وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

اصول کاربردی پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش

(با استفاده از یادگیری ماشین و برنامه‌نویسی در متلب)

نویسندگان: کورش شیرانی، حمیدرضا پیروان، رضا نادری سامانی

اصول کاربردی پهنه‌بندی و پیش‌بینی
حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش

(با استفاده از یادگیری ماشین و برنامه‌نویسی در متلب)

نویسندگان:

کورش شیرانی، حمیدرضا پیروان، رضا نادری سامانی

سرشناسه: کورش شیرانی ۱۳۴۶
عنوان و نام پدیدآور: اصول کاربردی پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش (با استفاده از یادگیری ماشین و برنامه‌نویسی در متلب)، نویسندگان: کورش شیرانی، حمیدرضا پیروان، رضا نادری سامانی؛ ویراستار علمی- ادبی: سعید نبی‌پی لشکریان
مشخصات نشر: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری: ۲۷۸ صفحه.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۰۵۴-۳۸-۴
قیمت: ۲۵۰۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
موضوع: زمین‌لغزه— ایران—تجزیه‌وتحلیل خطرات
موضوع: Landslide—Hazard analysis--Iran
موضوع: زمین‌لغزه— ایران— خطرسنجی
موضوع: Landslides—Risk assessment--Iran
شناسه افزوده: پیروان، حمیدرضا، ۱۳۴۱
شناسه افزوده: نادری سامانی، رضا، ۱۳۷۵
شناسه افزوده: نبی‌پی لشکریان، سعید، ۱۳۴۹، ویراستار
شناسه افزوده: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
رده‌بندی کنگره: QE۵۹۹
رده‌بندی دیویی: ۵۵۱/۳۰۷۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی: ۹۷۸۰۳۶۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

وزارت جهادکشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: اصول کاربردی پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش (با استفاده از یادگیری ماشین و برنامه‌نویسی در متلب)
نویسندگان: کورش شیرانی[۱]، حمیدرضا پیروان[۲]، رضا نادری سامانی[۳]
ویراستار علمی- ادبی: سعید نبی‌پی لشکریان
طرح جلد و صفحه‌آرایی: کورش شیرانی
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
شابک: ۴-۳۸-۶۰۵۴-۶۰۰-۹۷۸
شمارگان: ۱۰۰ نسخه
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳
نوبت چاپ: اول
قیمت: ۲۵۰۰۰۰۰ ریال
این اثر در مورخه **۱۴۰۳/۰۷/۱۴** با شماره **۳۱۴۰۳۳۸** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطالب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر ماخذ بلامانع است.

[۱] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۲] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۳] کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

پیشگفتار:

زمین‌لغزش ازجمله مخاطرات طبیعی زمین‌شناختی است که با ایجاد خسارات جانی و مالی بسیار، موجب تخریب عرصه‌های منابع طبیعی و محیط زیست خصوصاً در مناطق مرتفع و شیب‌دار می‌شود. امروزه به‌کارگیری روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر یادگیری ماشین به‌منظور شناسایی، تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش، پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و اطلاعات با ارزشی برای طیف وسیعی از کاربردها، ازجمله برنامه‌های مدیریت کاربری زمین و جلوگیری از خسارات احتمالی به‌شمار می‌آید. هر ساله در کشور ایران در اثر رخداد این پدیده، خسارات زیادی بر کشور وارد می‌شود که باعث از بین رفتن زیرساخت‌های اساسی خصوصاً ابنیه، جاده‌ها، تخریب عرصه‌های منابع طبیعی و فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز می‌شود. امروزه به‌منظور پیش‌بینی و کاهش خسارات ناشی از این پدیده، شناخت مناطق مستعد لغزش امری بسیار ضروری بوده و با پیشرفت روزافزون علم داده‌کاوی و مدل‌سازی، روش‌های متعددی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی توسعه داده شده‌اند. در همین راستا، بسیاری از محققان از روش‌های مختلفی برای توسعه مدل‌های حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش‌ها استفاده کرده‌اند که می‌توان به الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری، شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری‌عمیق، منطق‌فازی، روش‌های مختلف خوشه‌بندی، روش‌های مختلف رگرسیون، روش‌های مختلف کاهش ابعاد و غیره اشاره کرد. همچنین تمامی روش‌های مذکور نسبت به شرایط محیطی حوضه و عوامل فیزیکی آن دارای مزیت‌های متفاوتی هستند و هرکدام رویکرد و نتایج متمایزی را به‌همراه دارد. از آنجایی که روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین بهتر می‌توانند شرایط غیرخطی را شبیه‌سازی نمایند، لذا نسبت به‌سایر روش‌ها مناسب‌تر هستند.

کتاب حاضر تلاشی هدفمند، کاربردی و براساس یافته‌های پژوهشی نویسندگان برای آموزش شبیه‌سازی زمین‌لغزش با استفاده از چهار الگوریتم یادگیری ماشین توسط زبان برنامه‌نویسی متلب است. این تصنیف می‌تواند برای آموزش کارشناسان ادارات مختلف

دولتی مرتبط با امر مخاطرات طبیعی ازجمله سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، سازمان جهاد کشاورزی، شرکت‌های آب منطقه‌ای، حوادث غیرمترقبه کشور، شهرداری، فرمانداری و تدریس برای دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی و محققین در رشته‌های مربوط با مخاطرات طبیعی اعم از مهندسی عمران، رشته‌های مختلف علوم طبیعی ازجمله زمین‌شناسی، منابع طبیعی و آبخیزداری، جغرافیا به‌خصوص مخاطرات محیطی و ژئومورفولوژی، مهندسی آب، مهندسی معدن و سایر رشته‌های مرتبط طبیعی مفید و قابل استناد باشد.

محتوای این کتاب در پنج فصل ارائه شده است. در **فصل اول**، تعاریف، مفاهیم و اصول مربوط به پیکره‌بندی و طبقه‌بندی انواع زمین‌لغزش‌ها و بررسی عوامل مؤثر با ساختاری متفاوت و نوآورانه نسبت به مراجع قبلی بیان شده است. در **فصل دوم** مفاهیم کاربردی هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، ارتباط آنها با همدیگر و نهایتاً کاربرد آن در پهنه‌بندی و پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش به‌اختصار، مفید و هدف‌مند بیان شده است. با توجه به این‌که برای نویسندگان، کاربردی بودن و عملی بودن اصول و روش‌های تئوریک در کتاب مد نظر بوده و اهمیت داشته است، لذا کاربرد چهار روش یادگیری ماشین به‌تفصیل و در عین حال کاربردی در پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش به‌وسیله زبان برنامه‌نویسی در محیط متلب در ادامه این فصل و کتاب بیان شده است. شایان ذکر است با توجه به فقدان مرجعی که ترکیبی از اصول و کاربرد عملی برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش در محیط‌های مختلف نرم‌افزاری مکان‌مند (ArcGIS، SAGAGIS) و بانک اطلاعاتی (Excel) با یکی از زبان‌های برنامه‌نویسی (در محیط MATLAB) باشد، موجب شد تا براساس تجارب پژوهشی و آموزشی (بیش از ۳۰ سال) نویسندگان به‌ویژه نویسنده اول کتاب و همکاری ایشان با دانشگاه‌ها در قالب پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی و مجامع علمی معتبر دنیا، تهیه مرجعی در این زمینه بسیار ضروری، لازم و مغتنم شمرده شد. در **فصل سوم** تهیه و آماده‌سازی داده‌های مکانی و توصیفی موردنیاز به‌منظور ورود به شبیه‌سازی در محیط‌های نرم‌افزاری مختلف و مرتبط با آن‌ها بیان شده است. در

این فصل نحوه تهیه داده‌های مکانی و توصیفی نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش (متغیر وابسته) و نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر زمین‌لغزش (متغیرهای مستقل) و نحوه آماده‌سازی برای ورود به مدل‌ها، به‌تفصیل و گام به گام توضیح داده شده است. همچنین در این فصل تحلیل حساسیت براساس آزمون هم‌خطی چندگانه و بررسی هم‌پوشانی اطلاعاتی عامل‌های مستقل یا وضعیت استقلال داده‌ها به تفکیک عوامل مؤثر بیان شده است. در **فصل چهارم** مجموعه مطالب نسبتاً کامل و در عین حال خلاصه از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین معیارهای آماری لازم برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها براساس آخرین یافته‌ها و نتایج پژوهشی (مقالات مرتبط با زمین‌لغزش) ارائه شده است. به‌جرات می‌توان اظهار داشت در هیچ مرجعی چنین مجموعه‌ای کامل از انواع روش‌های اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش به‌ویژه در منابع و مراجع فارسی نخواهید یافت. نهایتاً در **فصل پنجم** نحوه آموزش شبیه‌سازی هر یک از چهار مدل و نتایج (جدول و نمودار) آن‌ها با استفاده از کدهای برنامه‌نویسی‌شده در محیط متلب همراه با نقشه‌های خروجی به‌صورت مصور و کاربردی ارائه شده است.

وجه تمایز یا به‌عبارت‌دیگر نوآوری این کتاب نسبت به کتاب‌ها یا منابعی که تاکنون به چاپ رسیده است، در چهار زمینه است. نخست به‌کارگیری مقایسه‌ای چهار مدل یا الگوریتم یادگیری ماشین در پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش، دوم معرفی مجموعه‌ای هدفمند، کاربردی با به‌کارگیری نرم‌افزارهای مختلف به‌منظور تهیه و آماده‌سازی عوامل مؤثر و اجرای مدل‌های مذکور برای حساسیت اراضی نسبت به‌رخداد زمین‌لغزش، سوم معرفی و تشریح قریب به اتفاق تکنیک‌ها و روش‌های مختلف ارزیابی و اعتبارسنجی در زمین‌لغزش است که براساس تجارب پژوهشی مولفین و مقالات معتبر خارجی محققین سراسر دنیا در یک مجموعه منسجم بیان شده است و چهارم مراحل اجرایی و گام‌به‌گام برنامه‌نویسی در محیط متلب به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش ارائه شده است. لازم به‌توضیح است کدهای ارائه شده در متلب قبلاً برای یک منطقه مطالعاتی در قالب یک فعالیت پژوهشی توسط نویسندگان

اجرا شده است. فایل داده‌های DATA.xls، BIG_DATA.xls و همچنین کدهای مربوط به مدل‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در فصل ۵ از طریق آدرس https://github.com/kouroshshirani قابل دسترسی می‌باشند. خوانندگان می‌توانند ابتدا مطابق فصل‌های دو، سه و چهار نسبت به آماده‌سازی داده‌های مکانی منطقه مطالعاتی خود اقدام نمایند و آن‌گاه براساس کدهای متلب ارائه شده در فصل پنجم به‌راحتی برای منطقه موردنظر پهنه‌بندی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد لغزش را در محیط متلب انجام دهند.

کورش شیرانی
حمیدرضا پیروان
رضا نادری سامانی

فهرست مندرجات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف رخداد زمین‌لغزش ۵

۱-۳- انواع فرآیندهای حرکت دامنه‌ای یا توده‌ای ۶

۱-۴- زمین‌لغزش از نظر پویایی ۱۶

۱-۵- چگونگی رخداد زمین‌لغزش‌ها ۱۹

۱-۶- عوامل محیطی تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها ۲۴

۱-۷- طبقه‌بندی مدل‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش ۴۳

۱-۸- قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی در زمین‌لغزش ۵۰

۱-۹- کاربردهای سامانه اطلاعات جغرافیایی در زمین‌لغزش ۵۳

۲-۱- مقدمه ۵۵

۲-۲- هوش مصنوعی ۵۵

۲-۳- یادگیری ماشین ۵۹

۲-۴- شبکه عصبی ۶۳

۲-۵- یادگیری عمیق ۶۳

۲-۶- ماشین بردار پشتیبان ۶۴

۲-۷- سیستم استنتاج فازی ۶۹

۲-۸- تاکاگی و سوگنو ۷۰

۲-۹- تئوری سیستم استنتاج فازی _ عصبی تطبیقی ۷۱

۲-۱۰- ساختار و الگوریتم سیستم استنتاج فازی _ عصبی تطبیقی ۷۲

۲-۱۱- تئوری الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی ۷۸

۲-۱۲- تئوری الگوریتم جنگل تصادفی ۸۱

۳-۱- مقدمه ۸۴

۳-۲- نرم‌افزارهای مورداستفاده ۸۵

۳-۳- تهیه و آماده‌سازی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (متغیر وابسته) ۹۲
۳-۴- تهیه و آماده‌سازی عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها (عامل‌های مستقل) ۹۴
۳-۵- تهیه و آماده‌سازی فایل واقعیت زمینی حاوی کد رخداد یا عدم رخداد لغزش و وزن متغیرهای مستقل برای ورود به مدل‌سازی در محیط متلب ۱۲۳
۳-۶- تحلیل استقلال عامل‌های تأثیرگذار بر زمین‌لغزش یا بررسی همپوشانی ۱۲۷
۴-۱ معیارهای کارائی الگوریتم‌ها در حالت طبقه‌بندی ۱۳۱
۴-۲- معیارهای کارایی برای حالت رگرسیون: ۱۴۳
۴-۳- شاخص نسبت فراوانی ۱۵۱
۴-۴- شاخص سطح سلول هسته ۱۵۱
۴-۵- تحلیل و تفسیر نتایج با استفاده از نسبت عددی ۱۵۲
۴-۶- شاخص زمین‌لغزش ۱۵۳
۴-۷- دقت روش P ۱۵۳
۴-۸- درستی روش بر پایه مجموع کیفیت (QS) و معیار ضریب همبستگی (T). ۱۵۳
۴-۹- ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از درجه تناسب ۱۵۴
۴-۱۰- روش اعتبارسنجی متقابل ۱۵۷
۴-۱۱- استفاده از تکنیک CROSS TABULATE AREA ۱۵۷
۴-۱۲- اعتبار سنجی HOLD-OUT ۱۵۸
۴-۱۳- روش‌های مورداستفاده برای طبقه‌بندی عامل‌ها ۱۵۸
۵-۱- مقدمه ۱۶۶
۵-۲- مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی به‌اختصار مدل انفیس ۱۶۸
۵-۳- مدل رگرسیون بردار پشتیبان ۲۰۰
۵-۴- مدل جنگل‌تصادفی ۲۱۳
۵-۵- مدل شبکه عصبی مصنوعی ۲۲۱
منابع ۲۳۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: معرفی تعدادی از رایج‌ترین حرکات توده‌ای ۱۲
ادامه شکل ۱-۱: معرفی تعدادی از رایج‌ترین حرکات توده‌ای ۱۳
شکل ۱-۲: اجزاء زمین‌لغزش براساس WP/WLI (WP، ۱۹۹۳) ۱۵
شکل ۱-۳: اجزاء زمین‌لغزش براساس WP/WLI (WP،۱۹۹۳) ۱۶
شکل ۱-۴: وضعیت حرکات زمین‌لغزشی (WP،۱۹۹۳) ۱۹
شکل ۱-۵: شاخص‌های تأثیرگذار بر تنش و مقاومت برشی ۲۱
شکل ۱-۶- نمایش گرافیکی ریسک زمین‌لغزش و پیامد های آن (اقتباس از شیرانی، ۱۳۹۲) ۴۲
شکل۱-۷ ارتباط بین مفاهیم مختلف ریسک ۴۳
شکل ۲-۱: نمایش کلی از ارتباط زیر شاخه‌های هوش مصنوعی ۵۶
شکل ۲-۲: زیر مجموعه‌های یادگیری ماشین ۶۲
شکل ۲-۳: الف) نمایش تابع SVR خطی (تابع تلفات و متغیرهای آن)، ب) نمایش..... ۶۶
شکل ۲-۴: ساختار فرضی مدل استنتاج فازی - عصبی تطبیقی با دو ورودی (ANFIS)..... ۷۵
شکل ۲-۵: ساختار کلی یک شبکه عصبی مصنوعی ۷۹
شکل ۳-۱: نقشه پراکنش زمین‌لغزش..... ۹۳
شکل: ۳-۲: محیط نرم‌افزار GOOGLE EARTH برای تهیه محدوده‌های لغزشی..... ۹۴
شکل ۳-۳: مراحل آماده‌سازی لایه شیب ۹۷
شکل ۳-۴: نقشه طبقه‌بندی‌شده شیب در ARCGIS..... ۹۷
شکل ۳-۵: نقشه طبقه‌بندی‌شده جهت شیب..... ۹۹
شکل ۳-۶: مراحل آماده‌سازی لایه جهت شیب..... ۹۹
شکل ۳-۷: نقشه طبقه‌بندی‌شده سنگ‌شناسی براساس نوع سازند زمین‌شناسی ۱۰۱
شکل ۳-۸: نقشه طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی ۱۰۳
شکل ۳-۹: مراحل آماده‌سازی لایه کاربری اراضی ۱۰۳
شکل ۳-۱۰: نقشه طبقه‌بندی‌شده فاصله از گسل(ارقام به متر) ۱۰۵
شکل۳-۱۱: مراحل آماده‌سازی لایه فاصله از گسل..... ۱۰۶
شکل ۳-۱۲: نقشه طبقه‌بندی‌شده فاصله از جاده (ارقام به متر) ۱۰۷

شکل ۳-۱۳: نقشه طبقه‌بندی شده فاصله از آبراهه (ارقام به متر) ۱۰۸
شکل ۳-۱۴: مراحل آماده‌سازی لایه فاصله از آبراهه ۱۰۹
شکل ۳-۱۵: نقشه طبقه‌بندی‌شده متوسط بارندگی سالیانه به میلی‌متر ۱۱۱
شکل ۳-۱۶: مراحل آماده‌سازی لایه بارش متوسط سالیانه ۱۱۱
شکل ۳-۱۷: نقشه طبقه‌بندی‌شده طول شیب (ارقام به متر) ۱۱۳
شکل ۳-۱۸: مراحل آماده‌سازی لایه طول شیب ۱۱۳
شکل ۳-۱۹: نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص توان آبراهه ۱۱۵
شکل ۳-۲۰: مراحل آماده‌سازی لایه شاخص توان آبراهه ۱۱۵
شکل ۳-۲۱: نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص رطوبت توپوگرافی ۱۱۷
شکل ۳-۲۲: مراحل آماده‌سازی لایه شاخص رطوبت توپوگرافی ۱۱۷
شکل ۳-۲۳: نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص وضعیت توپوگرافی ۱۱۸
شکل ۳-۲۴: مراحل آماده‌سازی لایه شاخص وضعیت توپوگرافی ۱۱۹
شکل ۳-۲۵: نقشه طبقه‌بندی‌شده بافت سطح زمین ۱۲۰
شکل ۳-۲۶: مراحل آماده‌سازی لایه بافت سطح زمین ۱۲۰
شکل ۳-۲۷: نقشه طبقه‌بندی‌شده تحدب سطح زمین ۱۲۱
شکل ۳-۲۸: مراحل آماده‌سازی لایه تحدب سطح زمین ۱۲۱
شکل ۳-۲۹: نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص همگرایی ۱۲۲
شکل ۳-۳۰: مراحل آماده‌سازی لایه شاخص همگرایی ۱۲۲
شکل ۳-۳۱: نمایش مراحل طبقه‌بندی به روش شکست‌های طبیعی در محیط ARCGIS ۱۲۳
شکل ۳-۳۲: اجرای دستور TABULATE AREA ۱۲۴
شکل ۳-۳۳: اجرای دستور LOOKUP ۱۲۵
شکل ۳-۳۴: اجرای دستور MERGE ۱۲۵
شکل ۳-۳۵: اجرای دستور EXTRACT MULTI VALUES TO POINTS ۱۲۶
شکل ۳-۳۶: مراحل تحلیل همبستگی رگرسیونی چندمتغیره خطی و آزمون استقلال داده‌ها ۱۲۸
شکل ۴-۱: ماتریس ابهام و حالت‌های مختلف بین طبقات واقعی و پیش‌بینی ۱۳۲
شکل ۴-۲: شاخص سطح زیر منحنی ROC ۱۳۴

شکل ۴-۳: منحنی ارزش و منحنی ویژگی عملگر نسبی یا گیرنده ROC.....۱۳۹
شکل ۵-۱: فایل BIG-DATA.....۱۶۷
شکل ۵-۲: نمودار سطح زیر منحنی ROC مدل رگرسیون بردار پشتیبان ۱۹۴
شکل ۵-۳: روش تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی.....۱۹۸
شکل ۵-۴: نقشه طبقه‌بندی پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANFIS ۱۹۸
شکل ۵-۵: نتایج آماری مدل انفیس در مرحله آموزش و آزمون، ۱) نمودار رگرسیون پراکنش مقادیر اهداف اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده، ۲) نمودار برازش مقادیر اهداف (مشاهداتی) و خروجی‌ها (پیش‌بینی)، ۳) نمودار هیستوگرام مقادیر خطاها ۱۹۹
شکل ۶-۵ نمودار سطح زیر منحنی ROC مدل رگرسیون بردار پشتیبان.....۲۰۹
شکل ۵-۷: نتایج آماری مدل رگرسیون بردار پشتیبان در مرحله آموزش و آزمون، ۱) نمودار رگرسیون پراکنش مقادیر اهداف اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده، ۲) نمودار برازش مقادیر اهداف (مشاهداتی) و خروجی‌ها (پیش‌بینی)، ۳) نمودار هیستوگرام مقادیر خطاها ۲۱۲
شکل ۵-۸: نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از مدسازی SVR.....۲۱۳
شکل ۵-۹: میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی ($R2$) در مدلسازی جنگل تصادفی.....۲۱۸
شکل ۵-۱۰: اهمیت نسبی معیارهای تاثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش‌ها در مدل جنگل‌تصادفی ۲۱۸
شکل ۵-۱۱: منحنی ROC.....۲۱۹
شکل ۵-۱۲: مراحل تهیه منحنی ROC در محیط نرم‌افزار SPSS.....۲۲۰
شکل ۵-۱۳: نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با مدل جنگل‌تصادفی.....۲۲۱
شکل ۵-۱۴: شبکه عصبی پیش‌خور.....۲۲۴
شکل ۵-۱۵: پنجره تنظیم بهینه‌سازی مدل شبکه عصبی پیش‌خور.....۲۲۴
شکل ۵-۱۶: نمودار پارامترهای بهینه‌سازی الگوریتم شبکه عصبی پیش‌خور.....۲۲۵
شکل ۵-۱۷: پنجره انتخاب روش شبیه‌سازی.....۲۲۶
شکل ۵-۱۸: پنجره انتخاب داده‌های ورودی و خروجی.....۲۲۶
شکل ۵-۱۹: پنجره مرحله تعیین نسبت داده‌های آموزش، ارزیابی و آزمایش به درصد ۲۲۷

شکل ۵-۲۰: پنجره تعیین تعداد نرون‌های مخفی ۲۲۸
شکل ۵-۲۱: پنجره الگوریتم آموزش داده‌ها ۲۲۹
شکل ۵-۲۲: پنجره تعیین پارامترها و بهینه‌سازی مدل ANN ۲۲۹
شکل ۵-۲۳: پنجره ارزیابی شبکه عصبی طراحی شده ۲۳۰
شکل ۵-۲۴: ذخیره نتایج و کدهای مدل اجرا شده ۲۳۰
شکل ۵-۲۵: نمودار ویژگی عملکرد گیرنده یا ROC و سطح زیر آن ۲۳۱
شکل ۵-۲۶: اهمیت نسبی معیارهای تاثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش‌ها در شبکه عصبی مصنوعی ۲۳۲
شکل ۵-۲۷: نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANN ۲۳۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: دسته‌بندی حرکت‌های دامنه‌ای (توده‌ای) براساس طبقه‌بندی VARNES (۱۹۷۸) ۷
جدول ۴-۱: محاسبه متریک‌های ماتریس ابهام در قالب مثال عددی ۱۴۲
جدول ۴-۲: محاسبه انواع خطا ۱۵۰
جدول ۴-۳: محاسبه انواع شاخص ارزیابی کارایی و عملکرد مدل ۱۵۶

فصل اول

زمین‌لغزش و انواع آن

۱-۱- مقدمه

امروزه در جوامع انسانی، پایداری و توسعه محیط زیست و طبیعی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. تأثیرات انسانی بر محیط زیست نظیر ساخت‌وسازهای بی‌رویه عمرانی مواجه با چالش‌های ناشی از رخدادهای طبیعی را دوچندان کرده است. این‌گونه ساخت‌وسازها بخش عظیمی از سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی را به خود تخصیص داده است و باید تمامی این سرمایه‌ها با اطمینان کامل و با برنامه‌ریزی مناسب مورداستفاده قرار گیرد تا ضامن بقاء انسان و حافظ منافع و جان آن باشد. اما با وجود بسیاری از تمهیدات در نظرگرفته‌شده، این حوزه با چالش‌های متنوعی از قبیل حادثه‌ها، رخدادهای طبیعی در مقیاس‌های عظیم مانند آتش‌فشان، زمین‌لرزه و زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان حوادث غیرمترقبه روبرو است. در این میان، زمین‌لغزش‌ها یکی از قابل‌توجه‌ترین رخدادهای طبیعی است که خسارات جبران‌ناپذیر، سنگین و شایان‌توجهی را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به محیط زیست، جان و مال انسان وارد ساخته و باعث از بین رفتن سرمایه‌های ملی و مردمی می‌شود.

حرکت‌های توده‌ای[1] به‌عنوان یک مفهوم کلی برای تمامی انواع زمین‌لغزش‌ها به‌کار می‌رود. این مفهوم کلی یک فرایند ژئومورفیکی است که در آن توده خاک و سنگ در اثر نیروی گرانش و جریان آب‌های زیر سطحی به پایین دامنه جابه‌جا می‌شود. در حوزه‌های آبخیز، حرکات توده‌ای با انتقال حجم شایان‌توجه رسوب به پشت بندهای احداثی در پایین‌دست رودخانه و آبراهه‌ها و یا سدها با از بین‌بردن خاک یک محدوده، یکی از عامل‌های غیرقابل انکار تولید رسوب حوضه‌ها و کاهش عمر مفید سدها به‌شمار می‌رود. براساس تحلیل داده‌های ایستگاه هیدرومتری رودک در خروجی حوضه جاجرود بالادست سد لتیان، متوسط دبی رسوب رودخانه جاجرود در نه ماهه اول سال ۱۳۸۳ و قبل از رخدادهای لغزشی ناحیه حاجی‌آباد ۶/۱۷ تن در روز بوده که در نه‌ماه بعد از زمین‌لغزش به‌میزان متوسط ۱۶/۹ تن در روز افزایش یافته است. این مقدار معادل ۱۷۰

[1] Mass Movement

درصد افزایش بار رسوبی رودخانه در نه‌ماه بعد از رخدادهای مذکور است. نکته جالب توجه این است که این افزایش در حالی است که در این دوره حدود ۳۰ درصد حجم جریان کاهش داشته است و این به‌مفهوم آن است که افزایش بار رسوبی نه تنها ناشی از افزایش دبی جریان نبوده بلکه کاهش ۳۰ درصدی دبی جریان می‌توانسته در کاهش بار رسوبی نیز تأثیرگذار بوده باشد، بنابراین با درنظرگرفتن مساحت ۲۰/۴۵ هکتار زمین‌لغزش‌های فوق‌الذکر، هر هکتار زمین‌لغزش، موجب افزایش بیش از هشت درصد بار رسوبی رودخانه جاجرد شده است (پیروان و همکاران، ۱۳۹۶الف). مطالعات پیروان و همکاران (۱۳۹۶ب) در حوضه سد لتیان نیز نشان داد که به ازای افزایش یک درصد فراوانی نسبی مساحت لغزش در سطح حوضه، حدود ۳۷ درصد تولید رسوب افزایش می‌یابد. همچنین در حوزه آبخیز ماربر سمیرم از سرشاخه‌های کارون شمالی نتایج بررسی ارتباط بین سطح رخداد لغزش و ایجاد رسوب نشان داد بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱ در ایستگاه‌های شهید و سرباز با افزایش ۲ برابری سطح رخداد لغزش میزان رسوب ویژه تا ۷ برابر افزایش یافته است (شیرانی و پیروان، ۱۴۰۱).

براساس نتایج اخذشده توسط شریعت‌جعفری و همکاران (۱۳۹۷) در قالب پروژه ملی، به ازاء هر درصد افزایش مساحت مناطق زمین‌لغزشی در کشور، بار رسوبی حوضه یا رودخانه به‌طور متوسط ۶۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. به‌بیانی دیگر به‌طور متوسط به‌ازاء افزایش هر هکتار زمین‌لغزش، بار رسوبی ویژه کل حوضه ۰/۱۷ درصد افزایش داشته است. بنابراین، رخداد یک زمین‌لغزش با اندازه متوسط ۵۸۸ هکتاری می‌تواند ۱۰۰ درصد بار رسوبی کل حوضه را افزایش دهد. براساس تحقیقات محققینی مانند Sobieszczyk (۲۰۱۰) هر هکتار زمین‌لغزش در یک حوضه، بار رسوبی ویژه حوضه را ۰/۰۳ تا ۰/۳ درصد افزایش می‌دهد. به‌عنوان نمونه زمین‌لغزش ایوانز کریک[1] با مساحت ۹۰ هکتار در حوضه سانتیام[2]؛ ۲۸ درصد بار رسوبی سالانه کل حوضه را افزایش داده است (هر هکتار این لغزش ۰/۳ درصد در افزایش بار رسوبی حوضه مؤثر بوده است).

[1] Evans Creek
[2] Santiam

در حالی‌که تلفات خاک ناشی از یک لغزش به تنهائی ۲۸ درصد رسوب سالانه کل حوضه را افزایش داده، وقوع ده‌ها و صدها لغزش که معمولاً به‌دنبال رخدادهایی مانند بارندگی، سیل و زلزله حادث می‌شوند، رسوبی معادل ده‌ها و صدها سال حوضه را در زمانی اندک ممکن است ایجاد کند. بر این مبناست که محققین بسیاری معتقدند در بین پدیده‌های فرسایشی، زمین‌لغزش‌ها نقش بسیار جدی‌تری از سایر صور فرسایشی در تلفات خاک حوضه‌ها دارند. در این رابطه Larsen در یک نظر تلفیقی بیان می‌کند، در بسیاری از مناطق دنیا، زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان عامل اصلی فرسایش معرفی شده‌اند. تدوین، تصویب و اعمال قانون مدیریت جامع زمین‌لغزش‌ها و حفاظت از مناطق مستعد زمین‌لغزش در حوزه‌های آبخیز یک ضرورت است و می‌تواند نقش مؤثری در موفقیت برنامه‌های توسعه پایدار کشور داشته باشد (Larsen، ۲۰۱۲).

زمین‌لغزش‌ها بخش قابل‌توجهی از حرکات توده‌ای بوده که دلایل زیادی در وقوع این پدیده همچون ساخت‌وسازهای عمرانی، احداث راه‌ها، احداث سدهای خاکی و بتونی و غیره مؤثر است. از بین‌بردن بافت طبیعی و بی‌توجهی به طرح‌های توسعه عمرانی، جنگلی و هرگونه توسعه معدنی بدون در نظر گرفتن شرایط استاندارد باعث به وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری ناشی از ناپایداری شیب‌ها (زمین‌لغزش‌ها) می‌شود. کشور ایران به‌دلیل توپوگرافی کوهستانی، شرایط جغرافیایی خاص و با تنوع بالای زمین‌شناختی، فعالیت‌های نئوتکتونیکی و لرزه‌خیز بودن، بالقوه شرایط مساعدی را برای وقوع پدیده‌های زمین‌لغزش فراهم آورده است. این رویدادها همه‌ساله خسارات زیادی ازجمله، تخریب راه‌ها، خطوط لوله، خطوط انتقال نیرو، تأسیسات معدنی، تونل‌ها و نقاط مسکونی شهری و روستایی و منابع طبیعی در مناطق کوهستانی را در پی دارد. رعایت نکردن کاربری صحیح برای مناطق مختلف و تغییرات کاربری اراضی همگی دست‌به‌دست هم داده است تا رخداد زمین‌لغزش موجب افزایش فرسایش خاک شود و روزبه‌روز با شدت بالاتری به وقوع به‌پیوندد. از طرف دیگر خسارات ناشی از رخداد زمین‌لغزش و نهایتاً فرسایش خاک موجب می‌شود تا مبالغ مالی عظیمی به‌جای آن‌که

صرف تولیدوآبادانی جوامع بشری شود، به‌ناچار صرف هزینه تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش شود (رضوی و شیرانی، ۱۳۹۷).

کشور ایران، غالباً از مستعدترین کشورها نسبت به‌وقوع زمین‌لغزش و سایر پدیده‌های مرتبط با آن در دامنه‌ها است. لذا اهمیت مطالعه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به وقوع زمین‌لغزش با در نظرگرفتن حفظ محیط زیست، امنیت جانی و مالی انسان‌ها با استفاده از روش‌های مناسب، دقیق و کارآمد، امری اجتناب‌ناپذیر است.

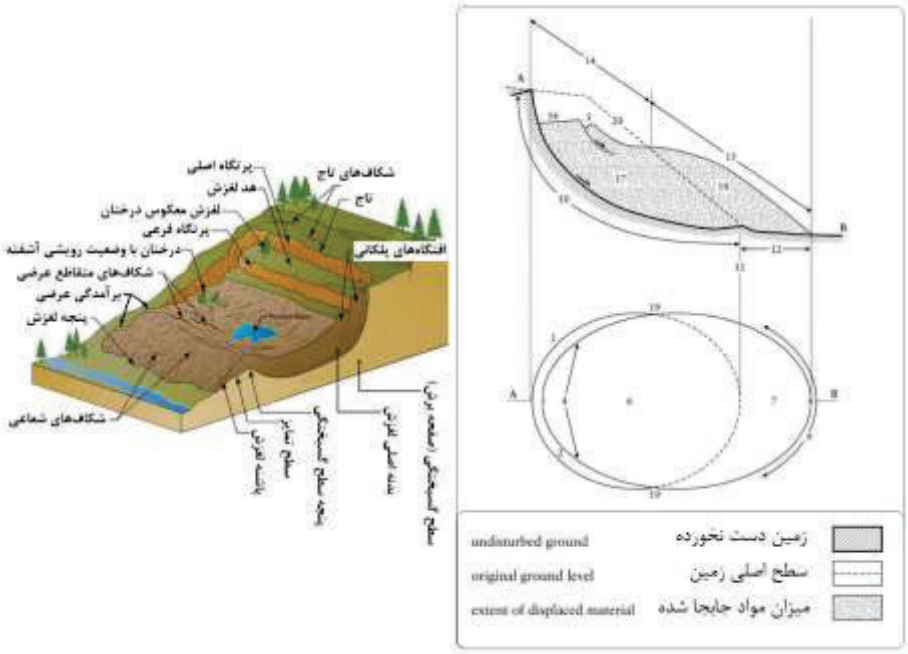
۱-۲- تعریف رخداد زمین‌لغزش

محققان و مؤلفین واژگان متفاوتی را با وجود اشتراک‌های زیاد، برای توصیف هر چه بهتر تمامی زمین‌لغزش‌ها بیان کرده‌اند. واژه‌های حرکت توده‌ای، ناپایداری شیب[1]، زمین‌لغزش[2] و انتقال توده‌ای[3] ازجمله عباراتی است که برای آن بیان شده است. اصطلاح زمین‌لغزش گاهی برای هر نوع توده خاکی که به سمت پایین دامنه حرکت کند، استفاده می‌شود. در دیگر موارد به انوع خاصی از حرکات توده‌ای یا بیشتراً به‌تمامی رویدادهایی اطلاق می‌شود که در اثر ناپایداری در دامنه‌ها به وقوع می‌پیوندند و مسبب جابجایی و حرکت توده‌ای از مواد و در طول دامنه می‌شوند (شیرانی، ۱۳۹۲، منصوری و همکاران، ۱۳۹۵). طبق نظر بیشتر صاحب‌نظران، زمین‌لغزش، حرکت خاک‌ها، سنگ‌ها و واریزه‌ها بر روی شیب‌ها است (Pailoplee و همکاران، ۲۰۱۰). در بعضی موارد، محققان حرکت روبه‌پایین خاک‌ها، صخره‌های طبیعی و یا مخلوطی از این دو بر اثر نیروی ثقل را در این طبقه به‌شمار می‌آورند (پاشا و همکاران ۱۳۹۶). همچنین دستگاه‌ها و سازمان‌ها و نهادهای علمی، برای زمین‌لغزش‌ها از تعریف‌های مخصوص استفاده می‌کنند. فائو[4] در راهنمای مدیریت آبخیزها، رانش را به‌صورت واریزه‌های درشت و ریز در نظر می‌گیرد (Joint،

[1] Slope Movement
[2] Slope instability
[3] Mass Transport
[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

لغزش‌ها مؤثر باشند. همچنین، مقاومت برشی توده خاک یا سنگ و شرایط زمین‌شناسی منطقه نقش مهمی در وقوع این نوع از لغزش‌ها دارند. زمین‌لغزش‌های مرکب به‌دلیل پیچیدگی و وسعت آنها، می‌توانند خسارات جدی و جبران‌ناپذیری به بار آورند. این خسارات ممکن است شامل آسیب به سازه‌ها، راه‌های ارتباطی و ابنیه منطقه باشد.

شکل ۱-۱: معرفی تعدادی از رایج‌ترین حرکات توده‌ای



شکل ۱-۲: اجزاء زمین‌لغزش براساس WP/WLI (WP، ۱۹۹۳)

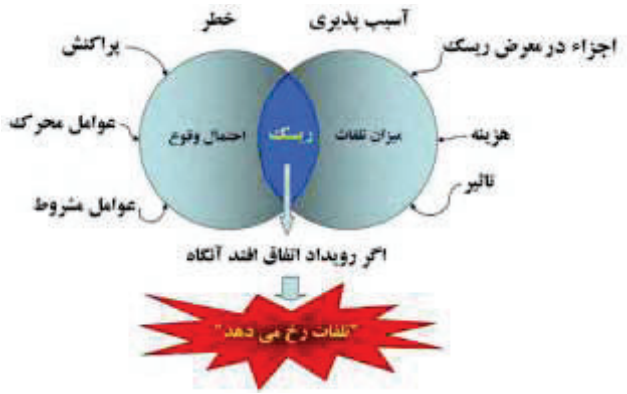
۱-۳-۷-۲- ابعاد زمین‌لغزش

در شکل ۱-۳ اجزاء زمین‌لغزش آمده است. همچنین در ادامه تعریف‌های آن ارائه شده است.

- پهنای توده جابجاشده[1]: بیشینه پهنای توده جابجا شده است که بر طول توده جابجا شده عمود باشد (شکل ۱-۳).
- پهنای صفحه گسیختی[2]: بیشینه پهنای جناحین زمین‌لغزش است که بر طول صفحه گسیختگی عمود باشد.
- طول کلی زمین‌لغزش[3]: فاصله میان نوک زمین‌لغزش و تاج آن است.
- طول توده جابجاشده[4]: فاصله بین قله تا نوک زمین‌لغزش را می‌نامند.

[1] The Width of the Displaced Mass (Wd)
[2] The Width of the Rupture Surface (Wr)
[3] The Total Length (L)
[4] The length of the Displaced (Ld)

به‌اجرا درآمده است و در حال حاضر منجر به‌تصویب تعاریف مربوط به ارزیابی ریسک زمین‌لغزش شده است.



شکل ۱-۶- نمایش گرافیکی ریسک زمین‌لغزش و پیامد های آن (اقتباس از شیرانی، ۱۳۹۲)

در هر صورت ارزیابی ریسک زمین‌لغزش بخشی از فرآیند یک فعالیت است که در داخل مدیریت ریسک زمین‌لغزش جای می‌گیرد و کاهش ریسک فاجعه زمین‌لغزش کلی را نیز در بر می‌گیرد. تعاریف بخش‌های مختلف و ارتباط میان این مفاهیم در شکل ۱-۷ ارائه شده است. این واژگان نیز توسط دیگر محققین و سازمان‌ها پذیرفته شده است.

البته مفاهیم یا اصطلاحاتی دیگری مانند پیامد، تناوب و از این قبیل موارد نیز وجود دارند. اگرچه اغلب واژگان مورداستفاده برای زمین‌لغزش با واژگان مورداستفاده در انواع دیگر فجایع انطباق ندارند، ولی به‌طورکلی توسط انجمن علمی زمین‌لغزش پذیرفته شده‌اند.

فصل دوم
مدل‌های یادگیری ماشین

۲-۱- مقدمه

جایی که داده‌ها و تخصص انسانی در هم‌تنیده می‌شود و کامپیوترها را به طیف گسترده‌ای از وظایف سوق می‌دهند، علوم کامپیوتر و در زیرمجموعه آن هوش مصنوعی پدیدار می‌شود. در عصر حاضر، هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط با آن مانند یادگیری ماشین، شبکه عصبی و یادگیری عمیق چهار مفهوم کلیدی در دنیای فناوری و علم داده هستند که هر یک نقش مهمی در توسعه سیستم‌های هوشمند ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها به ما امکان می‌دهند تا به سرعت و با دقت بالا به تحلیل داده‌ها به‌پردازیم، الگوها را شناسایی کنیم و تصمیمات هوشمندانه‌ای اتخاذ نماییم. در این فصل ابتدا مفاهیم هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق و روابط بین آنها به‌طور خلاصه و در عین حال کامل بیان می‌شود. سپس با توجه به موضوع و هدف کتاب به اصول تئوریک سه روش مرسوم از یادگیری ماشین به نام‌های رگرسیون بردار پشتیبان، سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی و جنگل تصادفی و یک روش شبکه عصبی به‌نام شبکه عصبی مصنوعی ساده به‌تفصیل پرداخته خواهد شد.

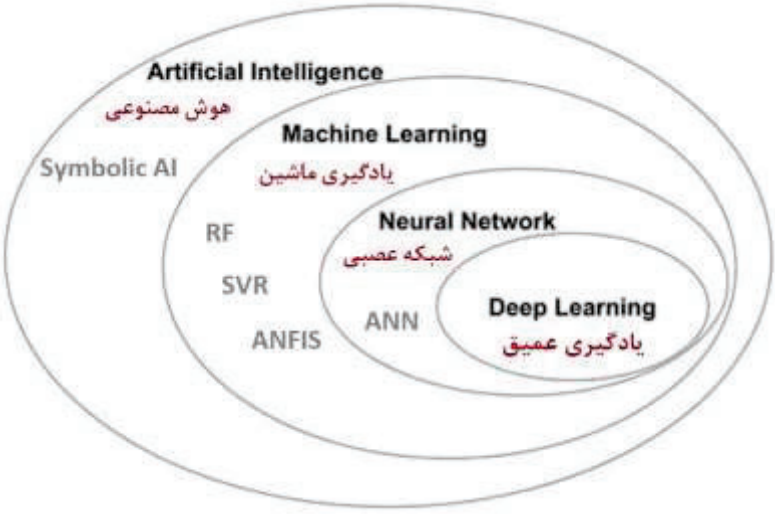
۲-۲- هوش مصنوعی

هوش مصنوعی[1] به توانایی سیستم‌های کامپیوتری اشاره دارد که می‌توانند وظایفی را انجام دهند که به‌طور معمول نیاز به هوش انسانی دارند. این فناوری شامل شبیه‌سازی فعالیت‌های شناختی انسان مانند یادگیری، استدلال و درک است. به‌طورکلی هوش مصنوعی هر تکنیکی که قابلیت حل مسأله و یا یادگرفتن را بتواند به کامپیوتر منتقل کند و مانند انسان قادر به حل مسأله باشد، هوش مصنوعی می‌توان نامید. به‌عبارت‌دیگر به‌موازات آن‌که کامپیوتر قادر به پردازش هم‌زمان داده‌ها در سطح کلان بوده و طبق برنامه‌های آموزش داده می‌شود در عین حال با سرعت بالا می‌تواند عمل کند. به‌طورکلی به توانایی سیستم‌های کامپیوتری در انجام وظایفی اطلاق می‌شود که معمولاً نیازمند هوش

[1] Artificial Intelligence (AI)

انسانی هستند. این وظایف شامل درک زبان طبیعی، شناسایی الگوها، حل مسائل و تصمیم‌گیری نیز می‌شود.

به‌طور خلاصه، هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان تلاشی برای خودکارسازی وظایف فکری که معمولاً توسط انسان‌ها انجام می‌شود توصیف کرد. به این ترتیب، هوش مصنوعی یک زمینه کلی است که یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق را در بر می‌گیرد، اما رویکردهای بسیار بیشتری را نیز شامل می‌شود که ممکن است همراه با هیچ نوع یادگیری نباشد (شکل۲-۱).

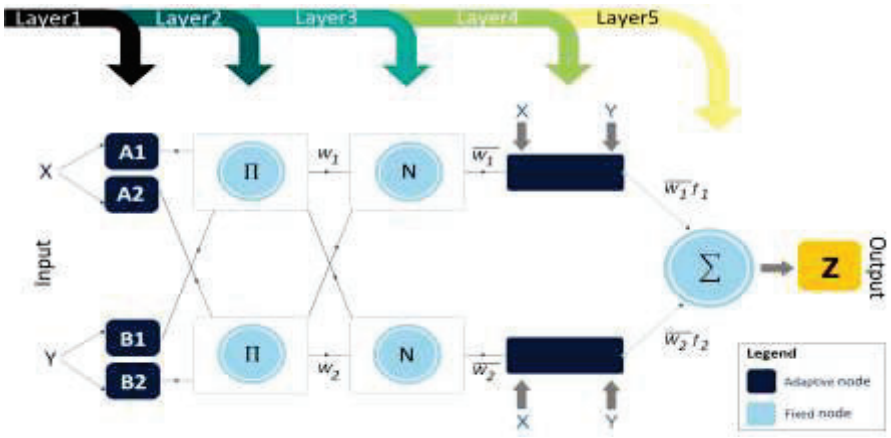


شکل ۲-۱: نمایش کلی از ارتباط زیر شاخه‌های هوش مصنوعی

۲-۲-۱- روش‌های هوش مصنوعی[1]

سوابق پژوهش موجود از هوش مصنوعی بیان‌گر گستردگی و کارایی آن علوم مختلف است. با هوش مصنوعی گامی مؤثری در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش برداشته شده است که به تعدادی از روش‌های آن می‌توان اشاره کرد. الگوریتم‌های

[1] Artificial Intelligence (AI)



شکل ۲-۴: ساختار فرضی مدل استنتاج فازی - عصبی تطبیقی با دو ورودی (ANFIS)

در شکل ۲-۴ الگوریتم ساده‌ای از عملکرد و ارتباط بین لایه‌ها در مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی با فرض دو ورودی ارائه شده است. آموزش این سیستم‌ها به این مفهوم است که با استفاده از داده‌های آموزشی پارامترهای غیرخطی مربوط به توابع عضویت فازی در لایه اول و پارامترهای خطی لایه چهارم طوری تعیین شوند که به ازای ورودی دلخواه، خروجی مطلوب حاصل شود. روش آموزش هیبرید یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سیستم‌های استنتاج فازی برپایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس‌انتشار خطا و در لایه چهارم از روش تخمین کمترین مربعات استفاده می‌شود.

در مدل ANFIS زمانی عمل شبیه‌سازی به‌درستی انجام‌شده است که مجموعه پارامترهای تطبیقی S_1 و مجموعه پارامترهای متعاقب S_2 طوری تخمین‌زده شوند که مقدار تابع خطای مدل در بخش آموزش و آزمون به کمینه برسد. به‌دست‌آوردن مقدار این پارامترها معمولاً در دو گام صورت می‌گیرد. در گام اول که تا لایه چهارم پیش می‌رود و گام رو به جلو نامیده می‌شود، مجموعه پارامترهای S_1 ثابت فرض‌شده و مجموعه پارامترهای S_2 با استفاده از الگوریتم کمینه مجذور خطاها LSE محاسبه می‌شوند. در گام دوم که گام رو به عقب نامیده می‌شود، مجموعه پارامترهای S_2 ثابت

فصل سوم
تهیه عوامل مؤثر و شبیه‌سازی زمین‌لغزش
(روش‌ها و محیط‌های نرم‌افزاری)

۳-۱- مقدمه

تهیه و آماده‌سازی عوامل مؤثر در قالب داده‌های مکانی موردنیاز در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای به‌نقشه درآوردن پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت اراضی نسبت به رخداد زمین‌لغزش یکی از مراحل اصلی و از اصول انجام کار است. از نرم‌افزارهای مختلفی برای تهیه و آماده‌سازی داده‌های مکانی موردنظر استفاده می‌شود که در بخش‌های بعدی این فصل معرفی شده‌اند. به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی از طریق مدل‌های داده‌کاوی لازم است از متغیر وابسته یا پاسخ (نقشه رخداد زمین‌لغزش) و متغیرهای مستقل یا پیش‌بینی‌کننده (نقشه عوامل مؤثر بر رخداد) به‌صورت دقیق و مقیاس معین و یکسان استفاده شود. بدین‌منظور در گام نخست برای استخراج لغزش‌های قدیمی قابل‌تشخیص، می‌توان به‌بررسی عکس‌های هوایی منطقه در مقیاس‌های مختلف مانند ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ پرداخت. درگام بعدی با بررسی‌های میدانی و استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی[1]، زمین‌لغزش‌هایی که در بازدید میدانی قابل‌مشاهده است، برداشت و بر روی عکس‌های هوایی موجود ثبت می‌شوند.

در مناطقی از محدوده موردمطالعه که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل‌تشخیص نبوده با استفاده از تصاویر اپتیک[2] گوگل ارث[3] با وضوح و قدرت تفکیک بالا می‌توان به شناسایی پهنه‌های لغزشی پرداخت. نقشه پراکنش زمین‌لغزش به‌عنوان لایه مبنایی برای وزن‌دهی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مکان‌مند یا همان عوامل مؤثر مورداستفاده به‌ویژه عوامل یا متغیرهایی کیفی (زمین‌شناسی، کاربری اراضی و ...) در نظر گرفته می‌شود. بدین‌منظور ضروری است این عامل‌ها با دقت مکانی مناسب و منطبق با شرایط منطقه‌ای و نیز براساس نوع روش پهنه‌بندی انتخاب شوند. به‌منظور انجام مراحل اجرای پهنه‌بندی زمین‌لغزش متناسب با استفاده از هر مدل در هر منطقه، لازم است نقشه پراکنش لغزش (متغیر وابسته) و عوامل مؤثر (متغیر مستقل) به‌صورت یکپارچه و هماهنگ در محیط

---

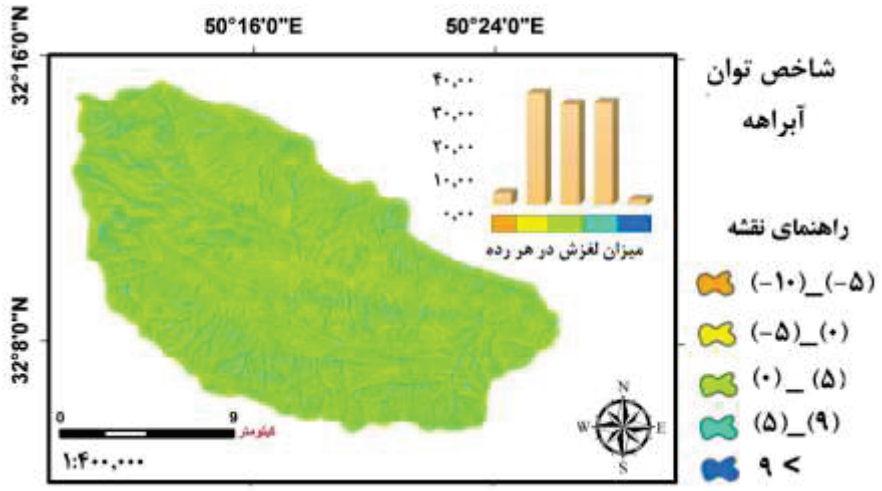
[1] Global Positioning System (GPS)
[2] Optic
[3] Google Earth

۳-۴-۱۰- شاخص توان آبراهه[1]

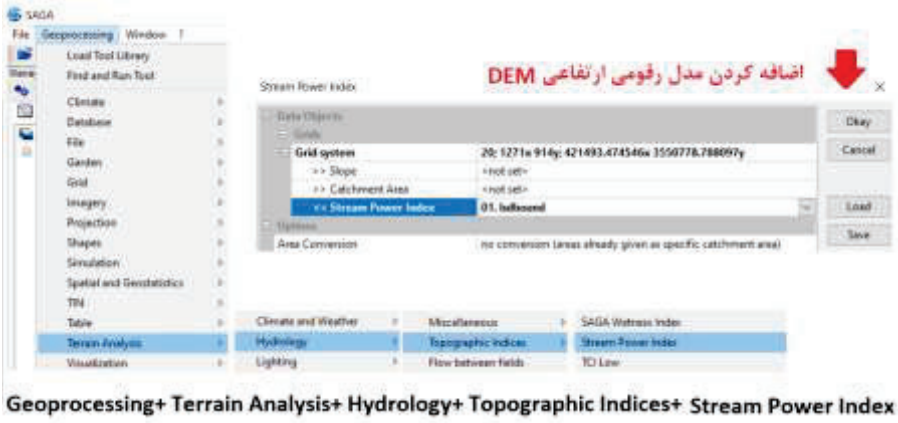
به‌طور کلی، شاخص توان آبراهه نشان‌دهنده این است که یک آبراهه در حال حرکت چقدر توان فرسایش دارد. این پارامتر گویای میزان قدرت فرسایندگی جریان آب است، به‌عبارتی این رخداد در مناطقی که نیم‌رخ محدب دارند (مناطق واگرا با شیب تند) فرسایش ویژه و در نواحی که نیم‌رخ مقعر دارند (مناطقی با تمرکز و افزایش ظرفیت جریان) رسوب ویژه را پیش‌بینی می‌کند. شاخص توان آبراهه گویای میزان قدرت فرسایندگی جریان آب است، با افزایش آن تلاطم ناشی از جریان آب و درنتیجه زیر شویی، زمینه را جهت رخ داد لغزش‌های کناری تسهیل می‌کند. درمجموع شاخص توان آبراهه گویای این بحث است در مناطقی که قدرت رودخانه بیشتر می‌شود تأثیر آن بر وقوع زمین‌لغزش بیشتر است. شکل ۳-۱۹ نمونه‌ای از نقشه تهیه‌شده، شاخص توان آبراهه است که در پنج کلاس کمتر از ۱۰- تا ۵-، ۵- تا ۰، ۰ تا ۵، ۵ تا ۹ و بیشتر از نه طبقه‌بندی شده است. این شاخص با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با نرم‌افزارSAGA GIS استخراج می‌شود (شکل ۳-۲۰) (رابطه ۴-۴) (Shirani و همکاران، ۲۰۱۸) که در اینجا A_s مناطقی است که تحت‌تأثیر جریان‌های تجمعی هستند و tanβ نیز مقدار شیب منطقه در هر پیکسل است.

$$SPI = A_s tan\beta \qquad (۴-۴)$$

[1] Stream Power Index (SPI)



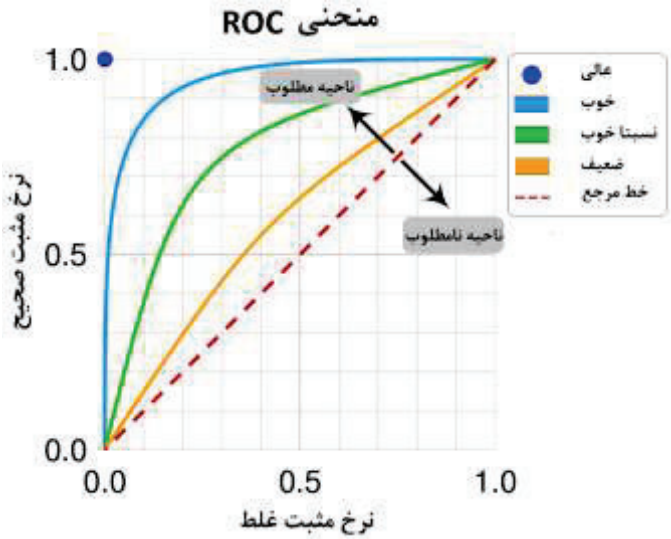
شکل ۳-۱۹: نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص توان آبراهه



Geoprocessing+ Terrain Analysis+ Hydrology+ Topographic Indices+ Stream Power Index

شکل ۳-۲۰: مراحل آماده‌سازی لایه شاخص توان آبراهه

فصل چهارم
ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها



شکل ۴-۲: شاخص سطح زیر منحنی ROC

از همین‌رو، دو معیار مقدار پیش‌بینی‌شده مثبت و منفی، برای بیان نسبت پاسخ‌های درست در هر دسته استفاده می‌شوند. ارزش مثبت، بیان‌کننده این است که چند درصد از الگوهایی که دسته‌بندی آن‌ها مثبت تشخیص داده شده در واقعیت هم مثبت هستند و به همین‌ترتیب، ارزش منفی نشان می‌دهد که چند درصد از نمونه‌هایی که عضو دسته منفی تشخیص داده شده‌اند، در واقعیت عضو همین‌دسته هستند.

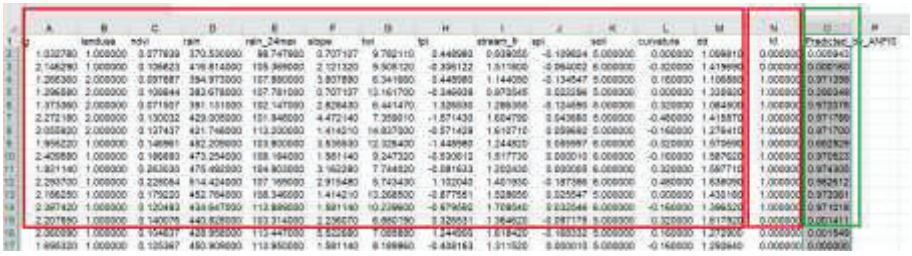
ماتریس خطا یکی از ابزارهایی است که برای ارزیابی دقت مدل حساسیت زمین‌لغزش یا پهنه‌بندی خطر استفاده می‌شود و داده‌های مشاهده‌شده از قبیل نقشه زمین‌لغزش را با داده‌های پیش‌بینی‌شده مانند نقشه منطقه حساس مقایسه می‌کند و معیارهای مختلف دقت مانند حساسیت، خاصیت و دقت کلی را محاسبه می‌کند. این ماتریس، ابزار دیگری است که برای ارزیابی خطر و توزیع زمین‌لغزش استفاده می‌شود. ماتریس اشاره شده بر این فرض استوار است که داده‌های مشاهده شده دقیق هستند، که ممکن است همیشه این‌گونه نباشد. در نتیجه دقت ماتریس خطا ممکن است با دقت داده‌های مشاهده شده محدود شود. ماتریس خطا، تنوع مکانی حساسیت زمین‌لغزش را در نظر نمی‌گیرد، که می‌تواند

فصل پنجم
شبیه‌سازی زمین‌لغزش در محیط متلب

۵-۱- مقدمه

تمامی مدل‌های مورداستفاده در این کتاب در محیط نرم‌افزار متلب آموزش‌داده‌شده است و کدها و روش‌ها تماماً با یک‌سری داده‌های مکانی پیش‌فرض (نمونه) ارائه شده‌اند که برای مناطق مطالعاتی دیگر طبق روش‌ها و کدهای ارائه شده در این کتاب قابل‌اجرا است. همانگونه که در فصل ۳ توضیح داده شد برای اجرای مدل‌ها در محیط متلب دو فایل اکسل با نام‌های DATA برای آموزش و اعتبارسنجی مدل‌ها و BIG-DATA برای توسعه و تهیه نقشه پهنه‌بندی و پیش‌بینی براساس مدل موردنظر برای منطقه مطالعاتی مربوطه، موردنیاز است. بنابراین متناسب با داده‌های مکانی (نقشه‌های رقومی پراکنش زمین‌لغزش در قالب متغیر وابسته و نقشه عوامل مؤثر در قالب متغیرهای مستقل) مورداستفاده کاربر این دو فایل تهیه می‌شود. فایل DATA برای آموزش و اعتبارسنجی مدل‌ها شامل نقاط لغزشی و بدون لغزش در قالب یک ستون و ستون‌های دیگر برای عامل‌های مستقل (برای هر عامل مؤثر یک ستون) تهیه و استخراج می‌شود. در اینجا به‌عنوان مثال مطابق شکل ۵-۱ یک ستون متغیر وابسته (ستون N) به‌نام Id (رخداد و عدم رخداد لغزش به ترتیب با عدد یک و صفر) و ۱۳ ستون متغیر مستقل (عوامل مؤثر) از ستون‌های به‌نام ig تا dd (ستون A تا M) هریک نماینده یک عامل مؤثر استفاده شده است. شایان ذکر است در صورت تغییر تعداد ستون‌ها باید کدها متناسب با نام‌ها و تعداد متغیر استفاده شده نیز اصلاح و تنظیم شود. همان‌طور که اشاره شد نام فایل برای آموزش و اعتبارسنجی مدل‌ها در قالب یک فایل Excel تحت عنوان DATA نام‌گذاری شده است. در فایل اکسل DATA به تعداد رخدادها و عدم رخدادهای لغزشی (واقعیت زمینی)، ردیف یا رکورد وجود دارد. مثلاً اگر در یک مطالعه پهنه‌بندی و پیش‌بینی از یک نقشه پراکنش زمین‌لغزش ۳۰۰ عدد رخداد (۱) و عدم رخداد (۰) زمین‌لغزش (متغیروابسته) به‌طور مساوی و ۲۵ عامل مؤثر (متغیرهای مستقل) برای مدل‌سازی قرار است استفاده شود. فایل اکسل DATA دارای یک ستون با مقادیر یک و صفر به ترتیب مربوط به‌رخداد و عدم‌رخداد زمین‌لغزش (متغیر وابسته) و ۲۵ عدد ستون با مقادیر

استخراج شده از نقشه‌های عامل مؤثر (متغیرمستقل) مجموعاً ۲۶ ستون در ۳۰۰ ردیف یا رکورد خواهد بود. در شکل ۵-۱ فایل DATA دارای ۱۴ ستون شامل یک ستون مربوط به رخداد و عدم‌رخداد زمین‌لغزش (متغیر وابسته) و ۱۳ ستون هریک مربوط به یک عامل مؤثر مورداستفاده (در اینجا ۱۳ ستون معادل ۱۳ عامل مؤثر) است. همچنین فایل Excel دوم با نام BIG-DATA برای برازش یا تعمیم مدل‌ها و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی برای منطقه موردمطالعه مورداستفاده قرار می‌گیرد. سطرها یا ردیف‌های فایل اکسل BIG-DATA به ترتیب معادل تعداد سلول (رستر) کل منطقه موردمطالعه متناسب با اندازه سلولی یا دقت مکانی موردمطالعه (مثلاً اگر کل منطقه ۱۳۴۵۵ عدد سلول با دقت ۲۵ متر باشد، نتیجتاً ۱۳۴۵۵ ردیف یا رکورد خواهیم داشت). ستون‌ها به تعداد شامل یک ستون مقادیر رخداد و عدم‌رخداد زمین‌لغزش و ۱۳ عامل مؤثر (یعنی یک جدول یا ماترس با ۱۴ ستون در ۱۳۴۵۵ ردیف) به‌همان ترتیب و نام ستون‌های فایل اکسل اول (DATA) است. در واقع هر سلول معادل یک نقطه است که معادل تعداد عامل مؤثر مورداستفاده، دارای ستون یا فیلد (ویژگی) است. نحوه تهیه فایل BIG-DATA و استخراج مقادیر متغیرهای وابسته (رخداد و عدم‌رخداد زمین‌لغزش) و متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) آن در فصل ۳ شرح داده شد.



شکل ۵-۱: فایل BIG-DATA

تابع پنجم: در این تابع با نام EvaluatePlot روش‌های ارزیابی موردنیاز برای ارزیابی و ترسیم نتایج ANFIS تهیه و اجرا می‌شود. تابع EvaluatePlot خطاها را محاسبه می‌کند و ممکن است برای تحلیل و بررسی نتایج نیز استفاده شود.

```
% EvaluatePlot.m% %#1
function Results = EvaluatePlot(Data,name,Folder)
%#2
% X = Data.InputsDeNormal; %#3
Y = Data.TargetsDeNormal; %#4
Yhat = Data.ANFISOutputsDeNormal; %#5
Errors = Y-Data.ANFISOutputs; %#6
```

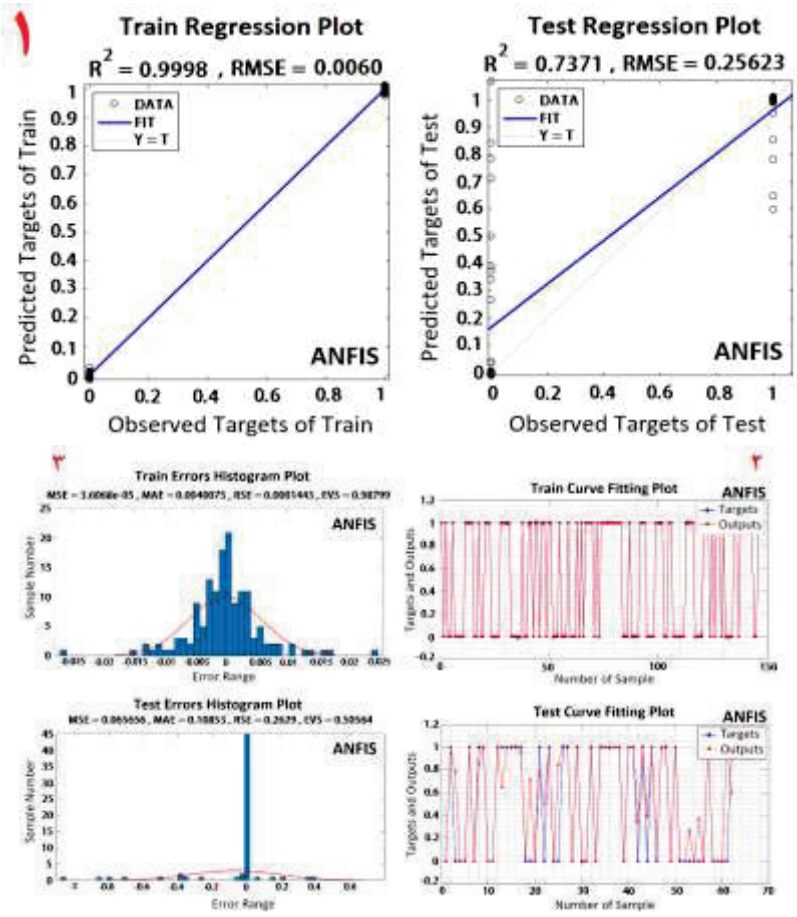
Yhat نماینده مقادیر پیش‌بینی‌شده و Y نماینده متغیرهای مقادیر واقعی است. در ادامه روابط انواع خطاها شامل MSE، RMSE، RSE، MAE، EVS و ضریب تبیین (R^2) مدل تعریف و محاسبه می‌شود.

```
% Mean Squared Error %#7
MSE = mean((Yhat - Y).^2); %#8
% Root Mean Squared Error %#9
RMSE = (mean((Yhat - Y).^2))^0.5; %#10
% Relative Squared Error %#11
RSE = sum((Yhat - Y).^2)/sum((ones(size(Y))*mean(Y)
- Y).^2); %#12
% Mean Absolute Error %#13
MAE = mean(abs(Yhat - Y)); %#14
% R² score, the coefficient of determination %#15
R2 = 1 - RSE; %#16
% Explained variance score %#17
EVS = 1 - std(Yhat - Y)/std(Y); %#18
```

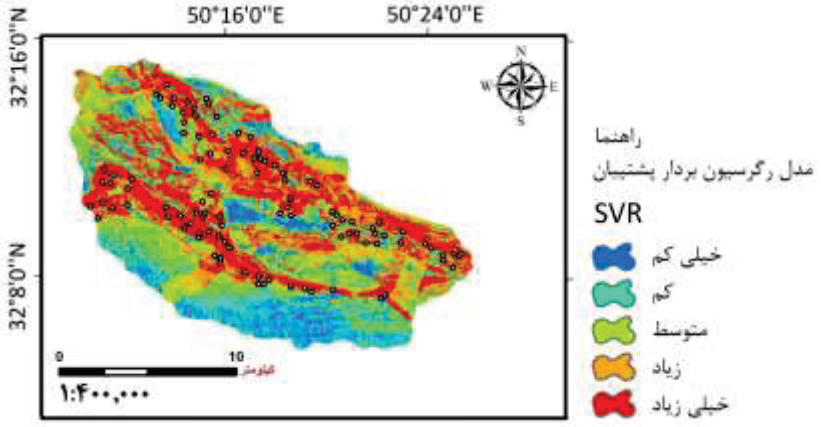
کدهایی که در ادمه آمده است نمودارهای خطاها، هیستوگرام و رگرسیون را ترسیم می‌کند.

```
% Curve Fitting Plot% %#19
Plot_Curve_Fit(Y,Yhat,[name ' Curve Fitting
Plot']); %#20
savefig([Folder '\'  [name ' Curve Fitting
Plot']]); %#21
% Errors Plot %#22
```

شکل ۵-۵ نتایج اجرای مدل حاصل از توسعه مدل ANFIS در یک منطقه مطالعاتی (حوزه دوآب صمصامی استان چهارمحال و بختیاری) را به‌عنوان مثال نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵: نتایج آماری مدل انفیس در مرحله آموزش و آزمون، ۱) نمودار رگرسیون پراکنش مقادیر اهداف اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده، ۲) نمودار برازش مقادیر اهداف (مشاهداتی) و خروجی‌ها (پیش‌بینی)، ۳) نمودار هیستوگرام مقادیر خطاها



شکل ۵-۸: نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از مدسازی SVR

۵-۴- مدل جنگل تصادفی

اجرای مدل جنگل تصادفی (RF) به چهار فایل کد متلب به‌شرحی که در ادامه آمده است، نیاز دارد. فایل DivideData.m برای تقسیم داده‌های واقعیت زمینی (DATA.xls) به دو دسته داده آموزشی (۷۰ درصد) و آزمون (۳۰ درصد)، فایل RF.m برای برازش یا اجرای مدل RF در مرحله آموزش یا واسنجی و آزمایش یا اعتبارسنجی، فایل Validation.m برای اعتبارسنجی مدل RF و فایل Predict.m برای توسعه برازش داده‌های مدل به کل داده‌های منطقه مطالعاتی (BIG-DATA.xls) است. این چهار فایل کد، به ترتیبی که معرفی شدند، اجرا شوند. نهایتاً نتیجه مقادیر برآورد شده در محیط ArcGIS به نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی نسبت به‌رخداد زمین‌لغزش براساس مدل RF تبدیل خواهد شد. همان‌طور که برای مدل‌های قبل نیز اشاره شد، چهار فایل کد متلب مذکور و دو فایل اکسل DATA و BIG-DATA در مسیر پوشه کاری مشخصی (مثلاً E:\LandslideZonationMap\RF) ذخیره و نگهداری شود.

در کد فایل DivideData.m با استفاده از تابع randperm به‌صورت تصادفی از ۷۰ درصد داده‌های واقعیت زمینی (DATA.xls) برای واسنجی و مابقی داده‌ها برای اعتبارسنجی استفاده می‌کند.

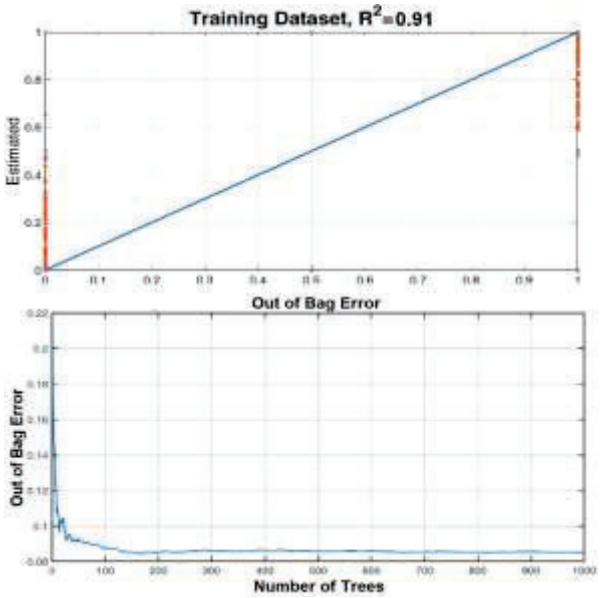
```
%% DivideData.m%%#1
DATA = xlsread('DATA.xlsx'); %#2
[m,n] = size(DATA); %#3
p = 0.70 ; %#4
idx = randperm(m); %#5
Training = DATA(idx(1:round(p*m)),:); %#6
Testing = DATA(idx(round(p*m)+1:end),:); %#7
TrainX = Training(:,1:13); %#8
TrainY = Training (:,14); %#9
TestX = Testing(:,1:13); %#10
TestY = Testing (:,14); %#11
```

با اجرای الگوریتم خروجی‌های به‌دست‌آمده از مرحله قبل(DivideData.m)، TrainXو TrainY به‌عنوان ورودی مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از تابع Tree Bagger که مجموعه‌ای از درختان تصمیم را طبقه‌بندی می‌کند، رگرسیون گرفته می‌شود. تعداد درخت‌ها به‌عنوان پارامتر تنظیمی توسط کاربر براساس سعی و خطا (با توجه به ثابت شدن میزان خطا در منحنی خطاهای خارج از کیسه یا Out of Bag Error) و یا روش‌های بهینه‌سازی موجود قابل تنظیم است.

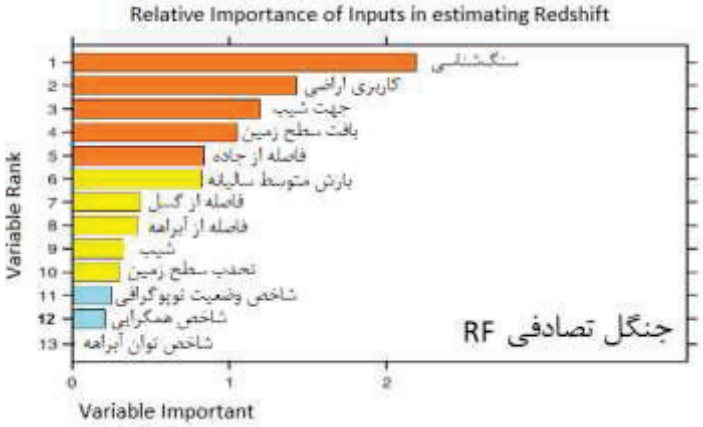
براساس کدهایی که در ادامه آمده است، ضمن اجرای مدل RF در مرحله آموزش یا واسنجی و آزمایش یا اعتبارسنجی، نمودارهای مربوط به درخت تصمیم،میزان خطا، ضریب تعیین و اهمیت نسبی عوامل مؤثر برای تصمیم‌گیری هر چه بهتر تهیه می‌شوند (شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۰).

```
% RF.m%%#1
%Load an example dataset provided with matlab %#2
%load house_dataset %#3
In = TrainX; %#4
Out = TrainY; %#5
%---------------------------------------------- %#6
leaf = 4; %#7
ntrees = 1000; %#8
fboot = 1; %#9
surrogate ='on'; %#10
disp('Training the tree bagger') %#11
b = TreeBagger(...%#12
```

```
        ntrees,... %#13
        In,Out,... %#14
        'Method','regression',... %#15
        'oobvarimp','on',... %#16
        'surrogate',surrogate,... %#17
        'minleaf',leaf,... %#18
        'FBoot',fboot); %#19
%         'Options',paroptions... %#20
%------------------------------------------- %#21
%Estimate Output using tree bagger %#22
disp('Estimate Output using tree bagger') %#23
x=Out; %#24
y=predict(b, In); %#25
name='Bagged Decision Trees Model'; %#26
%toc %#27
%------------------------------------------- %#28
%calculate the training data correlation
coefficient %#29
cct=corrcoef(x,y); %#30
cct=cct(2,1); %#31
%------------------------------------------- %#32
%Create a scatter Diagram %#33
disp('Create a scatter Diagram') %#34
%plot the 1:1 line %#35
plot(x,x,'LineWidth',3); %#36
hold on %#37
scatter(x,y,'filled'); %#38
hold off %#39
grid on %#40
set(gca,'FontSize',18) %#41
xlabel('Actual','FontSize',25) %#42
ylabel('Estimated','FontSize',25) %#43
title(['Training Dataset, R^2='
num2str(cct^2,2)],'FontSize',30) %#44
drawnow %#45
fn='ScatterDiagram'; %#46
fnpng=[fn,'.png']; %#47
print('-dpng',fnpng); %#48
%------------------------------------------- %#49
%Calculate the relative importance of the input
variables %#50
%tic %#51
```



شکل ۵-۹: میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی (R^2) در مدلسازی جنگل تصادفی



شکل ۵-۱۰: اهمیت نسبی معیارهای تاثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش‌ها در مدل جنگل‌تصادفی

پس از اجرای مدل RF در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از کد فایل Validation.m نسبت به ارزیابی مدل با استفاده از سطح زیرمنحنی ویژگی عملکرد

حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۶۵ص.

- شیرانی، ک. و پیروان، ح.ر. ۱۴۰۱. ارزیابی و برآورد رسوب‌دهی زمین‌لغزش‌ها در حوزه آبخیز ماربر پادنای علیای استان اصفهان، گزارش طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۴۵ ص.
- شیرانی، ک. ۱۳۸۳. ارزیابی مهم‌ترین روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش به‌منظور انتخاب روش مناسبی برای جنوب استان اصفهان، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۲۴ ص. https://civilica.com/doc/1072497/
- شیرانی، ک. ۱۳۹۲. شناسایی، پایش و سنجش خطرپذیری زمین‌لغزش مبتنی بر تکنیک تصاویر ماهواره‌ای راداری (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، رساله دکتری. دانشگاه اصفهان. ۲۶۸ ص.
- شیرانی، ک. ۱۳۹۶. مدل‌سازی و ارزیابی پتانسیل حساسیت اراضی نسبت به لغزش با استفاده از مدل‌های احتمالاتی آنتروپی شانون و وزن شاهد تئوری بیزین (مطالعه موردی: حوضه سرخون کارون). علوم آب و خاک، ۲۱ (۱): ۵۱- ۶۸. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.1.51
- شیرانی، ک. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی عوامل ژئومورفومتریک در افزایش درستی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه دزعلیا، استان اصفهان). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۹(۳): ۱۱۱-۱۳۰. https://doi.org/10.22108/gep.2017.104440.1047
- شیرانی، ک.، چاوشی، س. و غیومیان، ج. ۱۳۸۵. بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادنای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، (ویژه‌نامه زمین‌شناسی)، ۲۳-۳۸. https://www.sid.ir/paper/55954/fa

Root Mean Squared Error	RMSE	مجذور میانگین مربعات خطا
R-Squared Correlation	R^2	ضریب تعیین همبستگی
Seed Cell Area Index	SCAI	شاخص سطح سلول هسته
Sensitivity		حساسیت
Slides		لغزش‌ها
Slope		شیب
Slope Movement		حرکت دامنه‌ای
Specificity		ویژگی
Stabilised Landslide		زمین‌لغزش تثبیت‌شده
Statistical		آماری
Statistical Learning Theory		نظریه یادگیری آماری
Statistical Package for Social Science	SPSS	نرم‌افزارآماری علوم اجتماعی
Stream Power Index	SPI	شاخص توان آبراهه
Success Rate Curve	SRC	منحنی نرخ موفقیت
Supervised Learning		یادگیری نظارت‌شده
Supervised Machine Learning		یادگیری ماشین نظارت‌شده
Support Vector Machine	SVM	ماشین بردار پشتیبان
Support Vector Regression	SVR	رگرسیون بردار پشتیبان
Susceptibility Analysis		روش تحلیل حساسیت
Suspended Landslide		زمین‌لغزش معلق
Shuffled Frog Leaping Algorithm	SFLA	الگوریتم جهش قورباغه‌ای مختلط
Support Vector Classification	SVC	طبقه‌بندی بردار پشتیبان

System for Automated Geoscientific Analyses	SAGA GIS	نرم‌افزار ساگا
Takagi Sugeno		تاکاگی سوگنو
Terrain Surface Convexity	TSC	تحدب سطح زمین
Terrain Surface Texture	TST	بافت سطح زمین
Test Target		هدف آزمایشی
Testing		آزمون
Tolerance	TOL	ضریب تحمل
Topographic Position Index	TPI	شاخص وضعیت توپوگرافی
Topographic Wetness Index	TWI	شاخص رطوبت توپوگرافی
Topples		واژگونی‌ها
Train Data		داده‌های آموزشی
Training		آموزش
Training Step		مرحله آموزش
Tree Bagger		درخت تصمیم
True Negative	TN	منفی درست
True Positive	TP	مثبت درست
Ture Positive Rate		نرخ مثبت درست
The Width of the Displaced Mass	Wd	پهنای توده جابجاشده
The Width of the Rupture Surface	Wr	پهنای صفحه گسیختی
The Total Length	L	طول کلی زمین‌لغزش
The length of the Displaced	Ld	طول توده جابجاشده
The Length of the Rupture Surface	Lr	طول صفحه گسیختگی
The Depth of the Displaced Mass	Dd	عمق توده جابجاشده
The Depth of the Rupture Surface	Dr	عمق صفحه گسیختگی
Unsupervised Learning		یادگیری نظارت‌نشده

Vetiver Grass		گیاه وتیورگراس
Vector Data		داده‌های برداری
Variance Inflation Factor	VIF	عامل انباشتگی واریانس
Weight of Evidence		وزن شاهد
Weighted Sum		روش جمع وزنی

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Title: Applied principles of zonation and prediction landslide susceptibility (Machine Learning and Programming in MATLAB)
Authors: Kourosh Shirani[1], Hamid Reza Peyrowan[2], Reza Naderi Samani[3]
Editor: Saeed Nabipay Lashkarian
Cover Designer: Kourosh Shirani
Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Institute
ISBN: 978-600-6054-38-4
Circulation: 100 Copies
Date of Publication: 2024
Publication time: First
Price: 2500000 Rials
This scientific work has been registered with the series number of **3140338** date of **2024-10-05** in the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may reproduced or translated without the original reference.

[1] Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREEO), Tehran, Iran

[2] Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREEO), Tehran, Iran

[3] Researcher, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research and Education Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Applied principles of zonation and prediction landslide susceptibility
(Machine Learning and Programming in MATLAB)

Authors:

Kourosh Shirani, Hamid Reza Peyrowan, Reza Naderi Samani

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Applied Principles of Zonation, Modeling and Prediction Landslide Susceptibility

(Using Machine Learning and Programming in MATLAB)

Authors:

Kourosh Shirani, Hamid Reza Peyrowan, Reza Naderi Samani