

تحلیل مکانی خطر زمین لغزش با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک با استفاده از مدل جنگل تصادفی (مطالعه موردی: شهرستان لارستان در استان فارس)

محمد ابراهیم عفیفی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۸

چکیده

با توجه به توانایی تکنیک‌های داده‌کاوی، کاربرد آن‌ها در رشته‌های علوم زمین گسترش فراوانی داشته است. هدف از پژوهش حاضر پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، در شهرستان لارستان، استان فارس است. جنگل‌های تصادفی یک نوع مدرن از درخت - پایه هستند که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیونی می‌باشند. الگوریتم جنگل تصادفی مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. برای انجام پژوهش حاضر لایه‌های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارندگی، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه‌های آن در نرم‌افزار ArcGIS10/2 رقومی و تهیه شدند. سپس با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، ارتباط بین عوامل مؤثر و موقعیت زمین لغزش‌ها و وزن هر یک از آن‌ها در نرم‌افزار آماری R محاسبه و در نهایت جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد مطالعه به محیط GIS منتقل گردید. نتایج ارزیابی دقت روش پهنه‌بندی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و ۳۰ درصد نقاط لغزشی استفاده نشده در فرآیند مدل‌سازی، بیانگر دقت عالی مدل جنگل تصادفی با سطح زیر منحنی ۹۸/۸ درصد است. توصیه اجرایی جهت کاهش خطر پایدارسازی مناطق ناپایدار و دوری جستن از این مناطق است؛ و هرگونه برنامه‌ریزی در توسعه آتی عناصر کالبدی زیرساختی شهری باید با توجه به احتمال سانحه زمین لغزش صورت گیرد.

واژگان کلیدی: الگوریتم جنگل تصادفی، لارستان، زمین لغزش، منحنی راک.

مقدمه

زمین لغزش، شکلی از فرآیندهای دامنه‌ای و نوع خاصی از پدیده طبیعی است که هر ساله در برخی نقاط جهان و ایران رخ داده و آسیب‌های جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل توجهی به بار می‌آورد. (Cevik E Topal T 2016) زمین لغزش شامل کلیه جابجایی‌ها و جادشدگی‌های خاک و مواد سنگی در امتداد سطح گسیختگی و به سمت پایین دامنه است

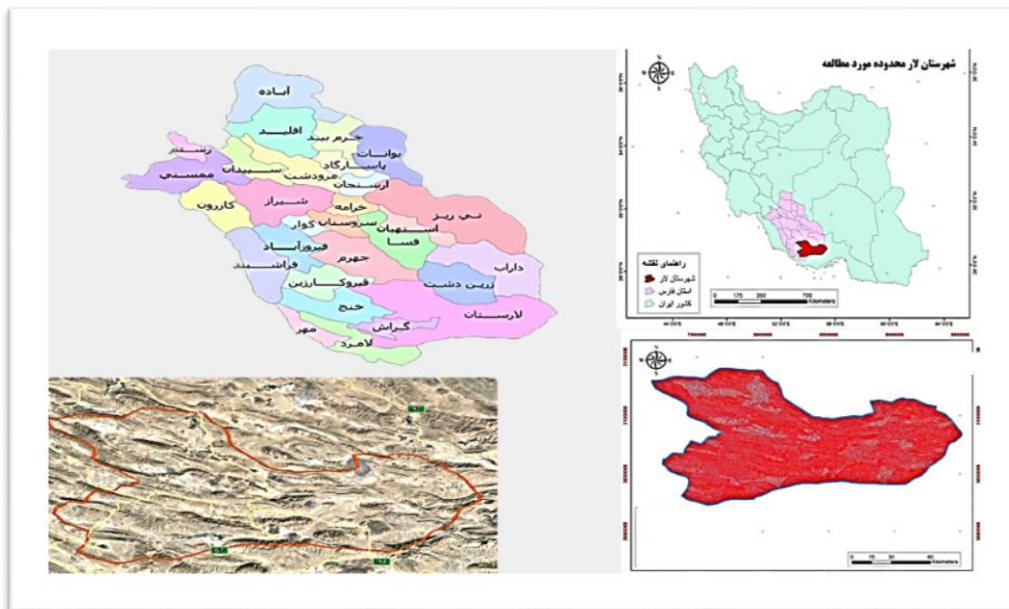
(عابدینی و همکاران، ۱۳۹۷). این نوع حرکت عمدتاً در اثر نیروی ثقل، عوامل طبیعی مثل بارش‌های شدید، زلزله، اشباع شدن خاک از آب و همچنین عوامل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات مهندسی غیراصولی به وقوع می‌پیوندد. ویژگی‌های طبیعی، زمین‌شناسی و اقلیمی کشور ایران به‌گونه‌ای است که در برخی نقاط کشور هر ساله حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌های متعددی بروز می‌کند و آسیب‌های جانی و مالی زیادی به بار می‌آورد. همچنین بر اساس آمارهای جدید سالانه ۶۰۰ میلیون دلار خسارت ناشی از زمین‌لغزش در ایران است (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸) که هر ساله نیز بر میزان آسیب‌های مالی افزوده می‌شود. با توجه به تأثیر نامطلوبی که این پدیده بر روی سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و طبیعی دارد، شناخت نواحی مستعد لغزش در سطح کشور بسیار ضروری است. با توجه به این نکته از طریق روش‌های مختلف اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شده است (مدیری، ۱۳۹۶). تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش نیازمند ارزیابی روابط بین شرایط حاکم بر وضعیت حوزه و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش است. در دنیا روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش وجود دارد، به طوری که تاریخچه استفاده از پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دهه ۱۹۷۰ می‌رسد (پور قاسمی، ۱۳۹۸). فرآیند ایجاد نقشه حساسیت زمین‌لغزش شامل روش‌های مختلف کمی و کیفی است. در مهر و موم‌های اخیر تلاش شده برای پهنه‌بندی از روش‌های کمی استفاده شود (رنجبر، ۱۳۹۷). روش‌های پیچیده‌ای که در چند سال اخیر مورد استفاده قرار گرفته است عبارت‌اند از: روش‌های سلسله مراتبی، روش‌های آماری دو متغیره، رگرسیون لجستیک، منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی اشاره کرد (روستایی، ۱۳۹۷). تکنیک‌های داده‌کاوی به دلیل دقت بالاتر نسبت به مدل‌های به کار گرفته شده از جمله روش‌هایی است که در مهر و موم‌های اخیر به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته است. (شیرزادی، ۱۳۹۸) به‌پیش بینی زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم جنگل تصادفی در مقایسه با سایر روش‌های سنتی کارآمدتر است و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. (مرادی، ۱۳۹۷) به پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی از جمله جنگل تصادفی و مدل‌های خطی و مقایسه عملکرد آن‌ها در حوزه تاپا منطقه‌ای در عربستان پرداختند نتایج نشان داد که مدل‌های داده‌کاوی به کار برده شده دقت مناسبی در تهیه نقشه پهنه‌بندی - دارند. (المدرسی، ۱۳۹۸) به ارزیابی مقایسه بین ۳ مدل یادگیری ماشین و مقایسه عملکرد آن‌ها با روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های یادگیری ماشین از جمله جنگل تصادفی در مقایسه با روش‌های آماری نتیجه قابل قبول‌تری دارند. (ملکی، ۱۳۹۶) با استفاده از دو روش جنگل تصادفی و حداکثر آنتروپی در حوزه آبخیز مهران به پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این دو روش نتایج خوبی را به دست می‌دهد. (مرادی، ۱۳۹۷) به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و سامانه اطلاعات مکانی پرداخت و ۱۰ عامل مؤثر در زمین‌لغزش را به کار گرفته و به این نتیجه رسید که مدل الگوریتم جنگل تصادفی دقت خیلی خوبی در مدل‌سازی زمین‌لغزش حوزه آبخیز صفا رود داشته است. بدین ترتیب با توجه به گسترش

زمین لغزش‌ها در شهرستان لارستان استان فارس، هدف از این پژوهش بررسی کارایی جنگل تصادفی در پیش‌بینی زمین لغزش منطقه است (Ahmad, A. Dey, L. 2018).

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این منطقه در ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۵۴ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد تصویر ماهواره‌ای بخش مرکزی لارستان نشان داده شده است. منطقه مورد مطالعه زمین لغزش‌های اطراف شهرستان لارستان در مساحتی حدود ۱۲۳۱۱ کیلومترمربع را شامل می‌گردد از نظر توپوگرافی و فیزیکی و میانگین ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۷۴۰ متر و حداکثر ۲۶۷۹ و حداقل ۴۲۰ متر است. (شکل ۱)



ماخذ: نگارنده

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

مرحله اول ارزیابی حساسیت زمین لغزش، جمع‌آوری همه اطلاعات قابل‌دسترس برای منطقه مورد مطالعه است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌منظور استخراج پارامترهای محیطی عبارت‌اند از: نقشه زمین‌شناسی منطقه در مقیاس $\frac{1}{100000}$ نقشه توپوگرافی منطقه در مقیاس $\frac{1}{125000}$ تصاویر ماهواره‌ای ETM+ منطقه مورد مطالعه سال ۲۰۱۱، داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک (۱۳۵۱-۱۳۹۵) در مرحله بعد انجام بررسی‌های میدانی و ثبت مشخصات هر

یک از زمین لغزش‌ها (طول، ارتفاع، موقعیت، مساحت) با بهره‌گیری از دستگاه GPS و استفاده از نرم‌افزار GIS جهت رقومی کردن آن‌ها، استفاده از داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و به‌روز نمودن آن از طریق بررسی‌های میدانی اقدام به تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها گردید. بر اساس این پژوهش‌ها و خصوصیات منطقه مورد مطالعه دوازده متغیر برای ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌های عوامل مؤثر در وقوع پدیده زمین لغزش، شامل نقشه‌های درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنا، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، کاربری اراضی، فاصله از عوارض خطی گسل، جاده و آبراهه، لیتولوژی مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. از آنجایی که روش‌های کمی در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش نتایج مطمئن‌تری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهند، لذا استفاده از این روش‌ها از اعتبار علمی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشند (رنجبر، ۱۳۹۷، ۸۴). این روش‌ها طی مهر و موم‌های اخیر توسط پژوهشگران علوم زمین توسعه زیادی پیدا کرده است، لذا در پژوهش حاضر جهت ارزیابی حساسیت زمین لغزش با مدل ماشین پشتیبان برداری لایه‌های تهیه شده توسط نرم‌افزار ARCGIS 10/3 ترسیم شدند و جهت تحلیل آماری داده‌ها و الگوریتم‌ها نرم‌افزارهای SPSS ۱۸ و WEKA ۲,۷,۱۲ مورد استفاده قرار گرفتند و در نهایت نقشه نهایی حساسیت وقوع پدیده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارائه شده ترسیم شد.

نقشه پراکنش زمین لغزش

نقشه پراکنش زمین لغزش مجموعه‌ای از لغزش‌های رخ داده در یک ناحیه مشخص است و سبب نوعی آگاهی و بصیرت در مورد مکان‌های وقوع زمین لغزش و کسب اطلاعات از نوع و خسارت آن‌ها می‌شود (Abedini M, Ghasemyan B, Rezaei Mogaddam M H. 2017) در پژوهش حاضر به منظور تشخیص حساسیت زمین لغزش، تعداد ۶۰ نقطه لغزشی به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه برداشت و با استفاده از تصویر ماهواره‌های ETM منطقه مورد مطالعه سال ۲۰۱۱ برگرفته از سایت GLOVIS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور به پیکسل‌هایی که در آن زمین لغزش مشاهده شد ارزش ۱ و به پیکسل‌هایی که در آن زمین لغزش مشاهده نشد ارزش ۰ اختصاص داده شد (می‌رسانی، ۱۳۹۶) در نتیجه شاخص حساسیت زمین لغزش از نظر احتمال وقوع بین ۰ و ۱ (۰-۱۰۰٪) متفاوت است. سپس نمونه‌های تصادفی جمع‌آوری شده از مناطق لغزشی به دو بخش تقسیم می‌شود: نمونه‌هایی که برای آموزش ساخت مدل از آن‌ها استفاده می‌شود و نمونه‌هایی که در آزمون اعتبار سنجی مدل آن‌ها را به کار می‌برند ساخت یک مدل و آزمون آن، هدف اصلی تفکیک نمودن مجموعه نمونه‌های آموزشی و آزمایشی است. چنانچه نمونه‌های تصادفی جمع‌آوری شده برای آموزش و آزمون هم‌زمان با نمونه‌های تصادفی مبتنی بر نقاط پیکسلی لغزش مورد استفاده قرار بگیرد، عملکرد مدل افزایش می‌یابد (طالبی، ۱۳۹۷).

عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش

تعیین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و آماده سازی مجموعه داده های مرتبط با آن از مراحل مهم در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش هستند (Brown S. Row lands, I. Nodal pricing in Ontario, 2015). در این پژوهش دوازده فاکتور شامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، انحنای شیب، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، شدت تابش خورشید، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع لغزش های منطقه مطالعاتی تهیه شدند.

درجه شیب

درجه شیب یک پارامتر کنترل کننده ضروری در ارزیابی پایداری شیب است به طور کلی با افزایش زاویه شیب، خطر لغزش نیز افزایش می یابد و انتظار می رود میزان وقوع زمین لغزش در دامنه های پرشیب بیشتر از دامنه های با شیب ملایم باشد (عقیقی، ۱۳۹۵). نقشه شیب در محیط Arcmap، از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در ۶ طبقه برای منطقه مطالعاتی ترسیم گردید (شکل ۲) توزیع پراکنش زمین لغزش ها بر روی نقشه شیب منطقه مطالعاتی نشان دهنده آن است که درجه بیشترین درصد پیکسل های لغزشی (۴۳/۳۹ درصد) و بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد (۱ درصد/FR=۸۸۹).

جهت شیب

حداکثر جهت شیب از سطح زمین با توجه به شمال جهت شیب نامیده می شود اثرات جهت شیب در بی ثباتی شیب از طریق تأثیر در روند هیدرولوژیکی از طریق تبخیر و تعرق، تأثیر بر روند هوازدگی، پوشش گیاهی و رشد ریشه می باشد نقشه جهت شیب با استفاده از ArcGIS از روی مدل رقومی ارتفاعی در نه کلاس ترسیم شده است. بررسی ها نشان دهنده آن است که به ترتیب جهات جهت شرق با ۱۸ درصد سطح منطقه و جنوب غرب با ۱۲ درصد بیشترین جهات مستعد وقوع پدیده لغزش هستند.

ارتفاع از سطح دریا

تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکت های توده ای محسوب می شود. این عامل، جهت روانابها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می کند (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۸) نقشه طبقات ارتفاعی منطقه از DEM منطقه استخراج شده و در پنج طبقه بر پایه natural breaks طبقه بندی شده است بر اساس بررسی های انجام شده در پژوهش حاضر بیشترین فراوانی پیکسل های لغزشی (۴۵ درصد) طبقه ارتفاعی ۸۱۰ تا ۹۳۳ با ۱۴ درصد بیشترین درصد نسبت به کل منطقه را دارد.

انحنای (شکل) شیب

در انحنای شیب، خمیدگی منفی نشان دهنده مقعر بودن دامنه، انحنای شیب صفر نشان دهنده مسطح بودن دامنه و خمیدگی مثبت نشان دهنده محدب بودن دامنه است. انحنای زمین مقادیر مثبت و منفی در نوسان می باشد. تحدب و تقعر

نقشه انحنای شیب با استفاده از فواصل بین خطوط توپوگرافی متوالی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) از DEM منطقه استخراج و در پنج کلاس بسیار مقعر کلاس اول -۹۹ الی ۲۸، کلاس دوم -۲۸ الی ۷، کلاس سوم -۷ الی ۵+، کلاس چهارم ۵+ الی ۲۷+، کلاس پنجم ۲۷+ الی ۱۰۰ و در کلاس‌های که منفی هستند محدب و بیشترین فراوانی لغزش‌ها در حدود ۴۰ درصد در کلاس -۷ الی ۵ می‌باشد. انحنای طولی و مقطعی از نقطه نظر مفهومی به ترتیب شبیه به انحنای پروفیل و انحنای پلان است حتی از نظر تعریف ژئو مورفولوژی تعریف یکسان با آن‌ها دارند. تفاوت آن‌ها در الگوریتم‌های اجرایی در آن‌هاست.

انحنای عرضی شیب (پروفیل شیب)

پروفیل شیب معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است، انحنای عرضی شیب به‌عنوان یک فاکتور مهم، نشان‌دهنده شدت زمین لغزش است. چنانچه ارزش‌های مثبت در انحنای عرضی شیب نشانگر تقعر بودن و ارزش‌های منفی نشانگر محدب بودن می‌باشد نقشه انحنای شیب عرضی از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج شده و ارزش‌های این فاکتور از $-۰/۰۲$ الی $۰/۳۶$ که در ۵ کلاس طبقه شده است.

انحنای طولی شیب

انحنای طولی شیب بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی می‌باشد و نشان‌دهنده واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. نقشه انحنای طولی شیب از DEM منطقه استخراج و در ۵ طبقه، کلاس اول با ۵- الی ۳۹، کلاس دوم $-۰/۰۵$ الی $۰/۰۲$ ، کلاس سوم $۰/۰۲$ الی $۰/۱۱$ ، کلاس چهارم $۰/۱۱$ الی $۰/۲۴$ ، کلاس پنجم $۰/۲۴$ الی $۰/۶۰$ می‌باشد.

کاربری اراضی

برای تولید نقشه کاربری اراضی از آنجا که یک‌لایه اطلاعاتی گسسته است از روش فازی دانش‌محور برای تخصیص وزن به اراضی مختلف و تولید نقشه شاهد وزن‌دار کاربری اراضی استفاده گردید. در نقشه کاربری اراضی انواع کاربری‌های موجود شامل مرتع نیمه متراکم، مرتع متراکم، مرتع کم زراعت آبی و باغ‌ها، جنگل دست کاشت، مناطق مسکونی، بیرون‌زدگی سنگی، تراکم، زراعت دیم سطوح آبی مشخص شدند. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که کلاس مرتع بیشترین پیکسل‌های لغزشی را دارد.

فاصله از گسل

ساختارهایی با مقیاس بزرگ شبیه گسل‌ها و تراس‌ها از عوامل نگران‌کننده برای شکست و ناپایداری‌های دامنه‌ها به شمار می‌روند. احتمال شکست شیب در نزدیکی گسل‌های اصلی افزایش می‌یابد که خود باعث فعال شدن تکتونیک در منطقه و تشدید وقوع لغزش‌ها می‌در پژوهش حاضر نقشه فاصله از گسل منطقه مطالعاتی در پنج کلاس ترسیم شد که کلاس $۷۰۰ >$ متر بیشترین فراوانی پیکسل‌های لغزشی ($۷/۷۱$ درصد و بیشترین پتانسیل وقوع را دارد ($FR=۱۲/۵۲$).

فاصله از جاده

این عامل نیز به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در ارزیابی حساسیت زمین لغزش در نظر گرفته شده است چنانچه ساخت و سازهای جاده سازی در نزدیکی دامنه ها ممکن است شرایط شبیهی را قبل از شروع ساخت و ساز متعادل بوده کاملاً تغییر دهد (قنوتی، ۱۳۹۲) این لایه در پژوهش حاضر در پنج کلاس ترسیم شده که کلاس $۲۰۰ >$ متر بیشترین فراوانی پیکسل های لغزشی (۶۸/۷ درصد) و بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد ($FR = ۵۸ / ۲$).

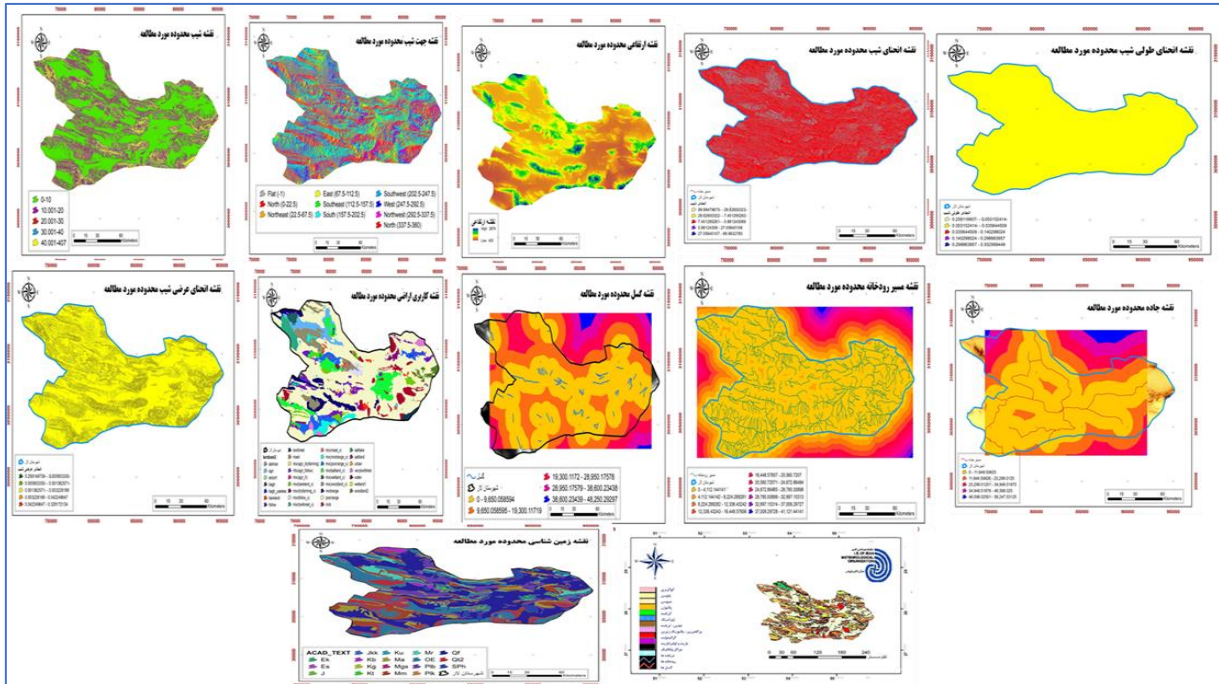
فاصله از آبراهه

این عامل به عنوان یکی از عوامل مهم در ارزیابی خطر زمین لغزش در نظر گرفته می شود (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۶، ۴). آب های جاری می تواند از طریق فرسایش یا اشباع مواد در پای دامنه، شکست های شیب را تحت تأثیر قرار دهد در واقع به عنوان یک اصل شناخته شده با فاصله گرفتن از آبراهه ها، پتانسیل وقوع زمین لغزش ها کاهش می یابد در این پژوهش نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه در پنج کلاس ترسیم شده است مجموع طول آبراهه ها در منطقه مورد مطالعه $۶/۲۵۲۶۶۴$ کلاس $۵۰ - ۰$ متر بیشترین درصد فراوانی پیکسل لغزشی (۵۳ درصد) و کلاس $۱۰۰ - ۵۰$ متر بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد.

نواحی فلاتی که شیب کلی ۶-۱ درصد و اختلاف ارتفاع کمتر از ۲۵ متر دارند، ویژگی های عمده این قبیل اراضی می باشند، اصولاً ناهموار هستند و پستی و بلندی زیادی دارند و ۶ درصد لارستان (حدود ۲ درصد بخش مرکزی لارستان) را شامل می شوند. تپه ها نیز ناهمواری هایی هستند که بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته و شیب آن ها بین حداقل ۱۵ درصد و حداکثر ۵۰ درصد است. جنس تپه ها آهکی ماری و کنگلومرا می باشد. شیب تپه ها با بافت نامتجانس حداقل ۱۵ و حداکثر ۵۰ درصد است. تپه ها با بافت نامتجانس مارن های گچی، نمک اغلب بریده بریده و فرسایش یافته اما تپه هایی که از سنگ های سفت آهکی، کنگلومرا تشکیل شده اند، دارای قله مدور و گنبدی شکل هستند. این واحدها قریب ۱۱ درصد از کل مساحت لارستان (حدود ۳/۲ درصد بخش مرکزی لارستان) است (عقیفی، ۱۳۹۸).

لیتولوژی

در این منطقه از سازند هرمز و گنبد نمکی که قدیمی ترین سازند برون زده منطقه است تا سازند سورمه که مربوط به ژوراسیک زیرین می باشد، مشاهده می گردد. چینه شناسی سازندهای منطقه به ترتیب عبارتند از: سازند هرمز، گروه خامی، گروه بنگستان، سازند گورپی، سازند پایده، سازند آهکی تاربور، سازند تبخیری ساچون، آسماری چهارم، گروه فارس، سازند گچساران، سازند میشان، بخش آهک گوری، سازند رازک، سازند آجاجاری و سازند بختیاری و رسوبات عهد حاضر. با توجه به لیتولوژی منطقه سازند بختیاری و آجاجاری، دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک با لیتولوژی ماسه سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک بیشترین فراوانی پیکسل های لغزشی را به خود اختصاص داده اند. در حالی که دوره کرتاسه دوران مزوزوئیک با لیتولوژی مارن و شیل با رگه هایی از آهک رسی بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد. (شکل ۲)



ماخذ: نگارنده

شکل ۲: عوامل مؤثر بر وقوع پدیده زمین لغزش در منطقه لارستان: درجه شیب، انحنای شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنای طولی شیب، انحنای عرضی شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، کاربری اراضی، لیتولوژی، زمین شناسی

الگوریتم جنگل تصادفی

مدل جنگل تصادفی یک روش یادگیری ترکیبی برای دسته‌بندی، رگرسیون است که بر اساس ساختاری متشکل از شمار بسیاری درخت تصمیم، بر روی زمان آموزش و خروجی کلاس‌ها (کلاس‌بندی) یا برای پیش‌بینی‌های هر درخت به شکل مجزا، کار می‌کنند. (نظرآبادی، ۱۳۷۷) جنگل‌های تصادفی برای درختان تصمیم که در مجموعه آموزشی دچار بیش‌برازش می‌شوند، مناسب هستند. نخستین الگوریتم برای جنگل‌های تصمیم تصادفی را «تین کم هو» با بهره‌گیری از روش زیر فضاهای تصادفی پدید آورد. جنگل تصادفی می‌تواند برای رتبه‌بندی اهمیت متغیرها در یک رگرسیون یا مشکل کلاس‌بندی در روش طبیعی آن، به کار رود. تکنیکی که در ادامه آمده است در مقاله اصلی «بریمن» آورده شده بود و در پکیج کردن R جنگل تصادفی اجرا می‌شود. نخستین گام در اهمیت اندازه‌گیری متغیرها در مجموعه داده‌ها، $D_n = \{(x_i, y_i)\}$ جای دادن جنگل تصادفی در داده‌هاست. در هنگام انجام این فرایند جایگذاری نقص بیرون از کیسه برای هر داده ضبط می‌شود و به‌عنوان میانگینی از میان جنگل محسوب می‌گردد. برای اندازه‌گیری اهمیت ز امین ویژگی بعد از آموزش، مقدار ز امین ویژگی Permuted از میان داده‌های آموزش دیده و نقص خارج از کیسه دوباره روی این مجموعه داده محاسبه خواهد شد. اهمیت نمره برای ز امین ویژگی از روش میانگین‌گیری از تفاوت‌ها در خارج از کیسه قبل و بعد از Permutation روی تمام درخت‌ها به دست می‌آید. این نمره با استانداردسازی انحرافات متفاوت، نرمال‌سازی می‌شود. ویژگی‌هایی که مقادیر بسیاری برابر این نمره تولید می‌کنند بسیار با اهمیت‌تر هستند نسبت به آن

ویژگی‌هایی که مقدار کوچکی تولید می‌کنند. این روش تعیین متغیر با اهمیت، شامل برخی اشکال می‌شود. برای داده‌ای که شامل متغیرهای بخش‌بندی شده با سطوح مختلف از شماره‌هاست، جنگل تصادفی به این نوع خاصیت اهمیت می‌دهد که دارای چندین سطح هستند. متدهایی همانند Partial Permutations و درختان در حال رشد بی‌طرف، می‌تواند برای حل مشکل به کار گرفته شوند. اگر داده شامل گروه‌هایی از ویژگی‌های مرتبط به هم با شبیه‌سازی برای خروجی باشد، در این حالت گروه‌های کوچک نسبت به گروه‌های بزرگ برتری دارند. پژوهش‌های «بريمن» روی کار «امیت و گمن» اثر گذاشت، کسانی که پژوهش بر اساس دسته تصادفی که نود را تقسیم می‌کند (در مبحث بزرگ شدن تک‌درخت) ارائه کردند در این روش، پیش از این که هر درخت یا هر گره را جاسازی کنند، جنگلی از درختان بزرگ می‌شود و گزینش از بین گونه‌ای از درختان که برای گزینش تصادفی زیر فضاهایی از داده آموزش دیده‌اند، صورت می‌گیرد. در پایان ایده بهبود بخشیدن به گره‌های تصادفی (که انتخاب هر گره به شکل تصادفی بوده) به جای بهبودی قطعی توسط «دیتیریش» بیان شد دستاوردهای درباره جنگل تصادفی نخستین بار به دست «لئو بريمن» مقاله شد. این الگوریتم توسط «لئو بريمن و عادل کالچر» توسعه یافت که جنگل تصادفی نیز جزو دستاوردهای ایشان بود ایده بگینگ برای ساخت مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم و انتخاب تصادفی نخست توسط «هو» و سپس «امیت و گمان» کامل شد. این تمرین‌ها امروزی عبارت‌اند از:

- بهره گرفتن از نقص خارج از کیسه برای تعمیم نقص‌های سازمان‌دهی؛
- اهمیت اندازه‌گیری گونه‌ها و تنوع از طریق جایگشت؛
- همچنین این گزارش نخستین فرجام تئوری برای جنگل‌هایی که از راه نقص سازمان‌دهی تعمیم‌یافته بودند را بیان می‌کند که بستگی به قدرت درخت‌ها و ارتباط آن‌ها دارد.

نتایج و بحث

تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه نتایج به دست آمده از نقشه خروجی در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد مناطق نزدیک به آبراهه امکان لغزش پذیری بیشتری داشته و بر اساس تابع SVM - RBF (رابطه ۱) عامل آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع این مخاطره دارند. همچنین بر اساس این نقشه خروجی بیش از ۷۰ درصد از زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مطالعاتی در کلاس خطر بسیار بالا (۰/۹۹ - ۰/۸۶) رخ داده است که نشان‌دهنده حساسیت منطقه مورد مطالعه به وقوع پدیده زمین‌لغزش است. همچنین نقشه ترسیم شده نشان می‌دهد که از سمت خط الرأسها به سمت پاشنه دامنه‌ها به مقدار حساسیت وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی افزوده شده است؛ به طوری که این مناطق را می‌توان پر رنگ‌تر مشاهده کرد که این نتایج با نتایج (شیرزادی و همکاران ۱۳۹۸) مطابقت دارد. (جدول ۱)

جدول ۱: ماتریس عوامل ۱۲ گانه مؤثر در وقوع زمین لغزش منطقه مورد مطالعه

ردیف	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از گسل	خاک شناسی	زمین شناسی	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	انحنای شیب	انحنای عرضی شیب	انحنای طولی شیب
۱	۵۶۳	۰-۱۰	SE	۱۲۲۶۰	XBL	QF	خیلی ضعیف	۰	۳۱۰۰	-۱۶	۰	۰
۲	۵۸۱	۱۰-۲۰	N	۲۵۰۰	INC	QF	خیلی ضعیف	۰	۱۹۰۰	-۳	۰	۰
۳	۷۱۲	۰-۱۰	NW	۴۴۰۰	INC	MM	خیلی ضعیف	۲۳۰۰	۶۸۰۰	-۷	۰	۰
۴	۶۶۲	۰-۱۰	SW	۷۸۰۰	INC	QF	خیلی ضعیف	۴۶۵	۴۶۰	۲۷	۰	۰
۵	۵۸۰	۰-۱۰	SE	۳۰۰۰	INC	QF	نمکی	۱۸۶۰	۴۶۰	-۴	۰	۰
۶	۸۹۹	۰-۱۰	SW	۱۲۵۰	ENT/INC	MM	خیلی ضعیف	۴۶۰	۲۹۰۰	۹	۰	۰
۷	۷۹۶	۰-۱۰	E	۴۷۰۰	XPL	QF	کشاورزی	۳۳۵۰	۳۹۸۰۰	-۶۳	۰	۰
۸	۹۳۵	۰-۱۰	S	۱۰۰۰	ENT/INC	MA	خیلی ضعیف	۳۵۴۰	۸۷۰۰	-۴۲	۰	۰
۹	۹۸۶	۰-۱۰	W	۴۰۰۰	ENT/INC	PLB	خیلی ضعیف	۳۵۴۰	۵۵۲۰	۳۰	۰	۰
۱۰	۸۶۳	۰-۱۰	S	۱۳۸۰۰	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۰	۱۶۰۰۰	۲	۰	۰
۱۱	۸۳۴	۱۰-۱۵	S	۳۰۰۰	XRO/ENT	QF	خیلی ضعیف	۱۰۴۰	۲۲۲۰۰	۱	۰	۰
۱۲	۱۰۹۸	۲۰-۳۰	NE	۲۳۰۰	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۶۶۰	۱۰۲۸۵	-۴	۰	۰
۱۳	۱۱۳۰	۳۰-۴۰	E	۹۷۰۰	ENT/INC	QF	خیلی ضعیف	۱۰۴۰	۵۲۰۰	-۸	۰	۰
۱۴	۱۱۹۹	۲۰-۳۰	N	۸۴۶۰	ENT/INC	MA	خیلی ضعیف	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۱۰	۰	۰
۱۵	۷۷۸	۰-۱۰	NW	۳۱۸۰	INC	QF	ضعیف	۱۰۴۰	۶۰۰۰	۱۳	۰	۰
۱۶	۱۲۶۷	۳۰-۴۰	NW	۶۵۰۰	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۲۱۰۰	۱۶۲۵۰	-۳	۰	۰
۱۷	۱۰۷۹	۰-۱۰	NW	۴۰۶۰	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۶۶۰	۸۰۳۰	-۶	۰	۰
۱۸	۱۰۸۵	> ۴۰	SW	۴۱۱۵	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۴۶۰	۴۶۰	۲	۰	۰
۱۹	۱۱۰۷	> ۴۰	N	۲۸۵۱	XRO/ENT	QT2	خیلی ضعیف	۰	۱۶۱۲۰	۴	۰	۰
۲۰	۱۲۳۷	> ۴۰	NW	۱۳۷۰۰	XRO/ENT	OE	خیلی ضعیف	۱۴۰۰	۴۱۱۰	۱	۰	۰

ماخذ: نگارنده

$$d_j = E_j - 1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

پس از محاسبه وزن کل (w) با استفاده از رابطه ۲، خطر زمین لغزش منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است؛

$$H_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه (H) ضریب خطر رخداد زمین لغزش، w_j وزن نهایی تمامی عوامل و x_{ij} وزن هر یک از عوامل است.

رابطه بیان شده، بیانگر مدل ناحیه‌ای خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه است.

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه مقدار P_{ij} با استفاده از رابطه (۱) و مقدار (K) با

استفاده از رابطه دو محاسبه شده است. با استفاده از رابطه چهارم، وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس

آنتروپی زمین لغزش (Wi) که شامل ارتفاع (۰/۸۳)، شیب (۰/۴۰)، جهت شیب (۰/۵۹)، فاصله از گسل (۰/۸۷)، خاکشناسی (۰/۷۴)، زمین شناسی (۰/۴۶)، کاربری اراضی (۰/۶۱)، فاصله از رودخانه (۰/۱۶)، فاصله از جاده (۰/۴۸)، انحنای شیب (۰/۱۶)، انحنای عرضی شیب (۰/۲۱)، انحنای طولی شیب (۰/۱۱) می باشد، حاصل شده است. در این رابطه، E توزیع احتمال pi بر اساس ساز و کار آماری محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی PI ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود. سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار dj از کسر Ej از عدد یک به دست آمده است. (جدول ۳).

جدول ۲: مقادیر شاخص های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش

ج	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	کاربری اراضی	فاصله از گسل	زمین شناسی
Ej	۰/۸۶۹	۰/۸۸۷	۰/۹۳۴	۰/۹۶۸	۰/۹۴۲	۰/۹۳۵	۰/۹۰۱	۰/۸۷۹
Dj	۰/۶۴۲	۰/۸۹۵	۰/۹۶۳	۰/۹۱۳	۰/۸۵۷	۰/۹۶۸	۰/۹۹۹	۰/۹۳۷
Wj	۰/۹۱۰	۰/۹۵۳	۰/۹۱۱	۰/۹۳۲	۰/۹۶۵	۰/۹۴۱	۰/۹۷۵	۰/۹۰۰

ماخذ: نگارنده

در نهایت، مدل ناحیه ای خطر زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه با استفاده از ضرایب به دست آورده شده است (جدول ۳).

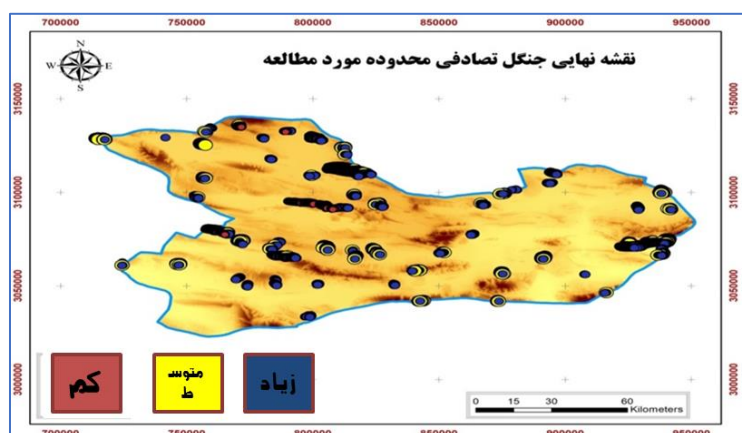
رابطه ۴

$$H=(S*0/910)+(Df*0/975)+(E*0/911)+(Dr*0/932)+(DRI*0/965)+(A*0/953)+(LU*0/941)+(LT*0/900)$$

جدول ۳: مقادیر شاخص های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش مدل جنگل تصادفی

شاخص های محاسبه شده	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	کاربری اراضی	فاصله از گسل	زمین شناسی
Ej	۰/۹۲۱	۰/۹۷۷	۰/۹۳۵	۰/۹۴۸	۰/۹۴۶	۰/۹۶۳	۰/۹۱۰	۰/۹۰۳
Dj	۰/۸۶۹	۰/۹۰۲	۰/۹۱۶	۰/۸۵۳	۰/۹۶۹	۰/۹۳۶	۰/۹۶۸	۰/۹۴۰
Wj	۰/۹۰۳	۰/۹۵۳	۰/۹۸۴	۰/۹۷۸	۰/۹۹۱	۰/۹۵۶	۰/۸۹۹	۰/۹۵۴

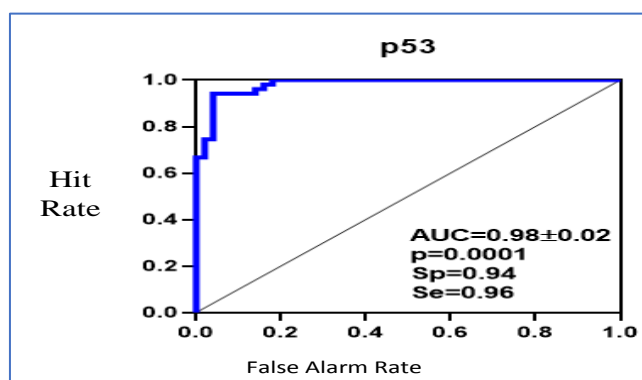
ماخذ: نگارنده



ماخذ: نگارنده

شکل ۳: نقشه نهایی حاصل از مدل جنگل تصادفی منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل ۳ که نقشه نهایی حاصل از مدل جنگل تصادفی است، سرزمین‌هایی که با دایره‌های کوچک که به رنگ قرمز مشخص گردیده‌اند خطر زمین لغزش کمتر و دایره‌های آبی‌رنگ که در بیشتر نقاط شهرستان لار هستند شدت زمین لغزش در حد متوسط هستند و دایره‌های زرد رنگ که اکثراً در قسمت‌های شمال غربی هستند خطر زمین لغزش بسیار زیاد هستند (شکل ۳).



ماخذ: نگارنده

شکل ۴: منحنی راک و سطح زیر منحنی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین علت‌های مهم وقوع زمین لغزش است ولی عوامل دیگری مثل شیب و جهت شیب، خاکشناسی و ...، در وقوع زمین لغزش شهرستان لارستان مؤثر می‌باشند. شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود در یک منطقه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از فاکتورهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه مؤثر است. ارزیابی حساسیت زمین لغزش یک فرآیند پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط بسیاری از محققان مورد بررسی قرار گرفته است. تا به امروز روش‌های مختلفی جهت برآورد حساسیت زمین لغزش‌ها و عملکرد آن‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌های مختلف آماری مطرح شده است. در این پژوهش تابع RBF روش SVM جهت ارزیابی حساسیت زمین لغزش در شهرستان لارستان مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از دوازده فاکتور شامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، انحنای شیب، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، شدت تابش خورشید، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که شهرستان لارستان با توجه به سازندها و شرایط خاص زمین‌شناسی (وجود سازندهای حساس به لغزش از جمله مارن و شیل)، توپوگرافی و فعال بودن گسل‌های منطقه (گسل جدید اصلی زاگرس) و دامنه‌های ناپایدار و فعالیت فرآیندهای ژئومورفولوژیکی متعدد آب و هوایی از جمله مناطق زمین لغزش خیز استان و کشور است. عوامل انسانی نیز در تشدید ناپایداری‌ها و حرکات توده‌ای (به‌ویژه در نامتعادل کردن دامنه‌ها از طریق جاده‌سازی و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه نقش دارند). نتایج بررسی مهم‌ترین عوامل اثرگذار از

میان دوازده عامل مؤثر شناخته شده بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل RBF-SVM و مشاهده نقشه حساسیت زمین لغزش بر اساس الگوریتم به کار رفته نشان داد که عامل فاصله از آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش منطقه مطالعاتی داشته است. همچنین، بیشتر مناطق با حساسیت خیلی زیاد در انتهای دامنه (پاشنه دامنه) جایی که دامنه نزدیک به محل اتصال آبراهه‌ها می‌گردد، اتفاق می‌افتد. شاید دلیل این امر حرکت آب‌های زیرسطحی از طرف آبراهه‌ها به سمت دامنه‌های اطراف و ایجاد یک جبهه رطوبتی و کاهش مقاومت برشی خاک در این ناحیه باشد که وقوع زمین لغزش‌های سطحی با عمق کمتر را فراهم آورده است که با نتایج (شیرزادی و همکاران ۱۳۹۶) مطابقت دارد. بررسی جهت‌های جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به زمین لغزش در طبقات جنوبی به دلیل تبخیر بالا است. بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که واحدهای KP با لیتولوژی ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک و K9 با لیتولوژی مارن و شیل با رگه‌های از آهک‌رسی به دلیل حساس بودن ماهیت سنگ‌های ذکر شده که با جذب آب حالت ارتجاعی پیدا کرده و باعث سر خورد لایه‌های بالایی به صورت لغزش می‌گردد، از بیشترین حساسیت در وقوع زمین لغزش برخوردارند. از آنجایی که زمین لغزش در شیب‌های کمتر به دلیل برتری نیروهای مقاومت برشی نسبت به تنش برشی کمتر (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۴۴) و در شیب‌های خیلی زیاد هم به دلیل عدم توسعه و وجود خاک با ضخامت قابل ملاحظه کمتر به وقوع می‌پیوندد؛ بنابراین در شیب‌های میانه با تساوی سایر شرایط می‌توان انتظار تعداد وقوع زمین لغزش بیشتری داشت. با این حال، به دلیل تپه ماهوری بودن و اختلاف ارتفاع کم ناهمواری‌های منطقه مورد مطالعه (۱۳۸۸ متر) توزیع زمین لغزش در کلاس‌های درجه شیب نشان داد که بیشترین درصد از آن‌ها در شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه (۴۳/۳۹ درصد) رخ داد داده‌اند این نتیجه با نتایج (عابدینی و همکاران، ۲۰۱۷) مبنی بر این که درجه شیب به‌عنوان اثرگذارترین عامل است مطابقت دارد. در نهایت جهت اعتبارسنجی مدل SVM-RBF از مجموع ۱۰۰ نقطه لغزشی منطقه مطالعاتی ۴۰ نقطه (۷۰٪) به‌طور تصادفی جهت مدل‌سازی و باقی مانده ۲۰ نقطه لغزشی (۳۰٪) جهت اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش در ارضی مرتعی وجود دارد که با توجه به چرای دام‌ها در سطح این کاربری این موضوع قابل تفسیر است. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از منحنی ROC و مقادیر به دست آمده از (SCR ۹۷٪) و (PCR ۲/۸۸٪) نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی و میزان موفقیت بسیار بالا مدل SVM است. علاوه بر این، به‌منظور ارزیابی مدل ارائه شده از معیارهای حساسیت، شفافیت، صحت و مجذور مربعات خطا استفاده شدند. (شکل ۴) بر این اساس، مقادیر به دست آمده در مدل SVM-RBF هم در داده‌های تعلیمی و هم در داده‌های آموزشی بیانگر این مطلب است که مدل ذکر شده از نظر صحت و اعتبار مدل‌سازی مورد تأیید قرار گرفته است. در نهایت منطقه مطالعاتی به سه کلاس حساسیت بالا، متوسط و کم طبقه‌بندی شد که ارزیابی تمامی نتایج نشان‌دهنده عملکرد بالا و ظرفیت پیش‌بینی خوب مدل SVM-RBF در شناسایی پهنه‌ها با پتانسیل بالای لغزشی است که می‌تواند جهت انتخاب مکان مناسب، کاهش خطرات و آسیب‌های زمین-لغزش، برنامه‌ریزی‌های کاربری اراضی، مدیریت و

تصمیم‌گیری بهتر در شهرستان لارستان مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش جهت بررسی ابتدا به تهیه نقشه پارامترهای ژئومورفولوژیکی (شیب، جهت شیب، ارتفاع، مسیر رودخانه، انحنای شیب، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، زمین‌شناسی، خاک و کاربری اراضی) شهرستان لارستان در محیط GIS اقدام شد و سپس با استفاده از مدل جنگل تصادفی به تهیه نقشه‌های نهایی اقدام شد و به نظر می‌رسد که مدل جنگل تصادفی در مطالعات اجمالی در فرسایش خاک موفقیت‌آمیز باشد و از آنجایی که به آمار خاصی نیاز ندارد و برای حوضه‌های بدون آمار قابل اجرا است و نقشه با نرم‌افزارها به‌آسانی و سریع آماده می‌شود. اگر چه مدل جنگل تصادفی در برآورد لغزش زمین دارای دقت لازم نبوده اما با استفاده از طبقه‌بندی کیفی فرسایش توسط این مدل می‌توان مناطق که در معرض فرسایش شدید قرار گرفته آن را شناسایی کرده و در آن مناطق ایستگاه رسوب سنجی احداث کرد. در مدل جنگل تصادفی عامل شیب، کاربری اراضی، فرسایش فعلی به ترتیب بیشترین تأثیر را در میزان لغزش زمین منطقه مورد مطالعاتی ما دارد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج پارامترهای از جمله شیب، شبکه آبراهه‌ها، جهت شیب و به‌عنوان یکی از عوامل تجزیه و تحلیل‌هایی و از طرفی تحلیل مدل رقومی ارتفاع در محیط GIS در زمان کم و دقت بالاتری نسبت به روش‌های معمول امکان‌پذیر است. همچنین نقشه کاربری اراضی در مقاطع مختلف زمانی با توجه به پوشش تکراری تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه تغییرات کاربری اراضی امکان‌پذیر است و از طریق آن می‌توان وضعیت فرسایش را در مقاطع مختلف مورد مطالعه قرار داد. محاسبات فرسایش و رسوب و غیره با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی GIS و بخصوص امکان تلفیق لایه‌ها در محیط آن از جمله کاربردهای بسیار مفید این نرم‌افزار در مطالعات فرسایش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. توصیه اجرایی جهت کاهش خطر پایدارسازی مناطق ناپایدار و دوری جستن از این مناطق است؛ و هرگونه برنامه‌ریزی در توسعه آتی عناصر کالبدی زیرساختی شهری باید با توجه به احتمال سانحه زمین‌لغزش صورت گیرد.

مهم‌ترین پیشنهاد؛ شناسایی پتانسیل خطر در دامنه‌ها از طریق پهنه‌بندی، پرهیز از توسعه در مناطق با خطر متوسط به بالا، استفاده از راهکارهای مهندسی در دامنه‌های دچار گسیختگی، مدیریت خاص شهری در مناطق آسیب‌پذیر، تدوین دستورالعمل‌های ویژه ساخت و ساز در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی و به‌کارگیری متخصصان و افراد باتجربه در مراکز تصمیم‌گیری مرتبط با زمین‌لغزش از دیگر پیشنهادها می‌باشند.

منابع

- ۱- المدرسی، علی. میر دهقان اشکذری، الهه (۱۳۹۷): تخمین خسارات ناشی از زلزله با استفاده از مدل Radids و GIS (مطالعه موردی شهرستان اشکذر)، فصل‌نامه مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۶، صص ۱۰۰ - ۸۰۰.

- ۲- پور قاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۸): پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌سازی احتمالی وزن با واقع، مهندسی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۱، شماره ۹، ص ۸۰.
- ۳- حسین‌زاده، سعید (۱۳۹۸): ژئو مورفولوژی و مطالعات آن در ایران بعد از پیروزی انقلاب اسلامی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱۰.
- ۴- رنجبر، محسن، (۱۳۹۷): ارزیابی زمین‌لغزش با استفاده از روش LNRNF در جاده هراز (از امامزاده هاشم تا لاریجان)، فصل‌نامه انجمن جغرافیای ایران، شماره ۲، ص ۱۱۹.
- ۵- روستایی، شهرام، (۱۳۹۷): پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، شماره یک، ص ۲۱.
- ۶- شیرزادی، عطا اله، سلیمانی کریم، حبیب نژاد محمود، کاویان عطا اله، چپی کامران (۱۳۹۶): معرفی یک مدل جدید ترکیبی الگوریتم مینا به‌منظور پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش‌های سطحی اطراف شهر بیجار، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۶، صص ۲۲۵-۲۴۶.
- ۷- طالبی، علی، (۱۳۹۷): بررسی امکان تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی حوضه آبخیز سردارآباد استان لرستان، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم شماره ۱۶.
- ۸- عابدینی مهدی، قاسمیان بهرام، رضائی مقدم مهدی حسین، (۱۳۹۷): نقشه‌برداری از مستعد بودن زمین‌لغزش در شهر بیجار، استان کردستان، ایران: یک مطالعه مقایسه‌ای با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و AHP، محیط‌زیست محیط.
- ۹- عقیقی، محمدابراهیم، پورمعلمی، محمد، (۱۳۹۸): تحلیل مکانی خطر زمین‌لغزش با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک با استفاده از مدل جنگل تصادفی (مطالعه موردی شهرستان لارستان در استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان.
- ۱۰- عقیقی، محمدابراهیم (۱۳۹۵): ژئو مورفولوژی کاربردی در ایران، انتشارات پیروز، چاپ اول.
- ۱۱- قنوتی، عزت اله (۱۳۹۲)، توانمند سازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) نمونه موردی شهر خرم آباد، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱، شماره ۴.
- ۱۲- مدیری، محمد. (۱۳۹۶): مدل‌سازی آسیب‌پذیری مناطق شهری در زمان وقوع زلزله با استفاده از GIS (نمونه موردی: منطقه سه کلان‌شهر تهران)، فصل‌نامه مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره ۱۶، صص ۱۶۴ - ۱۴۳.
- ۱۳- نصرآبادی، اسد اله. (۱۳۷۷): برآورد خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی لرزه‌ای استان ایلام (به دو روش تعینی و احتمالاتی)، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
- ۱۴- مرادی، حمیدرضا محمدی، مجید پور قاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۷): حرکات دامنه (حرکات جمعی)، با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل زمین‌لغزش، انتشارات جانبی، ص ۲۰.
- ۱۵- ملکی، امجد، محمد. بهزاد، (۱۳۹۶): شبیه‌سازی مناطق پیش‌بینی شده خندق با استفاده از روش SPI در حوضه رودخانه مرگ، تحقیقات ژئو مورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۲ - ۱.
- ۱۶- می‌رسانی، مهدی. (۱۳۹۶): روش‌ها و معیارهای بهینه برای نقشه‌برداری از خطر زمین‌لغزش، مؤسسه تحقیقات بلایای طبیعی، صص ۲-۴.

- 17- Abedini M, Ghasemyan B, Rezaei Mogaddam M H, (2017): Landslide Susceptibility Mapping In Bijar City, Kurdistan Province, Iran: A Comparative Study By Logistic Regression And AHP Models, Environ Earth Sci, 76:308, DOI 10.1007/S12665-017-6502
- 18- Ahmad, A. Dey, L. (2018): A Feature Selection Technique For Classificatory Analysis. Pattern Recogn. Let. 26 (1), Pp. 43-56.
- 19- Brown S. Row Lands, I. Nodal Pricing In Ontario, (2015): Canada: Implications For Solar PV Electricity. Renew. Energy, 34, Pp.170-178.
- 20- Cevik E Topal T (2016): GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping For A Problematic Segment Of The Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey) Environmental Geology 44: Pp. 949-962.