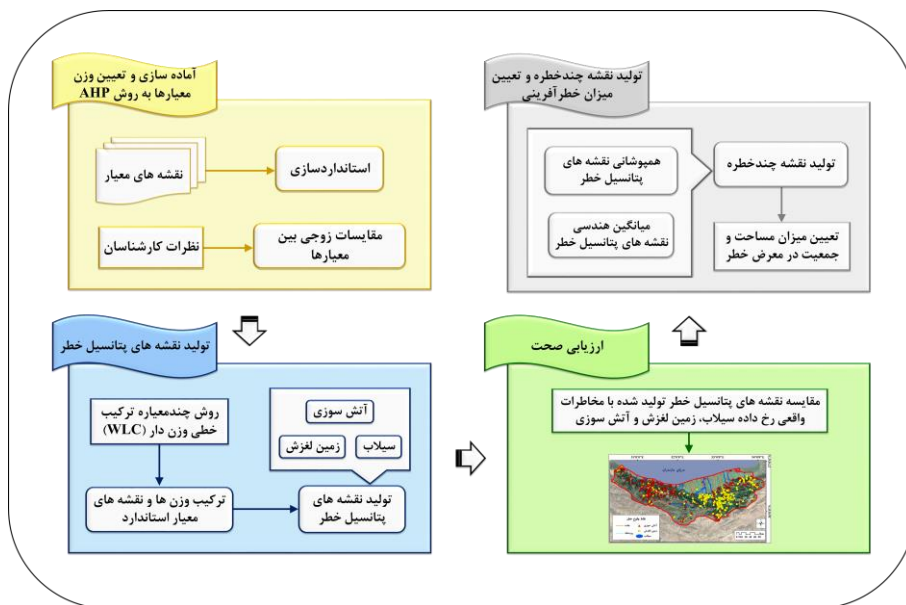


شکل ۱. موقعیت منطقه پژوهش

روش پژوهش

مراحل کلی پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است. اولین قدم در چارچوب پیشنهادی، تولید نقشه‌های معیار استاندارد و تعیین وزن و اهمیت هر یک از آنها با استفاده از روش AHP و نظر کارشناسان بود. در مرحله دوم با استفاده از روش چندمعیاره WLC، نقشه‌های معیار استاندارد و

وزن‌های محاسبه‌شده با یکدیگر ترکیب و نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی تولید شدند. صحت نقشه‌های پتانسیل تولیدشده با استفاده از مخاطرات واقعی رخ داده بررسی شد. در مرحله بعد با استفاده از میزان همپوشانی و توزیع مکانی مناطق پرخطر پیش‌بینی‌شده و میانگین هندسی نقشه‌های پتانسیل خطر، نقشه نهایی چندخطره تولید شد. در پایان با مقایسه نقشه چندخطره حاصل و نقشه جمعیت استان مازندران، میزان جمعیت و مساحت در معرض آسیب هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی تعیین و ارزیابی شد.

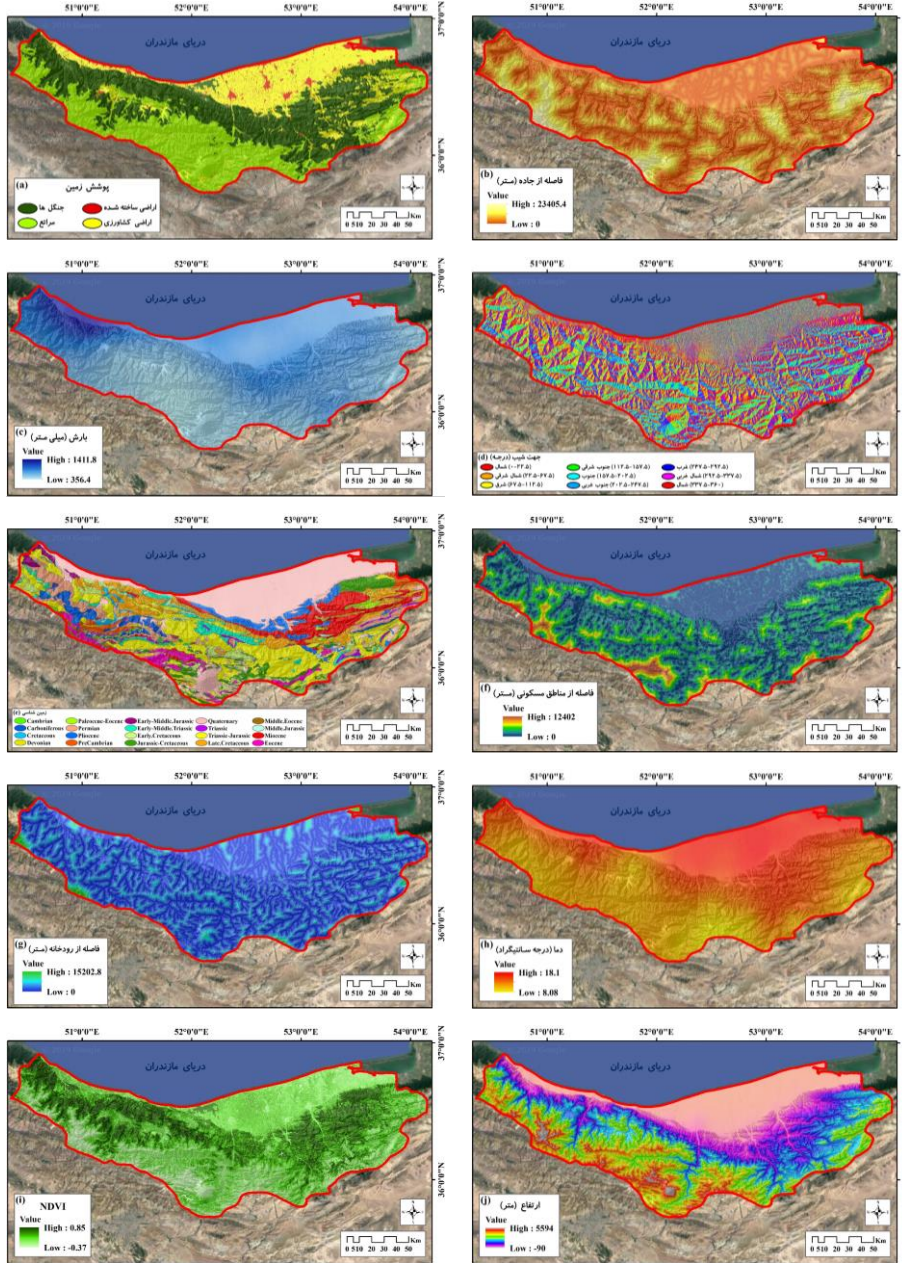


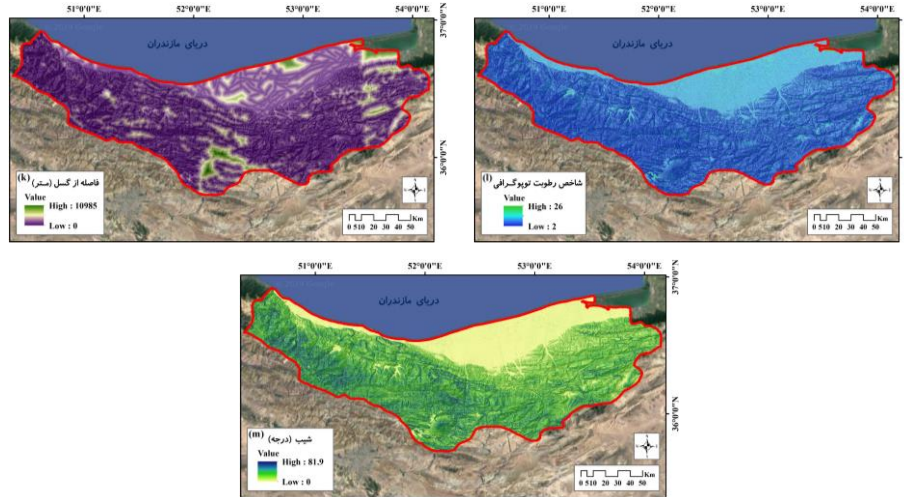
شکل ۲. مراحل تولید نقشه چندخطره استان مازندران با استفاده از روش وزن دهی AHP و روش چندمعیاره GIS-WLC.

داده‌ها و تحلیل

تولید نقشه‌های معیار

پس از بررسی پژوهش‌های پیشین در این زمینه و شرایط جغرافیایی، اجتماعی و کالبدی منطقه، هشت معیار برای تولید هر یک از نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی انتخاب شد (شکل ۳). در ادامه نحوه ارتباط آنها با هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی بررسی شده است.





شکل ۳. معیارهای استفاده‌شده در تحقیق. (a): پوشش زمین، (b): فاصله از جاده، (c): بارندگی، (d): جهت شیب، (e): زمین‌شناسی، (f): فاصله از مناطق مسکونی، (g): فاصله از رودخانه، (h): دما، (i): NDVI، (j): ارتفاع، (k): فاصله از گسل، (l): شاخص رطوبت توپوگرافی، (m): میزان شیب.

معیارهای مؤثر برای تهیه نقشه پتانسیل خطر سیلاب عبارت است از فاصله از رودخانه، ارتفاع، میزان شیب، بارندگی، پوشش زمین، زمین‌شناسی، TWI و NDVI. مناطق نزدیک به رودخانه‌ها از آسیب‌پذیرترین مناطق در زمان طغیان رودخانه‌ها و وقوع سیلاب‌اند. برای تهیه نقشه معیار فاصله از رودخانه، از ابزار Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. ارتفاع و درجات شیب هر منطقه با تأثیر بر سرعت جریان آب و مقدار نفوذ، نحوه تجمع آب را در زیرحوضه‌ها تعیین می‌کنند. در این پژوهش برای تولید نقشه ارتفاع، از محصول مدل رقومی ارتفاع جهانی (GDEM)^۱ سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)^۲ تهیه شده بود. نقشه معیار شیب نیز با استفاده از داده GDEM و ابزار 3D Analyst در نرم‌افزار ArcGIS تولید شد. مقدار بارش تأثیر بسیار مهمی در حجم رواناب تولیدشده در منطقه و همچنین حجم آب موجود در رودخانه‌ها دارد. در این پژوهش برای تولید نقشه بارندگی از روش درون‌یابی kriging (به دلیل برآورد دقیق‌تر از روش‌های دیگر) و داده‌های بارندگی سالانه با دوره بازگشت ۲۵ ساله استفاده شد. این داده‌ها توسط ایستگاه‌های باران‌سنجی استان

1. Global Digital Elevation Model
2. United States Geological Survey

مازندران ثبت شده‌اند. نوع پوشش زمین و جنس کانی‌ها و سازندها نیز با تأثیر بر مقدار نفوذ آب و استحکام خاک، در شکل‌گیری سیلاب مؤثرند [۱۰]. برای تولید نقشه پوشش زمین از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۲۰ و روش نظارت‌شده SVM (به دلیل برآورد دقیق‌تر از دیگر روش‌های نظارت‌شده) در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. نقشه پوشش زمین حاصل به چهار طبقه غالب موجود در منطقه (جنگل‌ها، مراتع، اراضی کشاورزی و اراضی ساخته‌شده) تقسیم شد. نقشه زمین‌شناسی نیز نقشه تهیه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ بود. معیار TWI نشان‌دهنده قابلیت و پتانسیل مکانی خاص در تجمع آب است و به صورت کمی، تأثیر توپوگرافی حوضه را در تولید رواناب توصیف می‌کند [۱]. برای تهیه معیار TWI از داده GDEM منطقه در نرم‌افزار SAGA GIS استفاده شد. معیار NDVI نیز وضعیت تراکم پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهد. برای تولید نقشه NDVI در نرم‌افزار ArcGIS از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصویر ماهواره سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۰ استفاده شد.

معیارهای مؤثر برای تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین‌لغزش عبارت است از بارندگی، ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده‌های اصلی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل و NDVI. بارش باران موجب افزایش رطوبت خاک سطحی و در صورت تداوم و افزایش شدت، سبب نفوذ آب به لایه‌های عمیق‌تر می‌شود. اگر نوع مواد و سازندهای زمین‌شناسی منطقه مانند لایه‌ها و سازندهای مارنی و رسی، استحکام کافی را در برابر افزایش رطوبت نداشته باشند و جهت شیب آنها نیز با جهت شیب توپوگرافی منطقه همسو باشد، با جابه‌جایی و شسته شدن سریع این مواد در دامنه‌های پایین‌تر، سازندها به سمت پایین دست حرکت می‌کنند و سبب لغزش زمین می‌شوند. ارتفاع و شیب زمین، از پارامترهای بسیار مهم در شکل‌گیری زمین‌لغزش به شمار می‌آیند. درجه شیب، سرعت حرکت و انتقال مواد مختلف را در دامنه کنترل می‌کند. از طرفی هر گونه تغییر در محیط طبیعی (مانند راه‌سازی)، سبب فرسایش و تغییر رفتار خاک منطقه می‌شود و وقوع پدیده زمین‌لغزش را تشدید می‌کند [۲]. در بسیاری از موارد، وقوع زمین‌لغزش‌ها و حرکات توده‌ای با محل گسل‌های تکتونیکی در ارتباط است. به‌طور کلی، گسل‌ها به‌عنوان صفحات شکست شیب عمل می‌کنند و با داشتن توان لرزه‌زایی، تضعیف استحکام سنگ‌ها و در بعضی موارد، افزایش نفوذ آب به درون آنها، وقوع زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند [۳]. برای تهیه نقشه فاصله از گسل و نقشه فاصله از جاده‌های اصلی از ابزار Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

وقوع زمین‌لغزش اغلب در زمین‌های مرطوب و سست اطراف رودخانه‌ها به‌خصوص در مواقع بارندگی شدید، طغیان رودخانه‌ها و همچنین فرایند زیربری رود دیده می‌شود. پوشش گیاهی متراکم نیز سبب استحکام پوشش خاک و تثبیت دامنه‌ها می‌شود و با افزایش نفوذ آب و کاهش رواناب، مقاومت و پایداری خاک را در برابر زمین‌لغزش افزایش می‌دهد.

معیارهای مؤثر برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی عبارت است از جهت شیب، NDVI، بارندگی، دما، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه و ارتفاع. جهت شیب از طریق زاویه تابش خورشید و مقدار گرمای دریافتی در آتش‌سوزی تأثیرگذار است. با افزایش گرمای دریافتی، فرایند تبخیر و تعرق افزایش و رطوبت نسبی کاهش می‌یابد و در نتیجه، شدت و سرعت فرایند احتراق افزایش می‌یابد [۴]. دما و بارندگی از عوامل اقلیمی مؤثر بر آتش‌سوزی‌اند. افزایش دما و کاهش بارندگی سبب افزایش پتانسیل خطر آتش‌سوزی در منطقه می‌شوند. پوشش گیاهی نیز از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین پتانسیل خطر آتش‌سوزی است. تراکم پوشش گیاهی به شرایط آب‌وهوایی منطقه بستگی دارد و تحت تأثیر تغییرات عناصر اقلیمی قرار می‌گیرد. فعالیت‌ها و عوامل انسانی به‌طور تصادفی/سهل‌انگاری یا با اقدام عمدی، اثر بسیار زیادی در وقوع آتش‌سوزی دارند. فاصله از جاده و فاصله از مناطق مسکونی نیز از عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی از طریق عوامل انسانی‌اند. مناطق نزدیک رودخانه‌ها اغلب به‌دلیل برخورداری از شرایط مناسب هیدرولوژی با تغییر کاربری زمین به اراضی کشاورزی و باغات مواجه‌اند. در نتیجه در این مناطق احتمال وقوع آتش‌سوزی به‌دلیل مراقبت و کنترل صاحبان اراضی کاهش می‌یابد [۵]. ارتفاع و موقعیت خاص توپوگرافی در منطقه با تأثیر بر صعود هوای مرطوب در دامنه‌های رو به باد و نزول هوای خشک و گرم در دامنه‌های پشت به باد، سبب شکل‌گیری گرمبادها (باد فون)^۱ می‌شود و در صورت وجود دیگر عوامل مؤثر، احتمال وقوع آتش‌سوزی را در این مناطق افزایش می‌دهد [۴].

پیش‌پردازش و محاسبه وزن معیارها

هر یک از معیارهای به‌کاررفته در تحقیق دارای واحدهای متفاوتی است؛ بنابراین باید با توجه به نحوه ارتباط آنها با هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی، استانداردسازی و بی‌بعد شوند [۲۵]. پس از استانداردسازی، از روش AHP برای محاسبه وزن هر یک از معیارها استفاده شد. روش AHP از مقیاسی نه امتیازی برای مقایسه زوجی معیارها و بیان اولویت‌های

آنها نسبت به یکدیگر استفاده می‌کند. در این روش، قضاوت درباره معیارها براساس اطلاعات، دانش و تجربه کارشناسان انجام می‌گیرد. پس از اعمال نظر کارشناسان و تعیین وزن هر یک از معیارها، از روش‌های ریاضی برای تعیین نرخ سازگاری (CR) ^۱ بین قضاوت‌ها استفاده شد تا میزان ثبات و پایداری آنها بررسی شود [۱۵].

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (WLC)

WLC رایج‌ترین روش در آنالیزهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است که از مفهوم میانگین وزنی استفاده می‌کند. در این روش، مقدار گزینه (موقعیت) نام از طریق ضرب وزن معیارها (w_1, w_2, \dots, w_n) در مقادیر آنها (a_1, a_2, \dots, a_m)، محاسبه می‌شود (رابطه ۱):

$$V(A_i) = \sum_{k=1}^n W_k v(a_{ik}) \quad (1)$$

n بیانگر تعداد معیارها، k بیانگر معیار موردنظر، i بیانگر گزینه‌های معیار k و $V(A_i)$ مقدار نهایی گزینه نام است [۱۵].

تحلیل داده‌ها

در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های معیار استاندارد، وزن‌های مبتنی بر روش AHP و به‌کارگیری روش WLC، نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در استان مازندران تولید شد. جدول ۱ وزن‌های اختصاص یافته به معیارها را در هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی نشان می‌دهد.

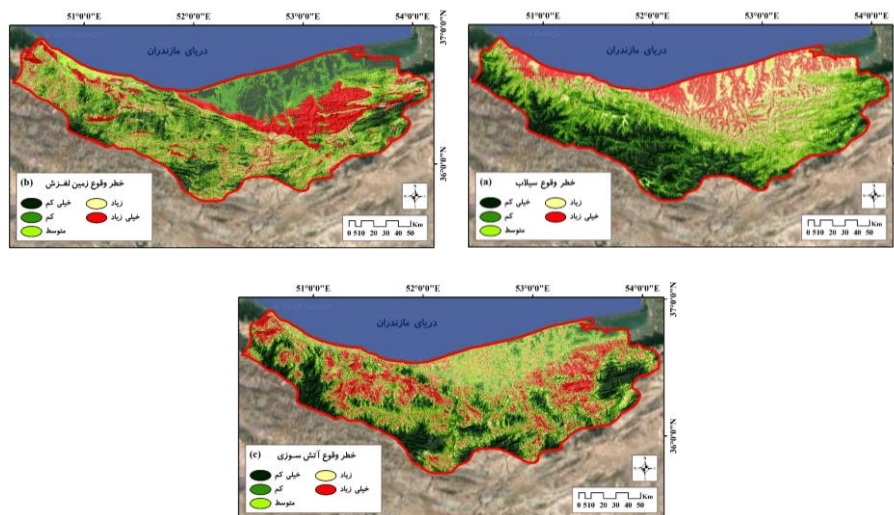
جدول ۱. وزن اختصاص داده شده به معیارها در مخاطرات مختلف.

سیلاب	زمین‌لغزش	آتش‌سوزی
بارندگی - ۰/۰۷۸	بارندگی - ۰/۱۰۹	بارندگی - ۰/۰۲۶
NDVI - ۰/۰۴۳	NDVI - ۰/۰۷۲	NDVI - ۰/۱۷۵
ارتفاع - ۰/۱۷۴	ارتفاع - ۰/۰۴۸	ارتفاع - ۰/۱
فاصله از رودخانه - ۰/۳۲۶	فاصله از رودخانه - ۰/۰۳۱	فاصله از رودخانه - ۰/۰۱۹
TWI - ۰/۱۱۳	میزان شیب - ۰/۱۹۷	فاصله از جاده - ۰/۲۹۲
میزان شیب - ۰/۲۰۸	زمین‌شناسی - ۰/۳۶۱	جهت شیب - ۰/۰۶۸
زمین‌شناسی - ۰/۰۲۳	فاصله از جاده - ۰/۱۶۳	دما - ۰/۰۴۶
پوشش زمین - ۰/۰۳۵	فاصله از غسل - ۰/۰۱۹	فاصله از مناطق مسکونی - ۰/۲۷۴

1. Compatibility Rate

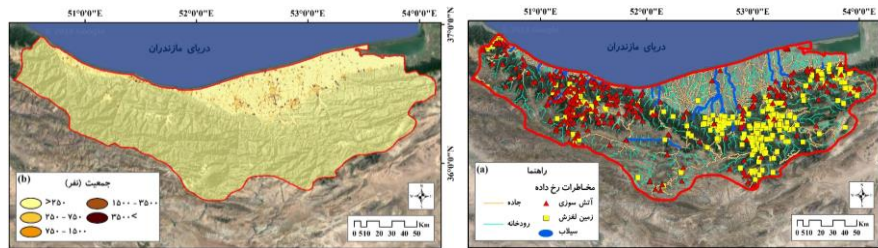
نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی مبتنی بر روش WLC نیز در شکل ۴ آورده شده است. هر یک از این نقشه‌ها به‌منظور بررسی مناطق دارای پتانسیل خطر، به پنج طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴-a نشان داده شده، بیشتر پتانسیل خطر سیلاب مربوط به مناطق شمالی استان است. این مناطق دارای حداکثر تراکم رودخانه‌ها و شبکه‌های زهکشی و حداقل ارتفاع و درجات شیب هستند. این عوامل سبب می‌شوند رواناب‌های ناشی از بارش باران و ذوب برف‌ها از اراضی بالادست زیرحوضه‌ها به این قسمت هدایت شوند که در شرایط بحرانی و باران‌های شدید این حجم از رواناب تولیدی به‌دلیل نبود زمان کافی برای نفوذ و تخلیه در دریا، سبب تجمع آب در این منطقه و تشدید خطر وقوع سیلاب می‌شوند. این پیامدها در غرب استان مازندران به‌دلیل نزدیکی کوه به دریا و در نتیجه زمان کمتر تمرکز آب برای جابجایی به مناطق پایین‌دست، شرایط وخیم‌تری را ایجاد می‌کنند. افزون‌بر این، بیشتر جمعیت شهری و روستایی و اراضی کشاورزی و باغ‌های استان مازندران در مناطق کم‌شیب شمال استان متمرکزند که با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌شدت در معرض تهدید و آسیب خطر سیلاب و فرسایش خاک قرار دارند. شکل ۴-b، مناطق دارای پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در استان مازندران را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، بیشترین احتمال وقوع زمین‌لغزش در رسوبات جدید کواترنری و مناطق پرشیب نزدیک جاده‌ها در استان مازندران است. مقاومت بسیار کم سازندهای موجود در این مناطق، وقوع بارش‌های شدید و طولانی‌مدت و نیز تأسیس جاده‌ها در اراضی نامناسب و شیب‌های تند، با تغییر هندسه شیب و کاهش استحکام اراضی، سبب وقوع زمین‌لغزش در این منطقه می‌شوند. از طرفی گسترش نواحی مسکونی در مناطق کوهستانی و حمل‌ونقل‌های غیراصولی در دامنه‌های حساس نیز خطر وقوع زمین‌لغزش را در استان مازندران افزایش می‌دهند و هرساله خسارت‌های جانی، عمرانی و اقتصادی فراوانی به جوامع انسانی وارد می‌کنند. مناطق دارای پتانسیل وقوع آتش‌سوزی نیز در شکل ۴-c نشان داده شده است. مطابق این شکل، اراضی جنگلی نزدیک جاده‌ها و مناطق مسکونی کوهستانی، بیشترین خطر وقوع آتش‌سوزی را نشان می‌دهند. در نتیجه در این مناطق، عوامل انسانی تأثیر بسیار مهمی در ایجاد و وقوع آتش‌سوزی دارند. این جنگل‌ها به‌دلیل برخورداری از طبیعت بسیار زیبا و عرصه‌های طبیعی مختلف، گردشگران بسیار زیادی را در فصول مختلف سال به خود جذب می‌کنند که اغلب، سهل‌انگاری و بی‌احتیاطی گردشگران و افزایش تردد آنها، سبب وقوع آتش‌سوزی در این مناطق می‌شود. این موارد به‌ویژه در غرب استان، آسیب‌پذیری و حساسیت جنگل‌های دست‌کاشت در برابر خطر وقوع آتش‌سوزی را افزایش داده است. آتش‌زدن بقایای

مزارع کشاورزی در نزدیکی جنگل‌ها و مراتع نیز دیگر از عوامل آتش‌سوزی در این مناطق است که اغلب به دلیل ارتفاع و سرعت وزش باد، احتمال وقوع و گسترش آتش‌سوزی به عرصه‌های دیگر نیز وجود دارد.



شکل ۴. نقشه‌های پتانسیل خطر در پنج طبقه مختلف. (a): سیلاب، (b): زمین‌لغزش و (c): آتش‌سوزی.

به منظور برآورد حد صحت و عملکرد نقشه‌های پتانسیل خطر تولیدشده، مقایسه آنها با مخاطرات واقعی رخ داده در استان مازندران صورت گرفت. این مقایسه از طریق دو معیار معرفی شده توسط کیاورز و جلوخانی [۱۴] انجام گرفت که شامل (i) درصد تعداد مخاطرات واقعی رخ داده سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در هر طبقه به کل تعداد وقایع و (ii) تقسیم معیار i بر نسبت مساحت هر طبقه به مساحت کل منطقه است که نرخ پیش‌بینی در نظر گرفته شده است. این دو معیار در واقع حد همپوشانی مناطق پرخطر پیش‌بینی شده در هر یک از نقشه‌های مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی را با مخاطرات واقعی رخ داده آنها نشان می‌دهند. نتایج این ارزیابی در جدول ۲ نشان آورده شده است. مخاطرات واقعی رخ داده سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی طی یک دوره ۲۵ ساله نیز در شکل ۵-a نشان داده شده که از ارگان‌های دولتی تهیه شد.



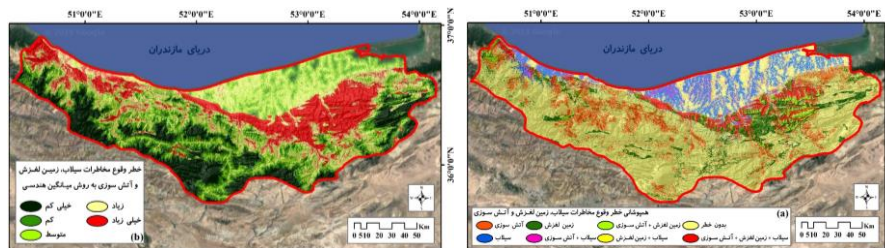
شکل ۵. (a): مخاطرات واقعی رخ داده سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی در استان مازندران و (b): نقشه جمعیت استان مازندران در سال ۱۳۹۵.

جدول ۲. نرخ پیش‌بینی (ii) و درصد مخاطرات واقعی سیلاب (i)، زمین لغزش و آتش‌سوزی در طبقات مختلف

طبقات	خیلی کم		کم		متوسط		زیاد		خیلی زیاد	
	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i
سیلاب	۰	۰	۰٫۲	۰٫۰۱	۱٫۷	۰٫۰۸	۲۲	۰٫۸۵	۷۶٫۱	۵٫۶۴
زمین لغزش	۲٫۹	۰٫۱۵	۹٫۶	۰٫۴۴	۱۳٫۴	۰٫۶۴	۱۸٫۱	۰٫۹۳	۵۶	۳٫۰۵
آتش‌سوزی	۳٫۳	۰٫۱۶	۱۰٫۱	۰٫۵	۱۹٫۱	۰٫۹	۲۵٫۸	۱٫۲۹	۴۱٫۷	۲٫۲۴

مطابق جدول ۲، در همه نقشه‌های پتانسیل خطر تولیدشده، نسبت درصد تعداد مخاطرات واقعی رخ داده به کل وقایع از طبقه خیلی کم به طبقه خیلی زیاد افزایش یافته است. به طوری که ۷۶٫۱، ۵۶ و ۴۱٫۷ درصد از مخاطرات رخ داده سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی با طبقه دارای پتانسیل خطر بسیار زیاد همپوشانی داشته‌اند. نرخ پیش‌بینی نیز در طبقه پرخطر مقادیری بیشتر از طبقات دیگر را نشان می‌دهد. در نتیجه بیشتر مناطقی که درست پیش‌بینی شده‌اند، در طبقه دارای پتانسیل خطر بسیار زیاد قرار دارند. این موارد صحت مناسب نقشه‌های پیش‌بینی مخاطرات سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی را نشان می‌دهند.

با همپوشانی طبقات پرخطر در هر یک از نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی که در شکل ۴ با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند، نقشه چندخطره استان مازندران تهیه شد (شکل ۶-a). این نقشه نحوه آسیب‌پذیری مناطق مختلف استان مازندران را در برابر هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین لغزش و آتش‌سوزی نشان می‌دهد. دیگر مناطق استان نیز به صورت مناطق بدون خطر معرفی شده‌اند.

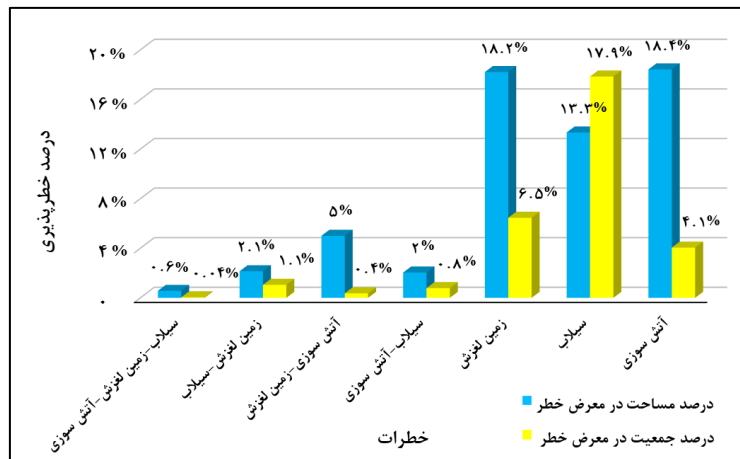


شکل ۶. نقشه چندخطره استان مازندران. (a): روش همپوشانی طبقات پرخطر و (b): میانگین هندسی نقشه‌های مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی.

در کنار روش همپوشانی طبقات پرخطر، از میانگین هندسی کل طبقات نیز برای تولید نقشه چندخطره استفاده شد (شکل ۶-ب). علت استفاده از این روش، به‌کارگیری مفهوم میانگین هندسی و حفظ میزان ارزش داده‌ها و موقعیت‌های مکانی پرخطر در هر یک از نقشه‌های پتانسیل خطر است. با توجه به اینکه با طبقه‌بندی نقشه‌های پتانسیل خطر، دامنه مقادیر متفاوتی از نتایج به طبقه با خطر خیلی زیاد اختصاص می‌یابند، این روش می‌تواند با حذف تأثیر طبقه‌بندی نقشه‌ها، مناطق پرخطر حاصل از هر سه نقشه را تولید کند. همان‌طور که در شکل ۶-ب نشان داده شده، نقشه چندخطره حاصل از میانگین هندسی، با اینکه مناطق پرخطر بیشتری را نسبت به روش قبل نشان می‌دهد، قابلیت کمتری از روش همپوشانی طبقات پرخطر دارد؛ زیرا مقادیر پرخطر معرفی شده در این روش، تفکیک‌پذیر به هر یک از مخاطرات مختلف سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی نیست.

در ادامه با مقایسه نقشه چندخطره حاصل از روش همپوشانی طبقات پرخطر و نقشه جمعیت استان مازندران (شکل ۵-ب)، میزان مساحت و جمعیت در معرض تهدید هر یک از مخاطرات سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی بررسی شد (شکل ۷). بر این اساس، در حدود ۵۹٫۷ درصد از مساحت و ۳۰٫۶ درصد از جمعیت استان مازندران در معرض یک تا چند خطر طبیعی قرار دارند و هر یک از مخاطرات آتش‌سوزی، زمین‌لغزش و سیلاب به‌ترتیب با ۱۸٫۴، ۱۳٫۳ و ۱۸٫۲ درصد، بیشترین مساحت و با ۴٫۱، ۶٫۵ و ۱۷٫۹ درصد، بیشترین جمعیت استان مازندران را تهدید می‌کنند. همچنین مخاطرات زمین‌لغزش - آتش‌سوزی با احتمال وقوع ۵ درصد، بیشترین مساحت و مخاطرات زمین‌لغزش - سیلاب با احتمال وقوع ۱٫۱ درصد، بیشترین جمعیت را نسبت به دیگر مخاطرات مشترک در بر می‌گیرند. حدود ۰٫۶ درصد از مساحت و ۰٫۴ درصد از جمعیت استان مازندران نیز در معرض هر سه خطر قرار دارند. این مناطق بیشتر

در نوار مرکزی استان مازندران واقع شده‌اند و حساسیتی بیشتر از دیگر مناطق استان مازندران دارند و باید توجه و مراقبت بیشتری در مدیریت و استفاده از آنها به عمل آید.



شکل ۷. درصد مناطق و جمعیت در معرض خطر سیلاب، زمین لغزش و آتش سوزی در استان مازندران.

نتیجه‌گیری

رویکرد چندخطره به دلیل پوشش تعامل متقابل چند خطر در هر منطقه، به منظور مدیریت مطلوب مخاطرات طبیعی و کاهش پیامدهای منفی ناشی از آنها کاربرد دارد. این پژوهش با هدف ترکیب نقشه‌های پتانسیل مخاطرات سیلاب، زمین لغزش و آتش سوزی (به دلیل وقوع سالانه این مخاطرات) و تولید نقشه چندخطره استان مازندران، به شناسایی و تعیین میزان جمعیت و مساحت در معرض تهدید این مخاطرات پرداخته است. مدیران بخش‌های دولتی و خصوصی می‌توانند از یافته‌های این پژوهش برای اتخاذ راهبردهای مناسب و بهبود اهداف و تصمیم‌گیری‌ها در بهره‌گیری از منابع مختلف طبیعی استفاده کنند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از مدل‌های هوش مصنوعی مانند روش‌های یادگیری عمیق و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر کامپیوتر برای تعیین مناطق مستعد چند خطر استفاده شود و نتایج به منظور دستیابی به مدل‌های دقیق‌تر، ارزیابی و با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مقایسه شود.

منابع

- [۱]. پیروزی‌نژاد، سجاد؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ و ذاکری‌نژاد، رضا (۱۳۹۶). «ارزیابی شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) در فرسایش آبکندی (مطالعه موردی: حوضه الوند، استان کرمانشاه)»، پانزدهمین کنگره ملی علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۶-۸ شهریور.
- [۲]. دلجویی، آزاده؛ حسینی، سید عطاالله؛ و صادقی، سید محمدمعین (۱۳۹۵). «ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی»، ترویج و توسعه آبخیزداری، دوره ۴، شماره ۱۳، ص ۱۴-۷.
- [۳]. سعادت‌نیا، آرزو؛ رحیمی، عزیز؛ رقیمی، مصطفی؛ رضایی، حامد؛ و رادفر، علی (۱۳۹۴). «بررسی رابطه بین زمین‌لغزش و زلزله (مطالعه موردی مینودشت)»، سی‌وچهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، ۳-۵ اسفند.
- [۴]. عزیزی، قاسم؛ و یوسفی، یداله (۱۳۸۸). «گرمباد (باد فون) و آتش‌سوزی جنگل در استان‌های مازندران و گیلان (نمونه: آتش‌سوزی تاریخ ۲۵-۳۰ آذر ۱۳۸۴)»، تحقیقات جغرافیایی، ۲۴ (۱)، ص ۲۸-۳.
- [۵]. محمدی، فریده؛ شعبانیان، نقی؛ پورهاشمی، هدی؛ و فاتحی، پرویز (۱۳۸۹). «تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پناه»، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۱۸، شماره ۴، ص ۵۸۶-۵۶۹.
- [6]. Adab, H.; Atabati, A.; Oliveira, S.; & Gheshlagh, A.M. (2018). "Assessing fire hazard potential and its main drivers in Mazandaran province, Iran: a data-driven approach", *Environmental monitoring and assessment*, 190 (11), pp: 1-20.
- [7]. Aksha, S. K.; Resler, L. M.; Juran, L.; & Carstensen Jr, L. W. (2020). "A geospatial analysis of multi-hazard risk in Dharan, Nepal. *Geomatics*", *Natural Hazards and Risk*, 11 (1), pp: 88-111.
- [8]. Alkhatib, A.A. (2014). "A review on forest fire detection techniques", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10 (3), pp: 1-12.
- [9]. Al-shabeeb, A.R. (2016). "The use of AHP within GIS in selecting potential sites for water harvesting sites in the Azraq Basin-Jordan", *Journal of Geographic Information System*, 8 (1), pp: 73-88.
- [10]. Apollonio, C.; Balacco, G.; Novelli, A.; Tarantino, E.; & Piccinni, A.F. (2016). "Land use change impact on flooding areas: The case study of Cervaro Basin (Italy)", *Sustainability*, 8 (10), pp: 1-18.
- [11]. Chen, W.; Pourghasemi, H.R.; Kornejady, A.; & Zhang, N. (2017). "Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques", *Geoderma*, 305, pp: 314-327.

- [12]. Fuchs, S.; Birkmann, J.; & Glade, T. (2012). "Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges", *Natural Hazards*, 64 (3), pp: 1969-1975.
- [13]. Javidan, N.; Kavian, A.; Pourghasemi, H. R.; Conoscenti, C.; Jafarian, Z.; & Rodrigo-Comino, J. (2021). "Evaluation of multi-hazard map produced using MaxEnt machine learning technique", *Scientific reports*, 11 (1), pp: 1-20.
- [14]. Kiavarz, M.; & Jelokhani-Niaraki, M. (2017). "Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces", *Geothermics*, 70, pp: 295-304
- [15]. Malczewski, J.; & Rinner, C. (2015). "Multicriteria decision analysis in geographic information science", Springer.
- [16]. Nachappa, T. G.; Ghorbanzadeh, O.; Gholamnia, K.; & Blaschke, T. (2020a). "Multi-hazard exposure mapping using machine learning for the state of salzburg, Austria", *Remote Sensing*, 12 (17), pp: 1-24.
- [17]. Nachappa, T. G.; Piralilou, S. T.; Gholamnia, K.; Ghorbanzadeh, O.; Rahmati, O.; & Blaschke, T. (2020b). "Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory", *Journal of Hydrology*, 590, pp: 1-42.
- [18]. Najafabadi, A. T. P.; Gorgani, F.; & Najafabadi, M. O. (2015). "Modeling forest fires in mazandaran province, Iran", *Journal of Forestry Research*, 26 (4), pp: 851-858.
- [19]. Pourghasemi, H. R.; Kariminejad, N.; Amiri, M.; Edalat, M.; Zarafshar, M.; Blaschke, T.; & Cerda, A. (2020). "Assessing and mapping multi-hazard risk susceptibility using a machine learning technique", *Scientific reports*, 10 (1), pp: 1-11.
- [20]. Pourghasemi, H. R.; & Rossi, M. (2017). "Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods", *Theoretical and Applied Climatology*, 130, pp: 609-633.
- [21]. Sadeghi-Pouya, A.; Nouri, J.; Mansouri, N.; & Kia-Lashaki, A. (2017). "An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, pp: 304-316.
- [22]. Skilodimou, H. D.; Bathrellos, G. D.; Chousianitis, K.; Youssef, A. M.; & Pradhan, B. (2019). "Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study", *Environmental Earth Sciences*, 78 (2), pp: 1-21.
- [23]. Tian, C.-s.; Fang, Y.-p.; Yang, L. E.; & Zhang, C.-j. (2019). "Spatial-temporal analysis of community resilience to multi-hazards in the Anning River basin, Southwest China", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, pp: 1-22.
- [24]. Tilloy, A.; Malamud, B. D.; Winter, H.; & Joly-Laugel, A. (2019). "A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships", *Earth-Science Reviews*, 196, pp: 1-55.
- [25]. Vanolya, N. M.; Jelokhani-Niaraki, M.; & Toomanian, A. (2019). "Validation of spatial multicriteria decision analysis results using public participation GIS", *Applied Geography*, 112, pp: 1