

ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (مطالعه موردی: جاده‌ی حیران - استان اردبیل)

فریبا اسفندیاری درآباد* - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
مسعود رحیمی - دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.
اصغر نویدفر - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران.
ارسلان مهرورز - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱

چکیده

زمین لغزش‌ها همواره موجب خسارات جانی و مالی، از دست رفتن منابع طبیعی و زیرساخت‌های زیربنایی از قبیل جاده‌ها، پل‌ها و خطوط ارتباطی می‌شوند. جاده ارتباطی حیران در حال حاضر تحت تأثیر فرایند لغزش و گسیختگی دامنه‌ای دستخوش تغییر می‌باشد. در این پژوهش حساسیت زمین لغزش محور ارتباطی حیران با استفاده مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و حلقوی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای مؤثر در شناسایی حساسیت زمین لغزش در سطح منطقه مورد مطالعه شامل لایه‌های استخراج شده از سطوح ارتفاعی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب و فاصله از جاده می‌باشد. لایه‌های اطلاعاتی بعد از آماده‌سازی در محیط نرم‌افزار SPSS Modeler اجرا شد و نقش و ارزش هر کدام از پارامترها بر اساس روش‌های مختلف به دست آمد. بر اساس نتایج ارزیابی مدل به ترتیب عامل زمین‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری اراضی، بیشترین ارزش را در ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد، کاربری‌های که در طبقه حساسیت زیاد قرار گرفته‌اند عمدتاً مربوط به اراضی مرتع، زمین کشاورزی و جاده‌های ارتباطی (بالاتر از ۱۴۰۰ متر) می‌باشند که در قسمت‌های غربی گردنه حیران واقع شده‌اند. سازندهای تحت تأثیر لغزش در محدوده مورد مطالعه عمدتاً تناوب توف، ماسه‌سنگ توفی به همراه گدازه‌های برشی و گدازه‌های پیروکسن آندزیت می‌باشد. در قالب مقایسه بین مدل‌ها جهت ارزیابی مطابقت آن با واقعیت منطقه به نظر می‌رسد مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری جهت ارزیابی حساسیت زمین لغزش در محور ارتباطی گردنه حیران دارد. شایان ذکر است، لزوم توجه به نقشه‌های حساسیت زمین لغزش طی عملیات جاده‌سازی و تعریض آن می‌تواند سبب کاهش ریسک مخاطره‌ی زمین لغزش در محدوده مسیر جاده حیران-آستارا گردد.

واژگان کلیدی: حساسیت زمین لغزش، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، محور ارتباطی حیران.

مقدمه

رخداد زمین لغزش یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی به حساب می‌آید که منجر به خسارات قابل توجه و از دست رفتن زندگی انسان‌ها و آسیب به زیرساخت‌ها در سراسر جهان می‌شود (گریما^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ راگوانشی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ پن^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). در این رابطه باید گفت که حرکت زمانی اتفاق می‌افتد که تنش برشی^۴ مواد نسبت به مقاومت برشی^۵ آن‌ها افزایش یابد، و نمایانگر مکانیسمی است که ناشی از حرکت دامنه‌ای می‌باشد و بنابراین زمین لغزش را از دیگر اشکال فرایندهای تخریب توده‌ای در میاناب‌ها (فرسایش خاک) متمایز می‌سازد. برآیند این نیروها در ارتباط با مورفولوژی دامنه و پارامترهای ژئوتکنیکی مواد، تعیین کننده نوع خاصی از لغزش است که می‌تواند اتفاق بیفتد. بنابراین، تحلیل افزایش احتمالی تنش برشی و یا کاهش مقاومت برشی مواد کلید فهم زمین لغزش‌ها و اقدامات حفاظتی مناسب می‌باشد (اسفندیاری و همکاران: ۱۳۹۷). مهم‌ترین عوامل اصلی ویژگی‌های ژئومورفیک و زمین‌شناسی، رخنمون‌های سنگی، جنس سنگ و پوشش گیاهی است (فرناندز^۶ و همکاران، ۲۰۰۴؛ کوییتو و همکاران، ۲۰۰۵؛ موریراز^۷، ۲۰۰۵). تاکنون متخصصان مختلف علوم طبیعی مطالعات زیادی در مورد حرکات توده‌ای انجام داده‌اند، ولی به دلیل پیچیده بودن این پدیده، بیشتر مدل‌های مورد استفاده حالت کیفی داشته و برای منطقه‌ای خاص کاربرد دارند. در حال حاضر اطلاعات مربوط به چند دهه اخیر، ابزارهای قدرتمندی هستند که می‌توانند در راستای بهبود برنامه‌ریزی کاربری زمین و اجتناب از توسعه نواحی حادثه‌خیز مورد استفاده قرار گیرند. این رویه مؤثرترین و اقتصادی‌ترین راه جهت کاهش خطرات آتی می‌باشد (آکسوی و ارکانوگلو^۸، ۲۰۱۲). در این خصوص، تهیه نقشه‌های حساسیت زمین لغزش، ابزار مهمی برای برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای هستند (ملچوریور^۹ و همکاران، ۲۰۰۸). اعتبار نقشه‌های حساسیت زمین لغزش عمدتاً وابسته به میزان و کیفیت داده‌های موجود، مقیاس کار و انتخاب روش مناسب تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی می‌باشد. فرآیند ایجاد چنین نقشه‌هایی شامل چندین رویکرد کیفی و کمی می‌باشد (آیالو^{۱۰} و همکاران: ۲۰۰۵). هدف از تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، تفکیک سطح زمین به مناطق همگن، بر اساس احتمال ناپایداری به واسطه حرکات توده‌ای در موقعیت‌های خاص می‌باشد (داس^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۲). این نقشه‌ها به تجسم فضایی برای پیش‌بینی زمین لغزش در آینده برای مناطق خاصی کمک می‌کند (داو^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۵). به‌منظور کاهش خسارات و صدمات، مطالعات زیادی جهت ارائه نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش صورت گرفته است:

یائو^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی نقشه حساسیت زمین لغزش در دامنه‌های هنگ کنگ را بر اساس مدل SVM تهیه نمودند. در این تحقیق از درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، منحنی پروفیل شیب، لیتولوژی، پوشش گیاهی و شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار در حساسیت بروز پدیده زمین لغزش استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده

1. Girma

2. Raghuvanshi

3. Pan

4. Shear stress

5. Shear strength

6. Fernandes

7. Moreiras

8. Aksoy and Ercanoglu

9. Melchiorre

10. Ayalew

11. Das

12. Dou

13. Yao

کارایی بالای این مدل در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش می‌باشد. کونفورتی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به ارزیابی توانایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی زمین لغزش‌های حوضه رودخانه توربلو^۲ واقع در ایتالیا پرداختند. آن‌ها در این تحقیق ده شاخص مرتبط با وقوع زمین لغزش شامل: لیتولوژی، گسل، کاربری اراضی، شبکه زهکشی و مجموعه‌ای از فاکتورهای توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص قدرت جریان (SPI) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی مصنوعی موفق به شناسایی مناطق لغزشی شده و می‌تواند جهت برنامه‌ریزی آمایش زمین و طرح‌های زیربنایی استفاده شود. هسو^۳ و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به کاربرد تکنیک‌های دورسنجی در شناسایی مخاطرات زمین لغزش در بخش‌هایی از خطوط راه‌آهن تایوان پرداختند. طبق نتایج آن‌ها در مجموع حدود ۴۸ مورد زمین لغزش سطحی، ۱۱ مورد ریزش سنگ، و ۷ مورد جریان واریزه‌ای در طول مسیر راه‌آهن شناسایی شد. آن‌ها بیان می‌دارند نتایج این تحقیق می‌تواند به بهبود ساخت‌وساز، پیشگیری از حوادث و مدیریت خدمات راه‌آهن در این بخش از تایوان کمک کند. همزه^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به ارزیابی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین لغزش بر پایه GIS در ایتوبی مرکزی پرداختند. جهت استخراج شیب، جهت شیب و ارتفاع از مدل رقومی به‌دست‌آمده از تصاویر ASTER و جهت استخراج کاربری اراضی و پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که حدود ۲۱ درصد منطقه در کلاس خطر زیاد و ۸ درصد منطقه در کلاس خطر خیلی زیاد از نظر مخاطره زمین لغزش قرار می‌گیرد. سائیتو^۵ و همکاران (۲۰۱۷) طی تحقیقی به تأثیر قطع درختان جنگل بر وقوع زمین لغزش با تأکید بر آنالیز بارش‌های آستانه‌ای در ژاپن پرداختند. آن‌ها در این مطالعه نقش بارش‌های آستانه‌ای را در وقوع زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در هر دوره با استفاده از عکس‌های هوایی مورد مطالعه قرار داده و ارتباط بین زمین لغزش‌های اتفاق افتاده و ویژگی‌های توپوگرافی را با استفاده از DEM با قدرت تفکیک ۱۰ متر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کار آن‌ها حاکی از ارتباط قوی بین حذف درختان جنگلی و بروز زمین لغزش در منطقه مطالعاتی می‌باشد. هونگ^۶ و همکاران، (۲۰۱۶) در تحقیقی به پیش‌بینی فضایی لغزش‌های محدوده‌ای در چین با استفاده از مدل SVM پرداختند. آن‌ها در این تحقیق ۲۸۲ زمین لغزش را در محدوده مورد مطالعه از طریق تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی شناسایی کردند. از این تعداد نقاط لغزشی ۷۰ درصد به‌عنوان داده‌های آموزشی انتخاب شده و بقیه جهت صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل RBF-SVM دارای عملکرد بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش بوده و می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین مفید واقع شود. پولیکرتیز^۷ و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به ارزیابی و مقایسه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق فهرست زمین لغزش‌ها را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی به دست آوردند. هشت فاکتور اصلی مورد استفاده در این تحقیق شامل: ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از عناصر تکتونیکی، کاربری اراضی و لیتولوژی بوده است. نتایج صحت سنجی آن‌ها نشان داد که هر دو مدل دارای دقت بالایی بوده اما مدل رگرسیون لجستیک برتری نسبی بالاتری را در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه داشته است. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و الگوریتم SVM به شناسایی سطوح مستعد زمین لغزش در آزادراه خرم‌آباد- پل زال پرداختند.

1. Conforti

2. Turbolo

3. Hsu

4. Hamza

5. Saito

6. Hong

7. Polykretis

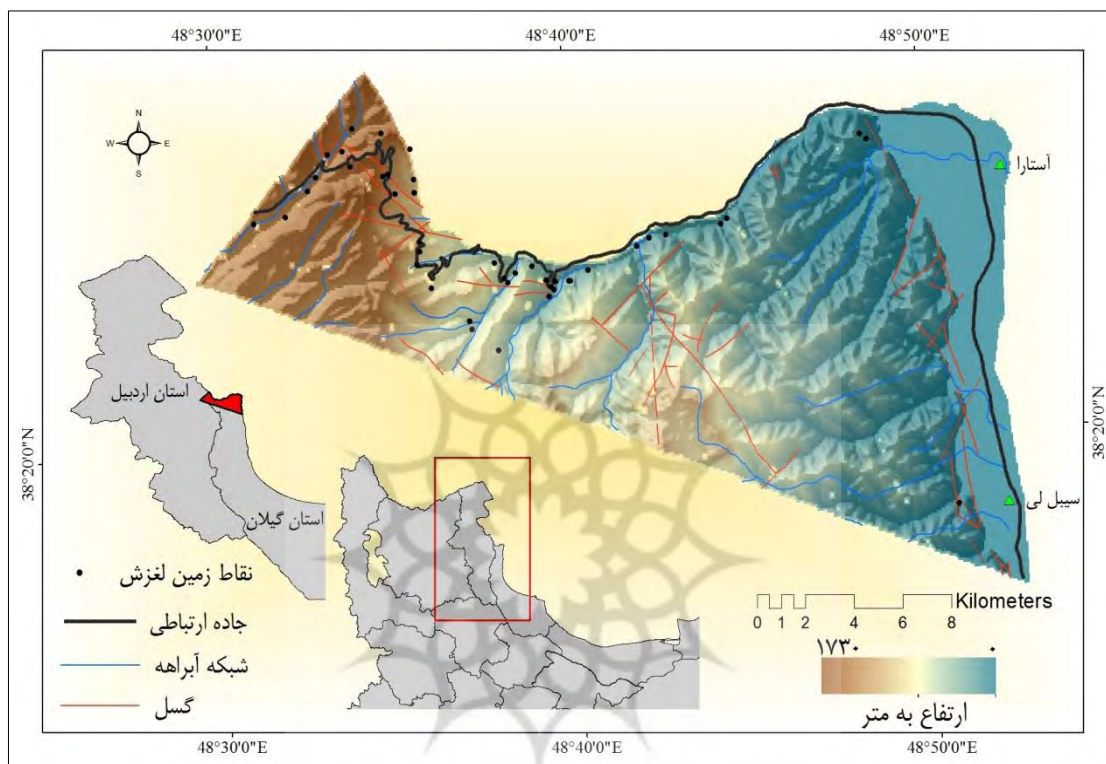
نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک، انحنای پلان و پروفیل توانسته ویژگی‌های شکلی سطوح را به صورت کمی مشخص نماید و در نتیجه نقش مهمی در افزایش دقت شناسایی سطوح مستعد لغزش داشته باشد. آن‌ها اشاره می‌کنند که با توجه به درهم‌ریختگی و زبری سطوح لغزشی این شاخص‌ها کارایی خوبی در شناسایی پهنه‌های لغزشی داشته‌اند. عمادالدین و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به ارزیابی خطر زمین لغزش در محور جاده هراز با استفاده از فرایند سلسه‌مراتبی، تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و مطالعات میدانی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه ۲۶۱ نقطه‌ی حادثه‌خیز متأثر از لغزش و ریزش ثبت کردند. از بین این تعداد نقاط برداشت‌شده ۱۹۱ مورد با سطح پرخطر تشخیص داده شد. طی تحقیقات آن‌ها، بیشترین خطر در رابطه با اشتراک مخاطرات مربوط به ریزش و رواناب به دست آمده است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۷) خطر وقوع زمین لغزش را در محور مواصلاتی خلخال-سرچم با استفاده از مدل‌های آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در حدود ۲۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد. بخشی از جاده ارتباطی خلخال-سرچم به طول تقریبی ۲۳ کیلومتر در پهنه‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد احداث شده است. آن‌ها اشاره می‌کنند که در مقیاس کلی، زمین لغزش‌های منطقه توسط متغیر لیتولوژی کنترل می‌شود. اصغری و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی در ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز سیمره چنار پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۱ مدل کارآمدتری نسبت به مدل منطق فازی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه سیمره چنار است. همچنین آن‌ها اشاره می‌کنند که از میان عوامل تأثیرگذار بر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه عامل شیب به عنوان مهم‌ترین عامل و عوامل سنگ‌شناسی و خاک در مراتب بعدی قرار دارند. روستایی و همکاران (۱۳۹۷) طی تحقیقی به شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز طالقان با استفاده از روش اینترفرومتری تفاضلی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه مناطق ناپایدار در دامنه غربی با دقت بالایی نسبت به شیب‌های شرقی آشکارسازی شده‌اند. میانگین میزان جابجایی محاسبه شده پهنه لغزشی در این دوره ۶- تا ۱۳ میلی‌متر بوده است. مهم‌ترین نقطه لغزشی شناسایی شده توسط این محققان، توده لغزشی میناوند و زیدشت بوده است که در مجاورت سد طالقان و مناطق مسکونی قرار دارند.

جاده مواصلاتی حیران به عنوان پل ارتباطی بین استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی با استان‌های شمالی کشور در حال حاضر تحت تأثیر مخاطرات دامنه‌ای قرار دارد. بر اساس مشاهدات میدانی زمین لغزش‌های متعددی در این منطقه اتفاق افتاده و احتمال وقوع زمین لغزش‌های دیگر نیز بسیار می‌باشد. در واقع لزوم توجه به زمین لغزش‌های این منطقه زمانی احساس می‌شود. در این پژوهش سعی خواهد شد با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی منطقه، ضمن شناسایی مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین لغزش در گردنه حیران، مناطق مستعد زمین لغزش شناسایی و کارایی روش‌های مورد استفاده در این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد.

منطقه مطالعاتی

گردنه حیران در مسیر ارتباطی اردبیل- آستارا قرار گرفته است. این گردنه در شمال شرق شهر اردبیل و غرب شهر مرزی آستارا قرار دارد. از رودخانه‌های مهم محدوده مورد بررسی رودخانه‌های آق چای، کریم چای هستند که به سمت رودخانه آستارا چای زهکشی می‌شوند. منطقه از نظر تکتونیکی دارای گسل‌های بارزی همچون گسل آستارا است. در مسیر گردنه حیران از نمین تا آستارا سازندهای مختلفی را می‌توان شناسایی نمود. از نزدیکی نمین تا روستای حیران، سنگ اصلی را برش ولکانیکی از نوع آندزیت پیروکسن دار آئوسن تشکیل می‌دهد. در قسمتی از این مسیر رسوبات کنگلومرایی با سیمان سست دارای قطعات آتشفشانی، به صورت ناپیوستگی آذرین پی بر روی برش‌های آتشفشانی آندزیتی قرار گرفته است. از روستای حیران تا ۱۵ کیلومتری آستارا، سنگ‌های رسوبی، برونزد دارند که به کرتاسه مربوط می‌شوند. از ۱۵ کیلومتری آستارا به ترتیب سنگ‌های ماسه‌سنگ توفی با میان لایه‌ای از گدازه‌های آندزیتی پالئوسن و رسوبات کواترنری

قرار گرفته‌اند (رضایی مقدم، ۱۳۷۷). بیشترین ارتفاع منطقه ۱۷۳۰ در قسمت بالادست رودخانه آستارا چای و کم‌ترین ارتفاع در خروجی دره در محدود شهر آستارا قرار دارد. غالب کاربری زمین‌ها در محدوده مورد مطالعه از نوع کاربری کشاورزی و مرتع می‌باشد. محدوده مورد مطالعه به دلیل متأثر شدن از جریان‌های اقلیمی دریای خزر تحت تأثیر اقلیم مرطوب خزری بوده و دارای میانگین بارش نزدیک به ۸۴۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه را در شمال غرب کشور نشان می‌دهد.

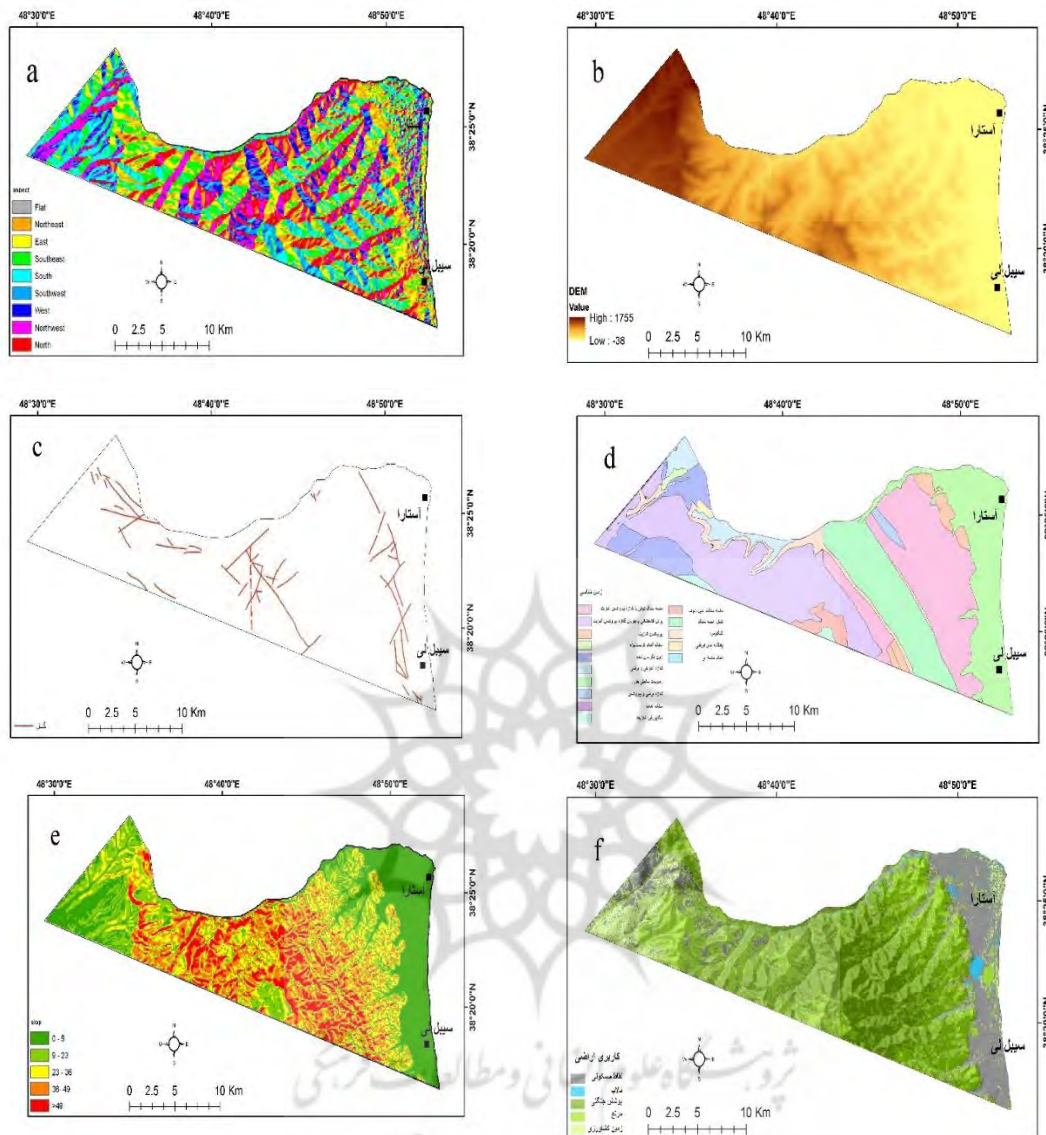


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل: نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر مربوط به ماهواره ALOS – PALSAR، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 (با قدرت تفکیک ۱۰ متر)، تصاویر Google Earth، داده‌های اقلیمی، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای می‌باشد. جهت تهیه و آماده‌سازی لایه‌ها و اجرای مدل‌های تحقیق از نرم‌افزارهای Arc GIS، SPSS Modeler و ENVI استفاده گردید.

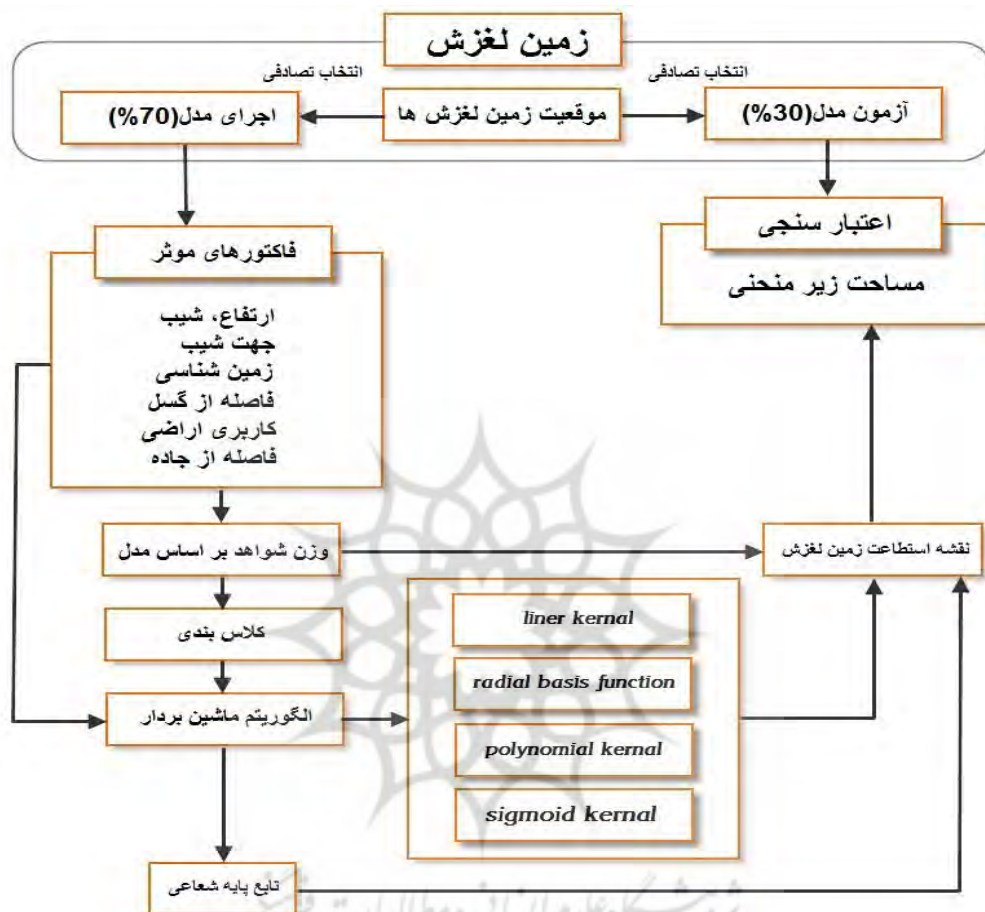
در این پژوهش به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه در طی بازدید میدانی از منطقه توسط GPS و نیز تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2A ثبت شد. لایه‌های مورد استفاده برای این پژوهش شامل: زمین‌شناسی، گسل، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، جاده می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه: (a) جهت شیب (b) توزیع ارتفاعی (c) فاصله از گسل (d) نقشه زمین‌شناسی (e) شیب (f) کاربری اراضی

آماده‌سازی لایه‌ها به صورت پیکسل مینا انجام شد. در این روش هر پیکسل شامل تمامی اطلاعات لایه‌های مورد استفاده در پژوهش را شامل می‌شود. لذا برای هر پیکسل با مشخصات تمامی لایه‌های دخیل در صورت رخداد زمین لغزش عدد یک و در صورت عدم رخداد زمین لغزش مقدار صفر در نظر گرفته شد. مزیت این روش عدم هیچ‌گونه دخل و تصرف از جانب کارشناس بر نتایج احتمالی تحمیل پژوهش است. لذا مرحله اول آماده‌سازی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS صورت گرفت که به‌عنوان ورودی برای اجرای مدل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار SPSS Modeler است. جهت آماده‌سازی ابتدا تمامی لایه‌ها به حالت رستر تبدیل شدند و در ادامه این لایه‌های رستری با یکدیگر ترکیب شدند. فایل رستر نهایی شامل تمامی اطلاعات لایه‌های مورد استفاده در پژوهش را در برمی‌گیرد. هر پیکسل از فایل رستری شامل ارزش ارتفاعی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و فاصله از گسل را در برمی‌گیرد.

لایه اطلاعاتی آماده‌شده در محیط نرم‌افزار SPSS Modeler با نسبت ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای اعتبار سنجی مدل در نظر گرفته شدند (شکل ۳). هدف اصلی از جدا کردن مجموعه نمونه‌های آموزشی و آزمایشی، ساخت یک مدل و آزمون مدل به‌دست‌آمده با نمونه‌های آزمایشی مستقل است (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۴).



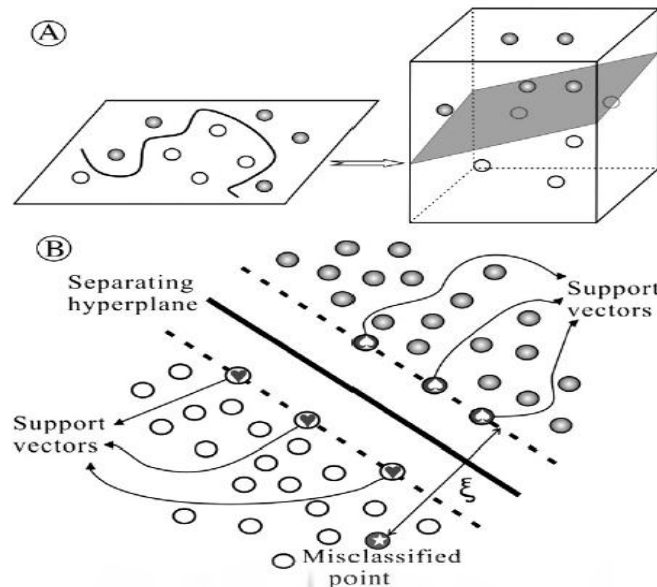
شکل ۳. فلوجارت مدل مورد استفاده برای اجرای پهنه‌بندی زمین لغزش (ماشین بردار پشتیبان)

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

مدل SVM بر پایه تئوری یادگیری آماری بنا شده است. بر اساس این تئوری می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به‌عنوان نرخ خطای تعمیم‌یافته در نظر گرفت (شکل ۴). این کرانه‌ها به‌عنوان تابعی از مجموع نرخ خطاهای آموزشی هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند. به‌منظور کمینه کردن نرخ خطاهای تعمیم‌یافته، باید نرخ خطای آموزش و پیچیدگی طبقه‌بندی کننده کاهش یابد. این کار را می‌توان با بیشینه کردن حاشیه جداسازی انجام داد. بنابراین، از آنجایی که حاشیه جداسازی به بعد داده‌های ورودی بستگی ندارد، این طبقه‌بندی کننده، کارایی مناسبی دارد. مدل SVM که در دهه اخیر استفاده از آن گسترش یافته بر پایه انتقال غیرخطی همگام با یک ابعاد بالای فضایی ویژه است (واپنیک^۲، ۱۹۹۵:۱).

1. Support Vector Machine

2. Vapnik

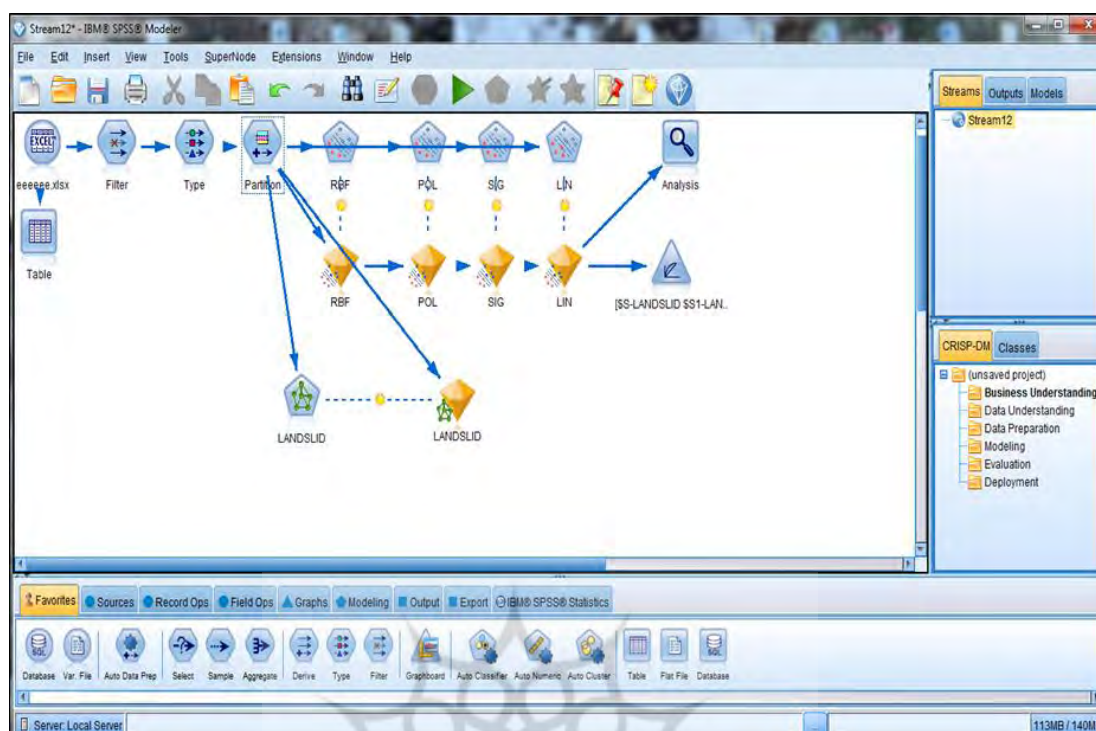


شکل ۴. اصول SVM (a)، تفاوت دو کلاس با حداکثر فاصله (b)، موارد غیرقابل تفکیک و متغیرهای غیردقیق (b) (یائو و همکاران، ۲۰۰۸)

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی به عنوان مجموعه‌ای از گره‌های به هم پیوسته تعریف می‌شوند که می‌تواند برای مدل‌سازی مسائل و مشکلات زمین لغزش در ارتباط بین فاکتورهای عوامل ایجادکننده و پاسخ‌ها کمک نماید. الگوریتم‌های مختلف برای شبکه عصبی مصنوعی در بحث‌های نظری مطرح شده است. پرسپترون چندلایه و تابع پایه شعاعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور گسترده در مدل‌سازی زمین لغزش استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور کلی شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان، و یک لایه خروجی است (کاوزگلو^۱ و ماتر، ۲۰۰۳). در این پژوهش جهت برآورد بهتر حساسیت زمین لغزش و مقایسه روش‌های مختلف، روش شبکه عصبی مصنوعی نیز مورد استفاده قرار گرفت. بعد از آماده‌سازی لایه‌ها بر اساس ارزش‌های هر پیکسل در نرم‌افزار Arc GIS، در نرم‌افزار SPSS Modeler مدلی مطابق شکل ۵ تنظیم شد. قبل از اجرای مدل می‌بایست نوع داده‌ها (اسمی، ترتیبی،...) و نسبت اجرای مدل و آزمون تنظیم شود. با توجه به اینکه مدل ماشین بردار پشتیبان چهار تابع مختلف (چند جمله‌ای، شعاعی، حلقوی، خطی) دارد در تنظیم مدل هر چهار تابع اجرا می‌شود. در کنار مدل ماشین بردار، مدل شبکه عصبی مصنوعی نیز مطابق شکل ۵ تنظیم و آماده‌سازی شد. خروجی نرم‌افزار SPSS Modeler برای هر کدام از لایه‌های مورد استفاده در مدل‌های مختلف مورد استفاده در تحقیق ارزش عددی تولید می‌کند. در نهایت مقادیر هر کدام از لایه‌ها در نرم‌افزار Arc GIS به نقشه حساسیت زمین لغزش منتهی می‌شود.

¹ Kavzoglu



شکل ۵. فرایند اجرای مدل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار SPSS Modeler

یافته‌های تحقیق

در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش مهم‌ترین بخش کار تهیه لایه پراکندگی زمین لغزش‌های منطقه می‌باشد. میزان دقت و ارزیابی درست پهنه‌بندی تا حد زیادی مربوط به این بخش از کار هست. لذا جهت ارزیابی دقیق و صحت پهنه‌بندی کارهای میدانی جزء لاینفک مطالعه زمین لغزش‌ها می‌باشد. بدین منظور، کارهای میدانی جهت شناسایی زمین لغزش‌های منطقه صورت گرفت. مهم‌ترین ابزار کار در این مرحله GPS می‌باشد. تعداد ۴۲ مورد از زمین لغزش‌های مهم در طول گردنه حیران برداشت شد (شکل ۶).



شکل ۶. زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در مسیر محور حیران - آستارا

مقادیر ارزش‌های هر کدام از عوامل دخیل در رخداد زمین لغزش در گردنه حیران در جدول ۱ آمده است. در مدل شبکه عصبی مصنوعی بیشترین ارزش برای عامل کاربری اراضی و کمترین ارزش برای عامل ارتفاع و جهت شیب محاسبه شد. برای تابع خطی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان همه عوامل به میزان ۰/۱۷ ارزش گذاری شد و تمامی عوامل به یک‌میزان در رخداد زمین لغزش معرفی شدند. در تابع شعاعی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان ارزش برای عامل کاربری اراضی به میزان ۰/۲۱ و کمترین مقدار برای عامل ارتفاع و زمین شناسی برآورد شد. بر اساس تابع چندجمله‌ای بیشترین ارزش برای عوامل شیب و فاصله از گسل محاسبه شد. بعد از ارزیابی نهایی، مدل حلقوی الگوریتم ماشین بردار به‌عنوان مبنای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه انتخاب شد. در این مدل بیشترین ارزش برای عامل زمین شناسی به میزان ۰/۲۱ محاسبه شد. با دقت در نتایج مدل SVM می‌توان دید سه تابع Sigmoid kernel, Polynomial kernel, Liner kernel نتایج تقریباً مشابهی ارائه داده‌اند. تابع Radial basis function بیشتر با مدل شبکه عصبی مصنوعی (Neural net) در بیان عوامل تأثیرگذار در ناپایداری دامنه همپوشانی زیادی دارند.

جدول ۱. مقادیر اثر هر یک از عوامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش بر اساس مدل‌های کمی

Sigmoid kernel	Polynomial kernel	Radial basis function	Liner kernel	Neural net	پارامتر
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۷	ارتفاع
۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۴	شیب
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۷	جهت شیب
۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۴	زمین شناسی
۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۳۸	کاربری اراضی
۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۰	گسل

مبنای کلاس‌بندی نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر طبق روش طبیعی جنکس^۱ صورت گرفته است. داده‌های هر کلاس که بیشترین مشابهت را به هم دارا هستند در یک کلاس قرار می‌گیرند. اساس این روش در به حداقل رساندن میانگین انحراف از معیار از میانگین کلاس‌ها است. این روش واریانس درون کلاس‌ها را کاهش و واریانس بین کلاس‌ها را به حداکثر می‌رساند (جنکس، ۱۹۶۷). مقادیر درصد طبقات کم تا خیلی زیاد حساسیت زمین‌لغزش در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشتر از ۴۰ درصد مساحت محدوده در گروه خیلی زیاد حساسیت لغزش قرار گرفته‌اند. این بخش از محدوده در طبقه ارتفاعی بالای ۱۴۰۰ متر در بخش‌های بالادست محور ارتباطی عمدتاً تحت کاربری مسکونی و کشاورزی قرار گرفته است. این بخش‌ها از نظر حساسیت زمین‌لغزش در طبقه خیلی زیاد جای گرفتند (شکل ۷). کمترین مقدار حساسیت زمین‌لغزش مربوط به طبقه کم است که عمدتاً در بخش‌های کم شیب حاشیه غربی دریای خزر و در محدوده شهرستان آستارا واقع شده است.

بر اساس مقادیر درصد طبقات بین توابع مختلف کرنل شباهت زیادی برقرار است. در روش شبکه عصبی مصنوعی تنها طبقه خیلی زیاد با توابع مدل کرنل درصد نزدیک به هم را دارا می‌باشند ولی در سایر طبقات اختلاف چند درصدی به‌دست‌آمده است. در روش شبکه عصبی مصنوعی بیشتر از ۶۰ درصد از مساحت حوضه بین طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است و در حدود ۳۵ درصد بین طبقه متوسط و کم قرار گرفته است. شکل (۸) نقشه حساسیت زمین‌لغزش را در محور ارتباطی حیران- آستارا بر اساس توابع الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد.

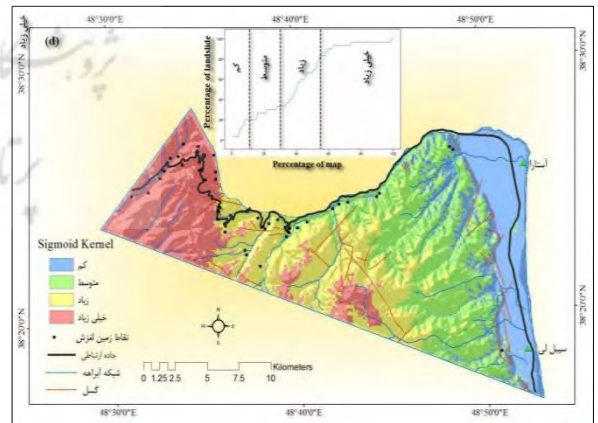
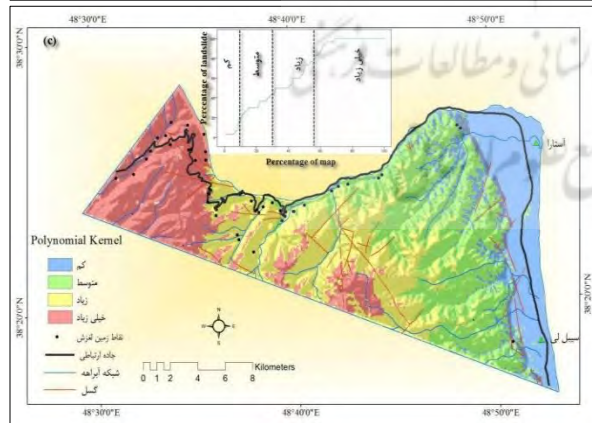
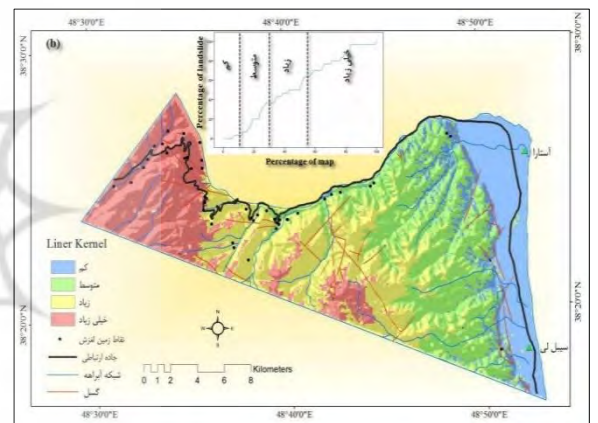
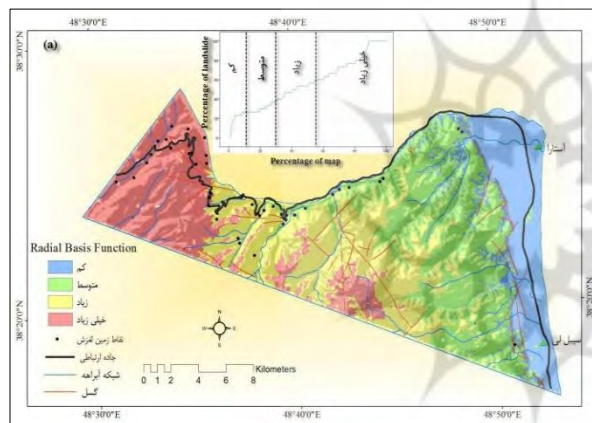


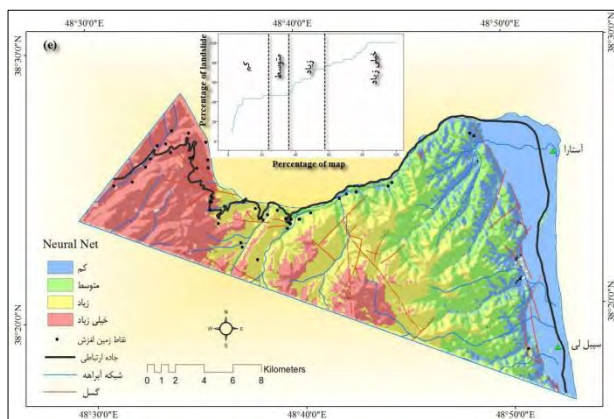
شکل ۷. نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در مسیر مواصلاتی حیران به سمت آستارا و بسته شدن مسیر ارتباطی

^۱. Jenks natural breaks

جدول ۲. مقدار درصد حساسیت زمین لغزش بر اساس مدل‌های کمی

Sigmoid kernel	Polynomial kernel	Radial basis function	Liner kernel	Neural net	طبقات
۱۲/۷۰	۱۲/۰۷	۱۲/۰۹	۱۲/۰۸	۲۳/۲۵	کم
۱۸/۰۴	۱۸/۱۷	۱۸/۱۷	۱۸/۱۷	۱۲/۵۰	متوسط
۲۷/۴۶	۲۷/۶۵	۲۷/۶۵	۲۷/۶۵	۲۲/۷۷	زیاد
۴۱/۷۸	۴۲/۰۸	۴۲/۰۷	۴۲/۰۸	۴۱/۴۷	خیلی زیاد



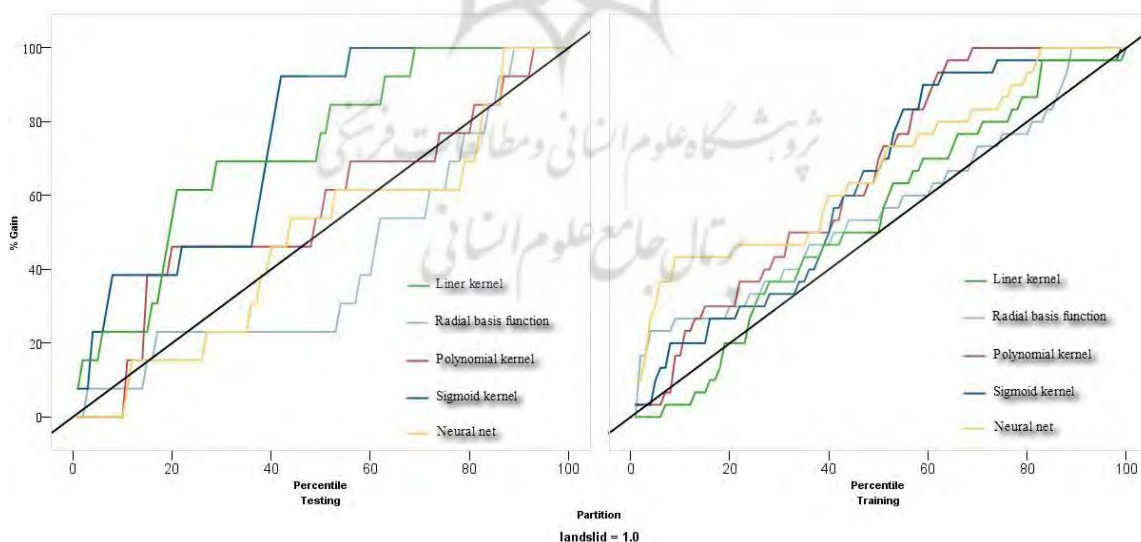


شکل ۸. نقشه حساسیت زمین لغزش در محور ارتباطی حیران - آستارا

(a: Radial basis function, b: Liner kernel, c: Polynomial kernel, d: Sigmoid kernel, e: Neural net)

ارزیابی مدل

با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان نقاط لغزشی استفاده کرد که در پهنه‌بندی استفاده شده است. در این پژوهش نیز بعد از آماده‌سازی داده‌ها ۷۰ درصد از داده‌ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورداستفاده قرار گرفت. خروجی نرم‌افزار SPSS Modeler برای ارزیابی در شکل ۹ نشان داده شده است. تصویر سمت راست نمودار داده‌های آموزشی و تصویر سمت چپ آزمون مدل بر اساس مدل‌های مورداستفاده در پژوهش است. اساس صحت سنجی در این نمودار مساحت زیر سطح منحنی است، لذا بر اساس نمودار تست مدل، مدل حلقوی بیشترین مساحت زیر منحنی را نسبت به سایر مدل‌ها دارا می‌باشند و کم‌ترین مقدار مساحت مربوط به مدل شعاعی است. از این رو مدل حلقوی برای مدل‌سازی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناسب است.



شکل ۹. منحنی ارزیابی روش‌های مختلف جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش (نمودار سمت راست: داده‌های آموزشی - نمودار سمت چپ: داده‌های تست مدل)

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته و نتایج تحقیقات در محدوده ارتباطی گردنه حیران عامل لیتولوژی و تغییر کاربری و حجم زیاد ساخت‌وساز و برهم زدن شیب طبیعی زمین برای جاده‌سازی و از بین رفتن مقاومت جانبی در طول مسیر گردنه حیران باعث تشدید زمین لغزش‌ها شده است (رضایی مقدم، ۱۳۷۷؛ اسفندیاری، ۱۳۸۷). نتایج مطالعه با استفاده از مدل‌های

آماري دومتغیره و منطق فازی بیانگر نقش فعالیت‌های انسانی از قبیل کشاورزی، مسکونی و احداث جاده است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج این تحقیق بر نقش عامل زمین‌شناسی در مرتبه اول و عوامل ارتفاع، جهت شیب و کاربری اراضی در مرتبه‌های بعدی تأکید دارد. بخش‌هایی از منطقه که حساسیت بالایی از نظر زمین‌لغزش داشتند عمدتاً دارای سازندهای تناوب توف، ماسه‌سنگ توفی به همراه گدازه‌های برشی و گدازه‌های پیروکسن آندزیت است که در طبقه ارتفاعی بالای ۱۴۰۰ و شیب بیشتر از ۲۰ درصد است. این قسمت‌ها تحت دخالت‌های انسانی از قبیل احداث جاده، مراتع و ساخت‌وساز قرار گرفته‌اند. لذا نتیجه این تحقیق نیز در تأیید کارهای صورت گرفته قبلی است.

نتیجه‌گیری

بر اساس ارزیابی نهایی بین مدل‌های مختلف الگوریتم ماشین بردار و شبکه عصبی مصنوعی، تابع حلقوی الگوریتم ماشین بردار بعد از ارزیابی نهایی به‌عنوان مبنای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه انتخاب شد. با توجه به لایه‌های مورد استفاده در ارزیابی حساسیت زمین لغزش، به ترتیب عامل زمین‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری اراضی، بیشترین ارزش را در ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده داشته‌اند. سازندهای زمین‌شناسی تحت تأثیر رخداد زمین لغزش عموماً شامل: توف، ماسه‌سنگ توفی به همراه گدازه‌های برشی و گدازه‌های پیروکسن آندزیت است. با توجه به دخل و تصرف زیاد در طول محور ارتباطی حیران - آستارا، کاربری‌های مربوط به مرتع، زمین کشاورزی و جاده‌های ارتفاعی عموماً در کلاس حساسیت زیاد جای گرفته‌اند. لذا در کنار شرایط محیطی مستعد برای رخداد زمین لغزش فعالیت‌های انسانی نقش تأثیرگذار در تشدید ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده دارد.

در آخر جهت کاهش مخاطرات دامنه‌ای در مسیر ارتباطی حیران رعایت موارد زیر به‌عنوان مهم‌ترین اقدامات عملیاتی پیشنهاد می‌گردد:

- لزوم توجه به حفظ تعادل مورفودینامیک دامنه‌ها در عملیات تعریض مسیر جاده حیران
- جلوگیری و ممانعت از افزایش شیب دامنه‌ها طی دست‌کاری‌های صورت گرفته توسط فعالیت‌های انسانی در اطراف جاده حیران
- جلوگیری از قطع درختان و از بین بردن پوشش گیاهی اطراف حریم جاده حیران
- نظارت مستمر بر نواحی مستعد مخاطره زمین‌لغزش در اطراف جاده حیران، جهت جلوگیری از وقوع خسارات جانی و مالی
- زهکشی مناسب توده‌های خاکی قرار گرفته در پشت دیواره‌های حفاظتی اطراف جاده حیران
- رعایت فاصله عرضی مناسب بین ترانشه‌ها و دیواره‌های حفاظتی از مسیر جاده حیران

منابع

- احمدآبادی، ع.، رحمتی، م.، ۱۳۹۴. کاربرد شاخص‌های کمی ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش با استفاده از مدل *MMM* (مطالعه موردی: آزادراه خرم‌آباد-پل زال)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۴، شماره ۳، صص ۱۹۷-۲۱۳.
- اسفندیاری درآباد، ف.، ۱۳۸۷. پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش جاده ارتباطی اردبیل-آستارا با استفاده از *SSS*، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین. سال پنجم، شماره ۱۸، صص ۱۱۳-۱۲۴.
- اسفندیاری درآباد، ف.، رحیمی، م.، خیری زاده، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی و پیش‌بینی مکانی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک (منطقه مطالعاتی: جاده مواصلاتی خلخال - سرچم)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۵۸.

- اصغری، ص.، بلواسی، ا.، ۱۳۹۷. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیمره چنار)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۵۸-۱۸۲.
- صفاری، ا.، بهشتی، ا.، صفیری، ن.، ۱۳۹۲. مقایسه مدل‌های آماری دومتغیره و منطق فازی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: محدوده گردنه حیران در محور اردبیل - آستارا)، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی.
- رضایی مقدم، م.ح.، ۱۳۷۷. پژوهشی پیرامون علل زمین‌لغزه‌های گردنه حیران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تبریز، شماره ۱۶۸.
- روستایی، ش.، خدایی، ل.، ۱۳۹۵. ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (PPP) و رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد، مطالعه موردی: سد قلعه چای. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۵، شماره ۳، صص ۶۷-۸۰.
- روستایی، ش.، مختاری، د.، اشرفی، ز.، ۱۳۹۷. شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی در حوضه آبریز طالقان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۸-۳۰.
- عمادالدین، س.، مرادی؛ آ.، ۱۳۹۷. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند سلسله مراتبی (PPP)، تحلیل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مطالعات میدانی با رویکرد ریسک (مطالعه موردی: محور جاده هراز)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۶، شماره ۴، صص ۱۷۲-۱۹۰.
- فیض‌نیا، س.، حسن‌زاده، م.، احمدی، ح.، ۱۳۸۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز شلمان رود در استان گیلان، منابع طبیعی ایران، دوره ۵۴، شماره ۳، صص ۲۰۷-۲۲۰.
- yyyyyy an rrnanguu 00.. dadddddddbooooooacc cccaccccæc b ob... -
ba ggga anal a ii... Axxxxapp rr a va roodtttatta ttt ,,
T..... .. uu oooooeeæee,, 8811...pp.77-...
- nnn oo Pa a , oobu & ddao F 00 vva uat rroooooo
papab hh aiii iiii a kkkkkkkkoo pap gggglaniii ee iiiiiiib iiiii ii hle
Trrbll eeehhhhhhhhhhhhhh a ab a...a a nnaIII 336-....
- ..b ooo ,, Frrrara V an Pallla ar 5555 Laddddddd ha.a. nn hh rrrb ddi
uuu tt ai NMhhhsSSSSSSSSSSSSSSSS SSSll ggy, 66()) ppp5559-....
- a Sa,,, .. nan Weeee, tt a a .00 daddddddd eeeeeeb
a ss rrrssnnna pppp aii nnn hhhha rcc a a a
sssee alnn a roa cccooo nhh hhhhhhhhhhhhh lalla lall nnni a). ooo pppp ooooy, 14444
pp7777-....
- uuu Yama. iii Puurhha ,, Y.... . P gggg, ,, uu Y. hh,, Z
22.)) . nn itt rrra aiii iiii a ooooooadd oo hh .aniiib
a..... .. a .. lllla lllla lall .a...a. .a.a r,,, 77()) 99999977...
- nnnnann FFE. mmmmmmmmmmm V,,,a, ,.... nnn gg.... an
.. eenb.. ,, 4444. Tppppppapp oott rll ladddddddanii ee nanrrr:: ddddddcccccc
an ddd iii... tat nna, ((()) ppp6666-....
- a Raguuvahhh.. T,,, . wwwwww lall mma,,a, , T 0055 Laddiii harar
nnnatoa. i Ada rrr ga sss a hhoai a - a ba tta llllal laproa
ttttat tttt 00 .. -88
- zazza zzT & Rahh..a hhh T 00.. ba laddddddd rarrrr uuua uuuuuu
... atoai-A a JJJJuuuu a tt ii ppia..uuunnal nnnSSsu Uii rrr.... -
nnnnnnnnnnnn 111-66..

- nnn ,, ddda,a,, ,, rrrbrrr uu T & uuuu 6666 ppatlal
rrooooooo laddddd.a zar a hh Lxx ar a iiiii a oo hahh... ..
nnrrmntttta ttt ahhh(See77777777)).....
-oao T .. gggag gg eee F & T gggg nnnng
Tiiii ii ... dffff ft Laniii .a. ar rrnn cccooo annn eeeoo.... ii Rawwya
nrl Tinan ..rr iiiii ainnnrnn, 1B3... 88-....
- rrrg F 9977 TT tata ddd nnn tt atllllal lpap ii eannaooa
Yrarboffff oaoooooahh :: 166-99..
- gaggggg T & hahhrr P 00 hh ff barrrrppagagggaiii uuudal
ooooooooonlan acccccacc. nnnnnnna ocnnal ff r 4422),
7777-99...
- ee oooooo uauuuuuu nnnnnn an Zaniii ,, 00... iiiiiiia iuuua oooooooooo
an a a laiiii iii iiiiiib iiiiiiiiiaii i oooooooooo ogy, 4433), pp.779-
....
- rrr ii a 0055 mmmmmnae ff SSS aooaddadhhhladdddd rrrrr rrrr nn
hrrrrrrra r Addeeeeeeezzaapnnnn Arnnnna. naniii ,, (())..... .. -...
- Pa,, ... ,NNkarrra ooooa uua XXXXXXXXSSSS-badddddadddhhard
annnnnnnnttttt ttata ttanaLLLLLLLlLLLLLLLLLLLln (3) 777-555.
- oorrer & hhal a 8888 pppp aiinnn an uuuauiinn ff laddddd
iiiiiiib iiiii iai obtaeee rr ggggtt ff ii ggrssnnnn an aiiiiia i
uuu a kkkkkkkkkk atrazzazaz,, 99(()) 99999...
- RahhhhhahhhT,,, Ibhah Awawwww 0044 ll ttba b a uatinn
pa a EE iaii... mmmmmna aprroahh or ladddddararrnnnatnnn rrr
Ea 99 555- 222.
- Saooo uu kaka W mammamm & uuu ,, T 00 or rrrarriiii ii
nn ladddddrrrrrr rrrr s nnal nanifa rroooadd at fffff fa papan
ppppppp ppyyyy2221111.
- Thangaoao P an iia I 00 oooooooooo a l rressoo a Nai Ba
a ladddddiiiiiiib iiiiiiiiiaii iiiii ii nnuu .ddd pppp iii an
iiaii .. dasas..... .a. ena. ,, , pp.444-....
- Vapii V 00B3...hh rarrrrff ttaccccnnnamn teeyy ppgggg eeec & bnnnss
....a .
- Yao ,, hham ,a,, .F 0088 Laeeeeeeccciiiiib iiiii iai ii gg ba
pppoo ccco hahhn a .a... .. uaural pppp nnn gggg.. iii na
ppppppp ppyyyy1111(()) 22222...