

Assessment and Comparison of CART and TreeNet models to Landslide Susceptibility Mapping using SPM Software and Geographic Information System (GIS), (Case study: Kameh Watershed, Southern of Isfahan Province)

Reza Zakerinejad^{1*} , Abbas Kahrani²

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of GIS and RS, Faculty of Geographical and Planning, University of Isfahan, Iran

2. M.Sc. student of GIS and RS, Faculty of Geographical and Planning, University of Isfahan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 24 May 2022

Revised: 03 April 2023

Accepted: 27 April 2023

Keywords:

Komeh watershed, Landslide, CART, TreeNet, SPM.

ABSTRACT

Landslide is one of the environmental hazards that every year cause loss of life and financial losses in large parts of the mountainous regions of Iran. Therefore, identifying important and effective factors for the occurrence of this phenomenon can be used as a practical tool in reducing possible losses. Modeling the susceptible area into landside hazards can be a useful tool for the police makers for protecting the prone areas. The Kameh watershed in the south of Isfahan province has been selected as one of the areas prone to landslides due to its special topography, geology, lithology, climate, and social-economic situation. This research aims to identify the effective factors in creating the phenomenon of landslides and to determine the areas with a high risk of landslides by applying the CART and TreeNet models with using of SPM and ArcGIS 10.8 software in the studied area. We have used 11 factors that affect the occurrence of landslides including geology, amount of precipitation, slope, distance from the river, TWI, land use, NDVI, elevation, aspect, distance from the faults, and distance from roads, as the independent variables and 311 landslides (as a polygon) collected from the study area were used as dependent variables. For running our models, 70% of the landslides were used as training and the remaining 30% of the landslide points were used for validation. The results of this study, according to the various statistical indicators that have been applied, show a higher accuracy of the CART model than the TreeNet model. The output of the model is a landslide peril map with 5 classes: very high, high, medium, low, and very low. It would be worth the managers and policymakers to use these results for protecting the susceptible areas.

Cite this article: Zakerinejad, R., & Kahrani, A. (2023). Assessment and Comparison of CART and TreeNet models to Landslide Susceptibility Mapping using SPM Software and Geographic Information System (GIS), (Case study: Kameh Watershed, Southern of Isfahan Province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 17-38.

DOI: 10.22111/jneh.2023.42304.1904



© Reza Zakerinejad

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.42304.1904

* Corresponding Author Email: r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۷، مهر ۱۴۰۲

ارزیابی و مقایسه مدل های CART و TreeNet جهت تهیه نقشه های حساسیت زمین لغزش با استفاده نرم افزار SPM و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (مطالعه موردی حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان)

رضا ذاکری نژاد^{۱*}، عباس کهرانی^۲

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی دانشگاه اصفهان، ایران (نویسنده مسئول)

۲. کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی دانشگاه اصفهان

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	زمین لغزش ها از جمله ی مخاطرات محیطی که هر ساله موجب خسارات زیاد جانی و مالی در قسمت های وسیعی از نواحی کوهستانی کشورمان می باشد، از این رو شناسایی عوامل مهم و موثر بر وقوع این پدیده، می تواند به عنوان ابزاری کاربردی در کاهش زیان احتمالی مورد استفاده قرار گیرد. مدلسازی مناطق حساس به زمین لغزش در تصمیم گیری و برنامه ریزی کاربری زمین از اهمیت ویژه ای برخوردار است. حوضه آبخیز کمه در جنوب استان اصفهان به لحاظ موقعیت خاص توپوگرافی، زمین شناسی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی خود به عنوان یکی از مناطق مستعد وقوع زمین لغزش انتخاب گردیده است. این پژوهش با هدف شناسایی عوامل موثر در ایجاد پدیده زمین لغزش و تعیین مناطق حساس زمین لغزش با استفاده از مدل های CART و TreeNet در محیط نرم افزار SPM و ArcGIS در حوضه مورد مطالعه پرداخته است. برای این منظور، از ۱۱ فاکتور موثر در وقوع زمین لغزش شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، رطوبت نسبی، بارش، پوشش گیاهی، کاربری زمین، زمین شناسی، فاصله از جاده، گسل و آبراهه به عنوان متغیر مستقل و ۳۱۱ نقطه برداشت شده از محل وقوع زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته استفاده گردید. برای انجام تحقیق و اجرای مدلها تعداد ۷۰ درصد زمین لغزشها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد مابقی نقطه لغزشی برای مرحله اعتبارسنجی به کار گرفته شد. نتایج این مطالعه با توجه به شاخص های آماری مختلف مورد استفاده از دقت بالاتر مدل CART نسبت به مدل TreeNet می باشد. خروجی مدل، نقشه حساسیت زمین لغزش با ۵ کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم می باشد. شایان ذکر هست که مناطق پر خطر در این مطالعه بیشتر در مناطق غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه می باشند. ضروری می باشد که برنامه ریزان ملی و منطقه ای، اقدامات و تدابیر کنترلی و حفاظتی مناسبی را جهت کنترل مناطق حساس انجام دهند.

استناد: ذاکری نژاد، رضا، کهرانی، عباس. (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه مدل های CART و TreeNet جهت تهیه نقشه های حساسیت زمین لغزش با استفاده نرم افزار SPM و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (مطالعه موردی حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان). مخاطرات محیط

طبیعی، ۱۲(۳۷)، ۳۸-۱۷. DOI: 10.22111/jneh.2023.42304.1904



© رضا ذاکری نژاد، عباس کهرانی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

زمین لغزش^۱ عبارت است از حرکت مواد تشکیل دهنده شیب شامل صخره های طبیعی، خاک، انباشت های مصنوعی و یا مخلوطی از آنها که توسط نیروی ثقل بصورت ناگهانی و در زمان کوتاهی به سمت پایین جابجا می شود (چاندل^۲ و همکاران، ۲۰۱۱؛ اچر^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). این پدیده یکی از پدیده های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین نقش دارد و پس از زلزله و سیل بیشترین خسارت را به تاسیسات انسانی و طبیعی وارد می کند (نوجوان و حیاتی، ۱۳۹۲؛ تیموری یانسری و همکاران، ۱۳۹۶؛ پورقاسمی^۴ و همکاران، ۲۰۱۲). در سالهای اخیر و با افزایش جمعیت و گسترش فعالیتهای انسانی و به خصوص فعالیت های مخرب نظیر تخریب جنگل ها و مراتع، اراضی کشاورزی و توسعه ساخت و ساز در نواحی وسیعی از کره زمین سبب آشکار شدن مخاطرات ناشی از این مسئله گردیده است (دیکشیت^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). از این رو با تهیه و بررسی نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش ضمن کاهش مخاطرات و خسارات ناشی از وقوع این پدیده می توان گام بزرگی در برنامه ریزی و توسعه مدیریت شهری، مدیریت بحران، مقاوم سازی سکونت گاه های آسیب پذیر برداشت (کومار،^۶ ۲۰۰۸؛ پنج^۷ و همکاران، ۲۰۱۴؛ تین-بای^۸ و همکاران، ۲۰۱۵). شناخت عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و مناطق پرخطر ضروری می باشد. یکی از بهترین روشهای جلوگیری از وقوع زمین لغزش و کاهش خسارات ناشی از آن، تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش می باشد. پهنه بندی خطر زمین لغزش شامل تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه بندی این مناطق بر اساس درجه واقعی یا قابلیت مخاطره ای ناشی از بروز زمین لغزش روی شیب دامنه ها است (شریعت جعفری،^۹ ۱۹۹۷؛ متن^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵). کشور ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت تکتونیکی و لرزه خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین شناسی، شرایط طبیعی برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش را دارد که موجب خسارات جانی و مالی فاروانی می شود (علیخانی و همکاران، ۱۳۸۱؛ عمادالدین و همکاران، ۱۴۰۰).

حرکات لغزشی با توجه به ماهیت و تنوع زیاد و همچنین به دلیل ایجاد مخاطره و آثار مصیبت باری که برای اکوسیستم، جان و مال انسان ها دارد، همواره مورد توجه و مطالعه پژوهشگران در رشته های مختلف قرار دارد. از آنجا که وقوع پدیده زمین لغزش، ساز و کار پیچیده ای دارد و عوامل متعددی می تواند در ایجاد آن موثر باشند، مطالعات وسیعی در زمینه شناخت عوامل موثر، طبقه بندی، پهنه بندی و مدل سازی این فرآیند صورت گرفته است. در بسیاری از این مطالعات به استفاده یا مقایسه از مدل های مختلف تصمیم گیری چند معیاره^{۱۱} مانند مدل فرآیند سلسله مراتبی^{۱۲} و یا تاپسیس^{۱۳} جهت یافتن مناطق مستعد لغزشی پرداخته شده است. از جمله این پژوهش ها، زارع و همکاران (1391) با استفاده از مدل های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند سلسله مراتبی نقشه خطر

-
1. Landslide
 2. Chandel,
 3. Achour
 4. Pourghasemi
 13. Dikshit
 6. Kumar
 7. Peng
 8. Tien- Bui
 9. Shariat Jafari
 10. Meten
 11. Multiple-criteria decision-making (MCDM)
 12. Analytical Hierarchy process (AHP)
 13. Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

زمین لغزش با ۴ رده خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در حوضه آبخیز وار تهیه کردند، که ارزیابی مدل ها نشان داد، که مدل عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و مدل فرایند سلسله مراتبی به ترتیب بدترین دقت را در تهیه نقشه خطر زمین لغزش منطقه دارند و در بررسی نقشه خطر، 53/34٪ حوضه در کلاس خطر زیاد و 20/28٪ در کلاس خطر خیلی زیاد قرار داشته که نشان دهنده خطرپذیری بالای حوضه در برابر زمین لغزش می باشد. در مطالعه ای دیگر نیز در شهرستان های استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از دو مدل فرایند سلسله مراتبی و تاپسیس با وزن دهی به شاخص های موثر (شیب، کاربری اراضی، سازند های زمین شناسی، ارتفاع، تراکم آبراهه ها، بارش سالانه و فاصله از جاده) پرداخته شد، که نتایج آن نشان داد که شهرستان های اردل، کوهرنگ و فارسان دارای بیشترین پتانسیل و شهرستان بروجن دارای کمترین پتانسیل وقوع زمین لغزش می باشند (سیف و راهدان مفرد، ۱۳۹۴). در سال های اخیر استفاده از سایر مدل ها مانند منطق فازی، مدل حداکثر آنتروپی، مدل های رگرسیونی، شبکه عصبی مصنوعی و همچنین مدل های احتمالی نیز جهت پهنه بندی مناطق مستعد لغزشی استفاده شده است (روستائی و همکاران، ۱۳۹۴؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسنی کار و همکاران، ۱۳۹۵؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ذاکری نژاد و عموشاهی، ۱۴۰۱؛ شی و همکاران^۱ ۲۰۱۹). در مطالعه ای که توسط نوجوان و همکاران (1398) صورت گرفت، به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه کمه با استفاده از دو مدل فرایند سلسله مراتبی و فازی پرداختند، که به منظور انتخاب روش بهینه از میان اپراتورهای همپوشانی فازی، از دو روش مجموع کیفیت و دقت روش استفاده نمودند، که در نهایت با استفاده از شاخص مجموع کیفیت به این نتیجه رسیدند که اپراتور فازی گامای 0/80 با 44/60، بالاترین مقدار مجموع کیفیت (QS) را در میان سایر اپراتور های فازی دارد. در مطالعه ای که در حوضه آبخیز الموت و با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا به بررسی وقوع خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز الموت رود پرداخته شد، که آرایش ۱_۷_۱۱ با تابع فعال سیگموئید را بهترین ساختار برای بررسی پدیده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دانسته اند و به ترتیب 6/20، 7/10، 17/10، 3/64 و 3/50 درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت (اسلامی و همکاران ۱۳۹۸). حلاجی و همکاران (1399)، با استفاده از ۱۲ لایه اطلاعاتی اعم از درجه ی شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیمرخ، ارتفاع، کاربری زمین، زمین شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آب راه، فاصله از غسل، شاخص رطوبت پستی و بلندی و تراکم زهکشی به پهنه بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور با سه مدل جنگل تصادفی، بیشینه ی آنتروپی و ماشین بردار پشتیبان پرداختند، که نتیجه ی ارزیابی مدل ها نشان داد که دقت نقشه های برآورد شده با روش های ماشین بردار پشتیبان^۲، بیشینه ی آنتروپی^۳ و الگوریتم جنگل تصادفی^۴ به ترتیب ۷۵، ۸۶ و ۸۲ درصد است.

شیائو و همکاران^۵ (۲۰۱۹) به پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش در شهرستان وانژو^۶ در چین پرداختند و از سه مدل آماری (نسبت فراوانی، ضریب اطمینان و شاخص آنتروپی^۱) و یک مدل یادگیری ماشین (جنگل تصادفی)

1. Xi, W

2. Support vector machines (SVMs)

3. Maximum Entropy

4. Random Forest (RF)

5. Xiao

6. Wanzhou

استفاده کردند. در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۲ استفاده نمودند، که نتایج آن‌ها نشان داد که مدل یادگیری ماشین بهتر از سه مدل دیگر عمل می‌کند و در بین سه مدل آماری، شاخص آنتروپی از دو مدل دیگر بهتر بود. هابوموگیشا^۳ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل‌های ماشین یادگیری عمیق شامل، CNN^۴، DNN^۵، LSTM^۶ و RNN^۷ به تهیه نقشه خطر زمین لغزش در شهرستان مائوشیان^۸ در چین پرداخته‌اند. شیب، بارش باران و فاصله تا گسل‌ها مؤثرترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش بوده و نقشه‌های مستعد زمین لغزش نشان داد، که بیشتر مناطق مستعد در امتداد رودخانه مینگ جیانگ^۹ و در برخی نقاط بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بوده‌اند ارزیابی نتایج نیز با شاخص سطح زیر منحنی نشان داد که مدل DNN در شناسایی زمین لغزش نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

حوضه آبخیز مورد مطالعه کمه در جنوب استان اصفهان به لحاظ موقعیت خاص توپوگرافی، زمین‌شناسی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی خود به عنوان یکی از مناطق مستعد زمین لغزش می‌باشد، که بررسی پراکنش زمین لغزش‌ها در این منطقه نشان می‌دهد که لغزش‌های زیادی در این حوضه به وقوع پیوسته است و بسیاری از دامنه‌های آن از پتانسیل ناپایداری بالایی برخوردار می‌باشد. از آنجائیکه هدف این پژوهش تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می‌باشد، لذا با بررسی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و ارائه نقشه‌های پهنه بندی این پدیده به منظور شناسایی مناطق دارای حساسیت بالا با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین CART^{۱۰} و TreeNet در محیط نرم افزار SPM^{۱۱} و ArcMap پرداخته شده است. نتایج حاصله می‌تواند، به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب در خصوص مقابله با بحران ناشی از زمین لغزش، کاهش خسارات و بهبود وضعیت زیست محیطی حوضه مطالعاتی مورد استفاده برنامه ریزان قرار گیرد.

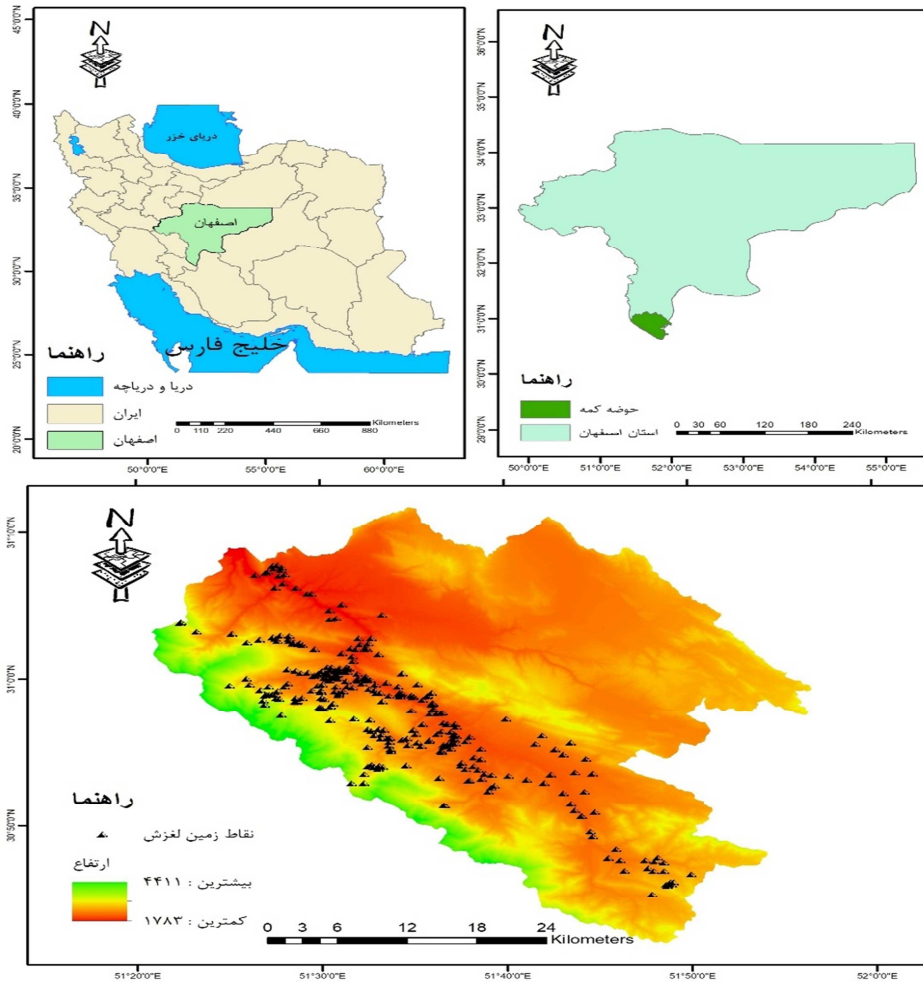
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کمه با مساحت ۱۶۵۰۱۵/۶۵ هکتار در مختصات ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی در جنوب اصفهان و در مرز با استان‌های فارس و کهگلویه و بویر احمد قرار دارد که از نظر تقسیمات سیاسی بخشی از شهرستان سمیرم در استان اصفهان است. این حوضه آبخیز دارای ارتفاع متوسط ۲۵۰۰ متری از سطح دریا و شیب متوسط ۲۸ درصدی در کوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا قرار گرفته و منطقه‌ای سردسیر است.

-
1. Index of entropy (IOE)
 2. Receiver Operating Characteristic Curve (ROC)
 3. Habumugisha
 4. The convolutional neural network
 5. Deep neural network
 6. long short-term memory
 7. Networks, and recurrent neural network
 22. Maoxian
 23. Minjiang
 10. Classification and Regression of Tree
 11. Salford Predictive Modeler

تغییرات ارتفاعی این حوضه از ۱۷۸۳ متر در نواحی شمال غرب حوضه تا بیش از ۴۰۰۰ متر در مناطق جنوب غربی آن می باشند (شکل ۱).



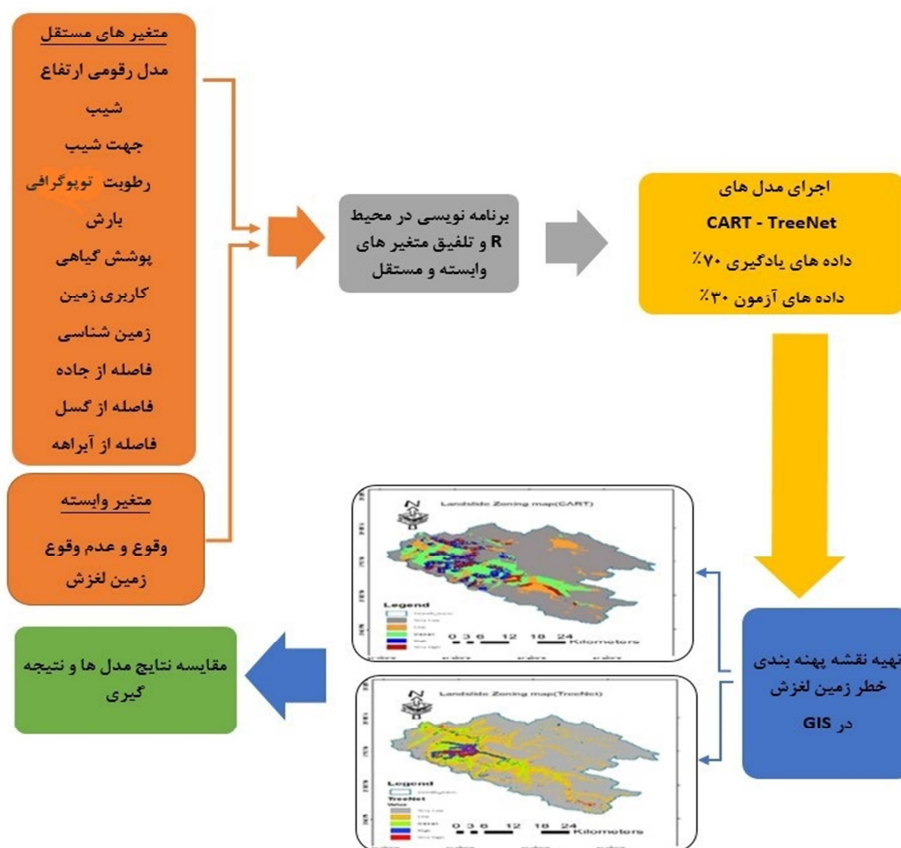
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه (حوضه آبخیز کمه در جنوب استان اصفهان)

روش انجام کار:

به منظور انجام این پژوهش از عکس های هوایی، تصاویر ماهوره ایی، بازدیدهای میدانی، اطلاعات و لایه های موجود و همچنین از بررسی ها و مطالعات اسنادی انجام شده در نقاط مشابه و همچنین ارزیابی عوامل موثر اولیه تشکیل زمین لغزش به منظور کاربرد و تحلیل نتایج استفاده شده است. یازده لایه اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش شامل، مدل رقومی ارتفاع^۱، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی^۲، مقدار بارش، شاخص نرمال تفاضل

1. Digital Elevation Model (DEM)
2. Topography Wetness Index (TWI)

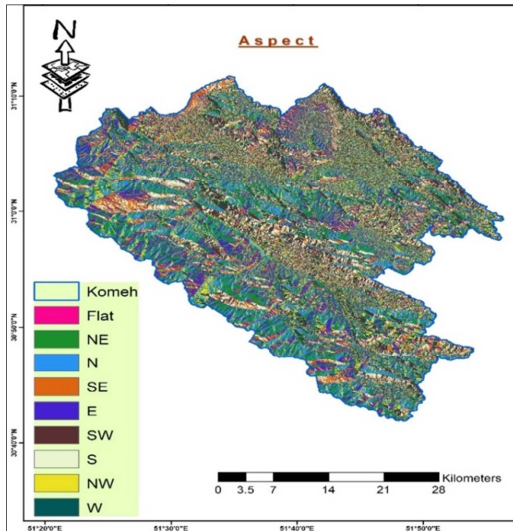
پوشش گیاهی^۱، کاربری زمین، زمین شناسی (نوع سازند)، فاصله از جاده (بر حسب متر)، فاصله از گسل فاصله (بر حسب متر) از آبراهه (بر حسب متر) استفاده گردید. این اطلاعات به عنوان ابزار اصلی مورد نیاز و به منظور تجزیه و تحلیل داده ها از زبان برنامه نویسی R-Studio، نرم افزارهای SPM8.3.2 و ArcMap10.8 استفاده شده است. مراحل انجام این پژوهش به شرح شکل شماره ۲ می باشد.



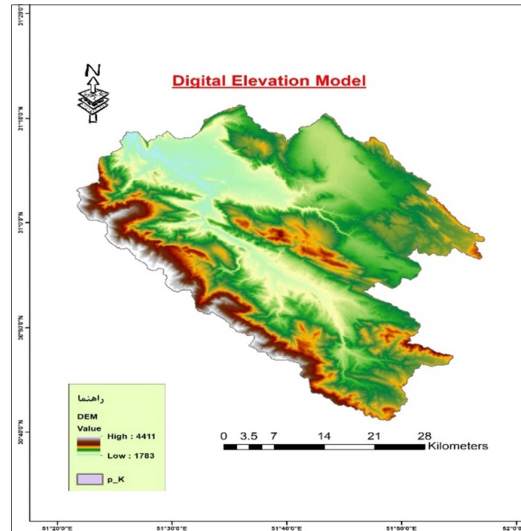
شکل ۲: مراحل انجام کار

به منظور تهیه نقشه ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر سنجنده ALOS در محیط نرم افزار ArcGIS10.8 استفاده گردید. شایان ذکر هست قبل از تهیه این شاخص ها خطاهای هیدرولوژیک مدل رقومی ارتفاع با ابزار Fill-sink رفع گردید. (اشکال ۳، ۴ و ۵).

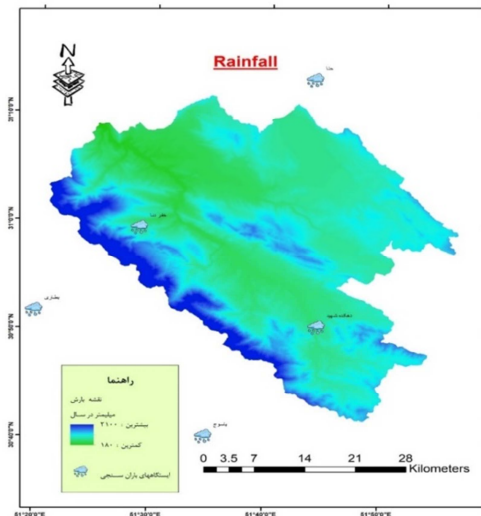
¹. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



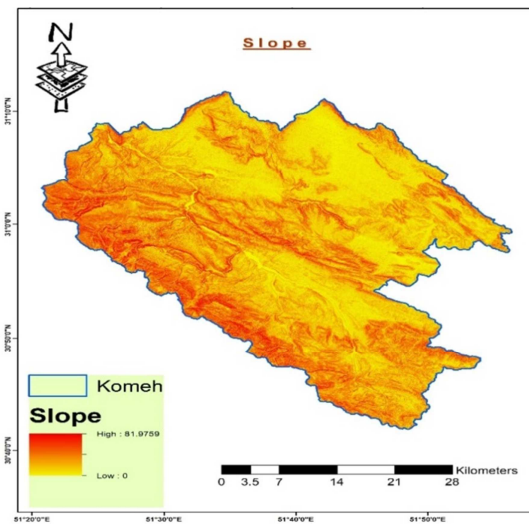
شکل ۴: نقشه جهت شیب حوضه آبخیز کمه



شکل ۳: نقشه ارتفاعی حوضه آبخیز



شکل ۶: نقشه مقدار بارش حوضه آبخیز کمه

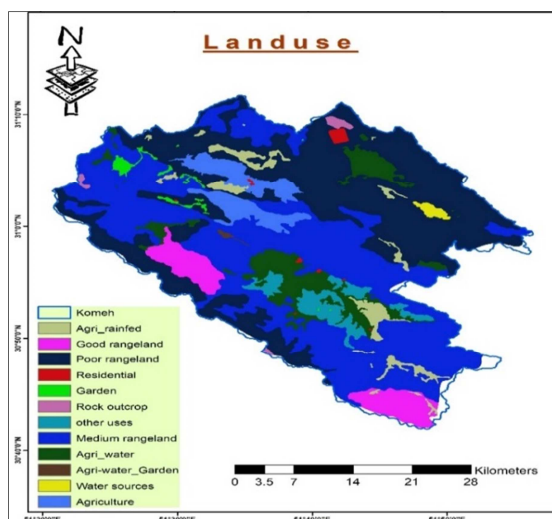


شکل ۵: نقشه شیب حوضه آبخیز کمه

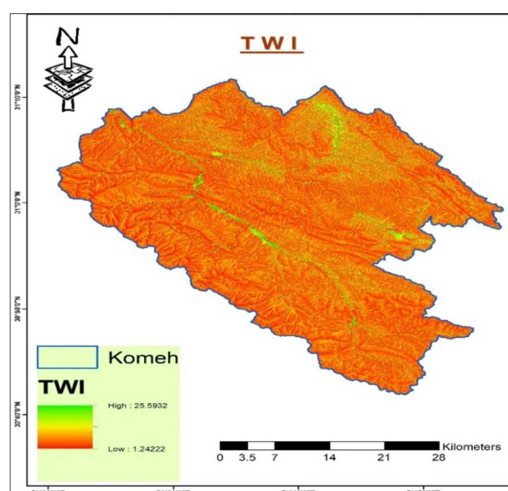
لایه مربوط به شاخص مقدار بارش سالانه حوضه آبخیز کمه نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی موجود و یا مجاور حوضه مورد مطالعه بدست آمد و سپس جهت تعمیم داده های نقطه ایستگاه‌ها به داده های پهنه ای با استفاده از یافتن رابطه رگرسیونی بین مقدار بارش و ارتفاع ایستگاه ها و در نهایت استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط نرم افزار ArcGIS 10.8 و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع برای کل منطقه مورد مطالعه نقشه شاخص مقدار بارندگی تهیه گردید (شکل ۶). نقشه مربوط به رطوبت توپوگرافی (TWI) نیز با استفاده از نقشه های شیب و جهت شیب در محیط نرم افزار SAGA^۱ بدست آمد (شکل ۷).

^۱ System for Automated Geoscientific Analysis

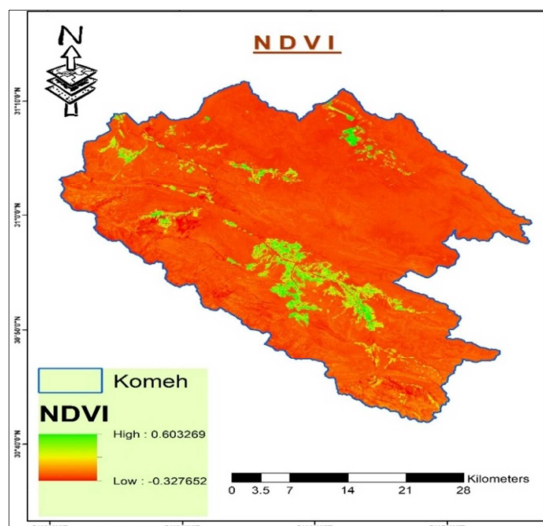
در ادامه، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI-TIRS سال ۲۰۱۷ جهت تهیه نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی استفاده شد که این تصاویر به وسیله نرم افزار ArcGIS10.8 به نقشه های رستری تبدیل شده اند (شکل ۸ و ۹). نقشه های زمین شناسی و گسل منطقه نیز از نقشه های شیب فایل ۱/۱۰۰۰۰۰ پوششی سازمان زمین شناسی کشور تهیه گردید (شکل ۱۰ و ۱۱) همچنین در جدول شماره ۱ مساحت تحت پوشش هر سازند زمین شناسی به تفکیک مشخص گردید. نقشه های مربوط به فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه نیز با استفاده از تابع فاصله اقلیدوسی در محیط نرم افزار ArcGIS10.8 استخراج شده اند (شکل ۱۲ و ۱۳).



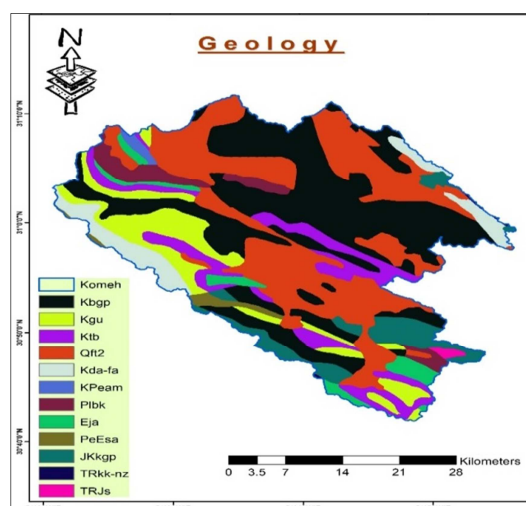
شکل ۸: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کمه



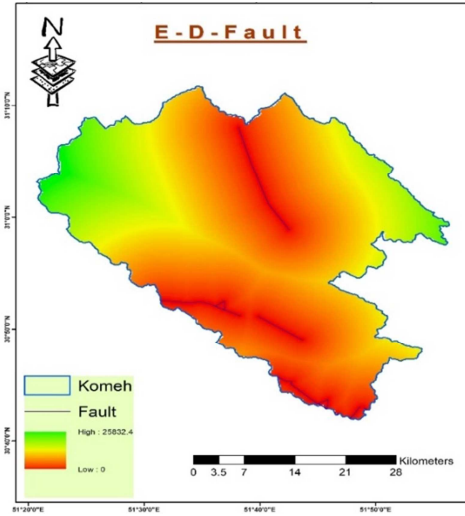
شکل ۷: نقشه رطوبت توپوگرافی حوضه آبخیز کمه



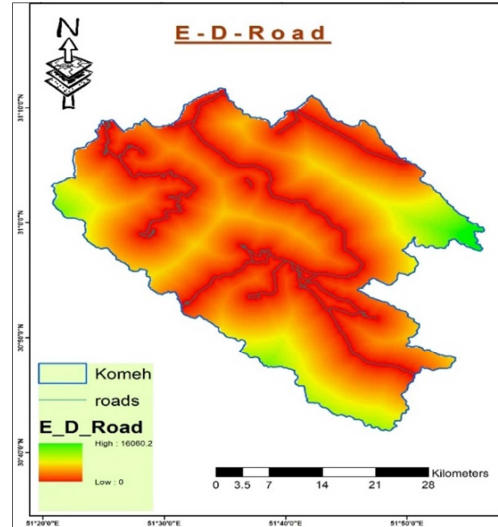
شکل ۹: نقشه پوشش گیاهی حوضه آبخیز کمه



شکل ۱۰: نقشه زمین شناسی (نوع سازندها) حوضه آبخیز کمه



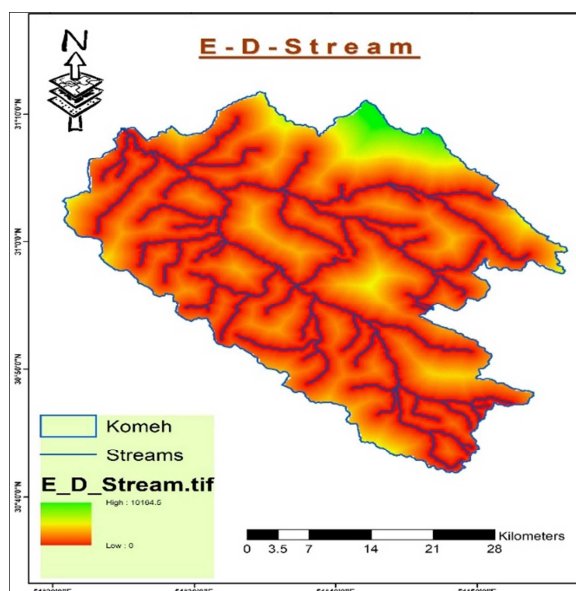
شکل ۱۲: نقشه فاصله از گسل حوضه آبخیز کمه



شکل ۱۱: نقشه فاصله از جاده حوضه آبخیز کمه

جدول ۱: سازندهای زمین شناسی تشکیل دهنده حوضه آبخیز کمه

نام سازند	علامت اختصاری در نقشه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت نسبت به کل
Bakhtyari FM (سازند بختیاری)	Plbk	550	33/07%
Gurpi FM (سازند کورپی)	Kgu	153	9/20%
Shemshak FM (سازند شمشک)	TRJs	148	8/90%
Amiran FM (سازند امیران)	KPeam	491	29/52%
Jahrum FM (سازند جهرم)	Eja	85	5/11%
Fahljan- Darian FM (سازند فهلیان-داریان)	Kda-fa	8	0/48%
رسوبات کوارتزی و مخروط افکنه ها	Qft2	59	3/55%
Tarbur FM (سازند تاربور)	Ktb	50	3/01%
Sachun FM (سازند ساچون)	PeEsa	16	0/96%
Khameh Kat and Neyriz FM (سازند نیریز)	TRkk-nz	96	5/77%
Kazhdumi, Sarvak (سروک)	Kbgp	2	0/12%
Surmeh, Hith Anhydrite, Fahljan, Gadvan and Dariyan	JKkqp	5	0/30%



شکل ۱۳: نقشه فاصله از آبراهه حوضه کومه

در این تحقیق، با توجه به داده های بانک اطلاعاتی زمین لغزش ها (سازمان زمین شناسی کشور) و همچنین بازدیدهای میدانی، تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی تعداد ۳۱۱ زمین لغزش که بصورت تصادفی از حوضه تهیه گردید به عنوان متغیر وابسته در مدل مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱). که در نهایت جهت انجام تحقیق و اجرای مدل ها تعداد ۷۰ درصد زمین لغزش ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد مابقی نقطه لغزشی برای مرحله اعتبارسنجی به کار گرفته شد.

در ادامه، پس از تهیه لایه های مورد نظر، با استفاده از کد نویسی با زبان برنامه نویسی R برای کل نقاط حوضه (متغیر وابسته) و همچنین تمامی ارزش های لایه های اطلاعاتی (متغیرهای مستقل) در قالب فایل اکسل استخراج شده اند. به منظور مدل سازی حوضه از نرم افزار مدل پیش بینی کننده سالفورد (SPM) در سال ۱۹۸۳ تولید شده، استفاده گردیده است. این نرم افزار دارای موتورهای آنالیز متفاوتی از جمله مدل های آماری CART-TreeNet-Random Forests-MARS می باشد که مدل سازی داده های متفاوت در محیط نرم افزار امکان پذیر بوده که دارای توانایی های جدید و ابزارهای پیشرفته، با دقت و سرعت فوق العاده ای است.

به منظور مدل سازی و پیش بینی پدیده زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه، از مدل های آماری CATR و TreeNet استفاده شده است. در نهایت پس از مدل سازی، خروجی مدل ها در محیط نرم افزار ArcMap به صورت نقشه گرافیکی رستری ایجاد و پهنه های مستعد زمین لغزش در ۵ کلاس طبقه بندی گردید. در ادامه به مقایسه نتایج مدل های مذکور پرداخته شده است.

درختان رگرسیون چندگانه جمع شدنی (TreeNet):

مدل درخت رگرسیون جمع شدنی یا TreeNet نام دیگر آن موتور آنالیز Stochastic Gradient Boosting می باشد. این مدل با دقت استثنایی، سرعت بالا و قابلیت کنترل خطاها یا داده های ناقص یک روش برجسته و عالی برای داده کاوی به شمار می رود. این مدل از صدها یا هزاران درخت کوچک که معمولا هر درخت ۶ گره نهایی دارد ایجاد می شود. هر کدام از این درخت ها نقش کوچکی در بوجود آمدن درخت اصلی اعمال می کنند. این روش برای همه مسایل مدل سازی شامل رگرسیون، طبقه بندی مورد استفاده قرار میگیرد. این روش بیشتر روی دقت پیش بینی تمرکز دارد و الگوریتم های مختلفی برای هر نوع داده دارد. تری نت برنامه ای است که برای اجرای یک الگوریتم طراحی شده است این الگوریتم را بسیاری از دانشمندان با نام Ensemble از آن یاد می کنند. این مدل تنها یک بار تخمین زده نمی شود و بارها مدل هایی که کمی تطبیق داده شده است را مورد بررسی قرار داده و تخمین می زند. هدف این است که بهترین کیفیت های هر مدل انتخاب شود و با هم در یک مدل منفرد توسط الگوریتم Ensemble ترکیب شوند. (فرایدمن^۱ و مولمن^۲، ۲۰۰۳). درخت رگرسیون چندگانه جمع شدنی یک الگوریتم دارای تکرار است که بر اساس رابطه (۱) در هر تکرار m، یک درخت رگرسیون مانند $T_m(x; \{R_{jm}\}_{j=1, \dots, j})$ ساخته شده است (کاظمی، ۱۴۰۰).

$$T_m(x; \{R_{jm}\}_{j=1, \dots, j}) = \sum_{j=1}^j \bar{y}_{jm} I(X \in R_j) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه y_{jm} میانگین شبه پیش بینی در هر موقعیت R_{jm} در تکرار m امین است (فرایدمن و مولمن، ۲۰۰۳) و (فرایدمن، ۱۹۹۱). در پژوهش حاضر از داده های یادگیری و آزمون به نسبت ۷۰٪ و ۳۰٪ و به صورت کاملا تصادفی استفاده شده است. شایان ذکر است که تعداد ۲۰۰ درخت حداقل با ۶ گره برای مدل سازی تنظیم شد.

درخت طبقه بندی و رگرسیون (CART):

این مدل که اولین بار توسط بریمن^۳ و همکاران در سال ۱۹۸۴ معرفی شد به صورت درخت مرتبه ای دودویی^۴ می باشد که فضای مساله را به قسمت های جزء تقسیم می کند. این روش برای متغیرهای کمی طراحی گردیده ولی قابل استفاده برای هر نوع متغیری می باشد. در این روش برای متغیر پاسخ کیفی شاخص جینی^۵ به عنوان معیاری برای انتخاب متغیرهای مناسب معرفی شده است (لاح^۶، ۲۰۱۱).

این روش انعطاف پذیر، دارای رویکردی مستحکم در تقسیم دوتایی و تصمیم در مورد بهترین اندازه درخت است. از این روش برای داده کاوی و ایجاد مدل های پیش بینی کننده استفاده می شود (لوح، ۲۰۱۱) که با داده های ناهمگون و ساختارهای غیرخطی، سازگاری بالایی دارد. درخت با تقسیم مکرر مقادیر داده های متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل ساخته میشود. هر تقسیم به دو گروه تغییر می یابد که تا حد ممکن یکنواخت هستند و با بقیه فرق دارند. تقسیم شدن تا جایی ادامه پیدا می کند که به چندین گره نهایی با کمترین میزان خطا برسد. به عبارتی منظور از

1. Friedman
2. Meulman
3 L. Breiman
4 Binary
5. Gini-Index
6. Loh

همگن بودن گره این است که همه رکوردهای موجود در آن متعلق به یک دسته خاص باشند؛ چون در این صورت گره تبدیل به برگ میشود و الگوریتم موجود به دنبال ویژگی هایی از مجموعه داده است که خاصیت جداکنندگی بیشتری دارند (شارما^۱، ۲۰۱۶). اندازه درخت به تعداد گره های نهایی بستگی دارد. در این روش درخت تا حد ممکن رشد کرده و سپس عملیات هرس انجام می شود تا به یک سایز بهینه برسد. هرس شدن درخت بر اساس شاخص Complexity Cost اتفاق می افتد. این روش نسبت به تغییرات یکنواخت متغیر مستقل تغییر نمی کند. در بین روشهای یادگیری ماشینی، این روش بیشتر در بین پژوهشگران استفاده می شود و تفسیر ساده و راحتی دارد (سلیمانپور، ۱۳۹۹). در این روش از داده های یادگیری که ۷۰٪ داده ها و داده های آزمون که ۳۰٪ داده ها هستند، جهت مدل سازی استفاده شد. هر چقدر یک بعد یا ویژگی، شاخص جینی کوچکتری داشته باشد، آن ویژگی اطلاعات بیشتری ارائه نموده و می تواند در درخت ساخته شده، بالاتر و نزدیک به ریشه قرار گیرد. همچنین این الگوریتم از جداکننده جانشین بهره گرفته تا بهترین استفاده از داده با مقادیر گم شده را داشته باشد (پناهی و میرهاشمی، ۱۳۹۴). معیار مورد استفاده در این درختان، انحراف حداقل مربعات بود و مطابق با رابطه ۲ محاسبه می گردد.

$$SS(t) = \sum_{i=0}^{N_t} (y_i(t) - \bar{y}(t))^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه N_t تعداد داده ها در گره برگ t ، $y_i(t)$ متغیر هدف در گره برگ، $\bar{y}(t)$ میانگین مقادیر متغیر هدف برای همه گره ها، متغیر ورودی $SS(t)$ زمانی بهترین متغیر برای ایجاد شاخه در گره t است که مقدار $Q(s,t)$ در رابطه ۳ را بیشینه کند.

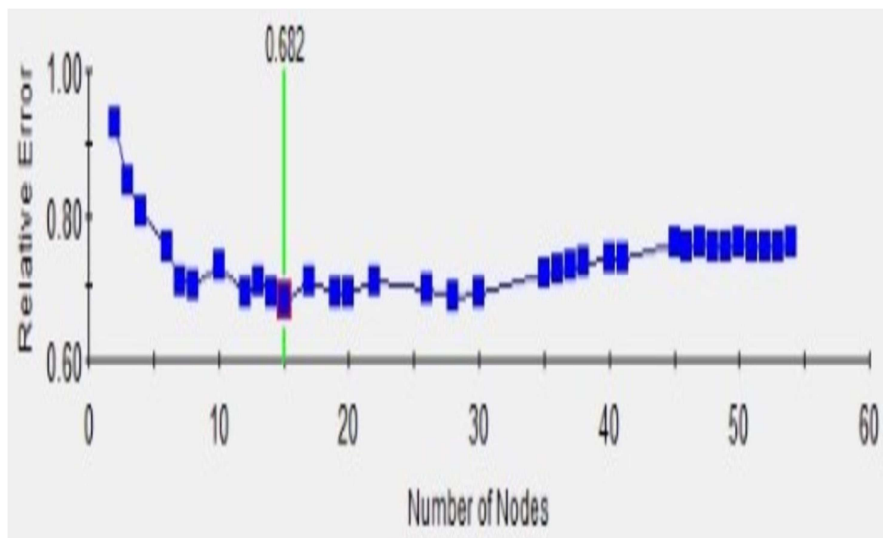
$$Q(s,t) = SS(t) - SS(t_R) - SS(t_L) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه $SS(t_R)$ و $SS(t_L)$ به ترتیب میزان $SS(t)$ در شاخه سمت چپ و راست گره t می باشند. درختان ایجاد شده ممکن نتایج بسیار پیچیده ای را نشان دهند و شامل صدها سطح شوند، لذا قبل از امتیازبندی آنها برای داده های جدید بهینه سازی شدند (شارما، ۲۰۱۶).

یافته های تحقیق

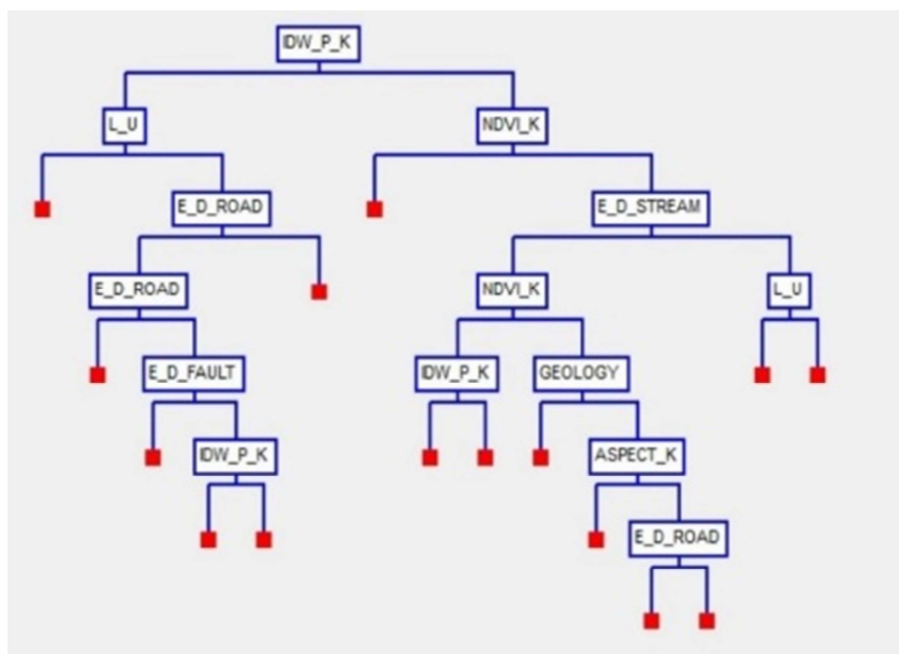
در این پژوهش، نتایج داده کاوی بین متغیر وابسته (وقوع و عدم وقوع زمین لغزش) و متغیرهای مستقل (۱۱ متغیر پیش گفته) برای مدل CART به شرح زیر می باشد.

در این روش ۵۴ گره توسط مدل ایجاد شده که گره شماره ۱۵، مناسب ترین اندازه درخت بر اساس مقدار بهینه بین خطای نسبی و تعداد گره با مقدار ۰,۶۸۲ بدست آمد. درخت هرس شده در شکل شماره ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴: بهترین درخت تصمیم با تعداد ۱۵ گره

لایه های مقدار متوسط بارش، پوشش گیاهی (NDVI) و کاربری زمین به عنوان مهمترین گره ها در ریشه زنی درخت تصمیم انتخاب شده اند و شاخص های فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، زمین شناسی و جهت شیب، گره های انتهایی درخت را جهت شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش تشکیل داده اند (شکل شماره ۱۵). اهمیت نسبی متغیرها و زیر شاخص های ارزیابی در فرآیند مدلسازی در روش CART محاسبه و در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. همانطور که در جداول مذکور مشاهده می گردد، چهار شاخص مهم تاثیر گذار بر حساسیت زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه بر اساس مدل CART عبارتند از: شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص مقدار بارش، شاخص فاصله از آبراهه و شاخص ارتفاع در مدل CART می باشد. شاخص های مقدار بارش، تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص زمین شناسی و کاربری اراضی نیز چهار شاخص تاثیرگذار در نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه بر اساس خروجی مدل TreeNet می باشند.



شکل ۱۵: درخت تصمیم (گره های مادر و نهایی).

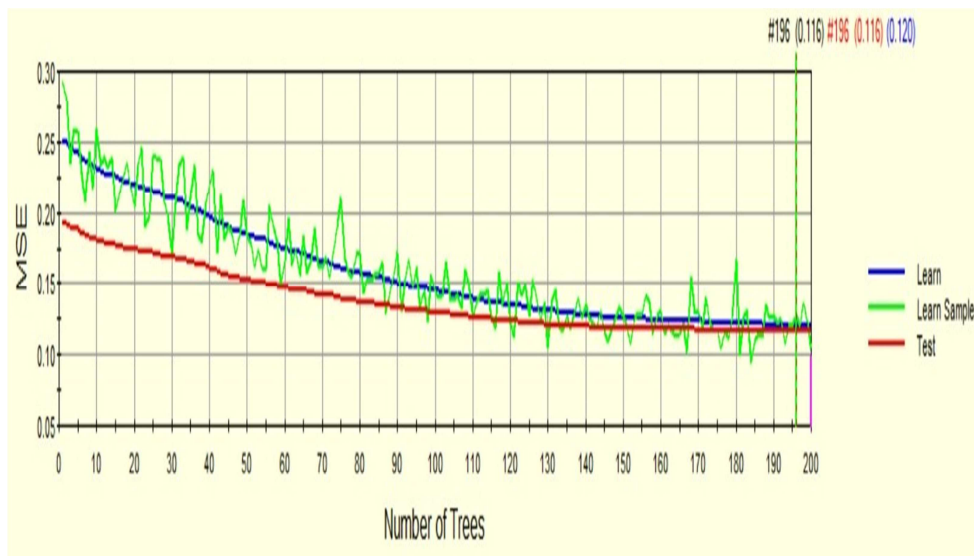
جدول ۲: اهمیت نسبی متغیرها در مدل CART

اهمیت نسبی	نام متغیر	ردیف
۱۰۰	شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)	1
۹۴,۵۲	شاخص مقدار بارش	2
۵۰,۰۴	شاخص فاصله از آبراهه	3
۴۴,۳۶	شاخص ارتفاع	4
۳۸,۵۱	شاخص زمین شناسی (نوع سازند)	5
۳۰,۵۳	شاخص کاربری اراضی (LU)	6
۲۹,۳۵	شاخص فاصله از گسل	7
۲۳,۹۸	شاخص شیب	8
۲۱,۰۲	شاخص فاصله از جاده	9
۱۰,۸۷	شاخص رطوبت توپوگرافی	10
۸,۳۷	شاخص جهت شیب	11

جدول ۳: شاخص های آماری اعتبارسنجی مدل CART

مقدار شاخص		نام شاخص	
داده های یادگیری	داده های آزمون		
۰,۳۰۲	۰,۳۲۹	خطای جذر میانگین مربعات	RMSE
۰,۰۹۲	۰,۱۰۸	خطای میانگین مربعات	MSE
۰,۱۸۲	۰,۲۰۳	میانگین خطای مطلق	MAD
۰,۳۶۱	۰,۳۹۸	مجذور میانگین خطای مطلق	MRAD
۱۷۶,۳۶۸	۶۰,۰۷۹۸	مجموع مربعات متغیر هدف	SSY
۸۵,۰۷۷	۴۰,۹۶۲	مجموع خطاهای مربع	SSE
۰,۵۱۷	۰,۳۱۸	ضریب همبستگی	R ²
۰,۵۱۷	۰,۳۳۵	ضریب همبستگی نرمال	R ² Norm
-۲۲۱۵,۱۶۸	-۸۱۴,۷۲۶	ضریب آکائیکه	AIC
-۲۲۱۵,۵	-۸۱۴,۰۱	ضریب آکائیکه تصحیح شده	AICc
-۲۱۶۲,۵۵۱	-۷۷۱,۴۷۲	انحراف	BIC
۰,۴۸۲	۰,۶۸۱	خطای نسبی	Relative Error

برای مدل TreeNet نیز نتایج به شرح زیر می باشد. این مدل در درخت شماره ۱۹۶ به مقدار بهینه متغیر وابسته رسیده است که در شکل ۱۶ ارائه شده است همچنین زیرشاخص های ارزیابی مدل و اهمیت نسبی متغیر های مستقل در فرایند مدل سازی TreeNet در جدول های ۴ و ۵ ارائه شده اند.



شکل ۱۶: نتایج مدل TreeNet در خصوص مقدار بهینه متغیر وابسته و همگرایی داده های و آزمون

جدول ۴: اهمیت نسبی متغیرها در مدل TreeNet

ردیف	نام متغیر	اهمیت نسبی
1	شاخص مقدار بارش	۱۰۰
2	شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)	۸۴,۹۶
3	شاخص زمین شناسی (نوع سازند)	۶۸,۲۷
4	شاخص کاربری اراضی (LU)	۵۸,۶۹
5	شاخص جهت شیب	۵۶,۴۲
6	فاصله از آبراهه	۵۵,۹۱
7	شاخص ارتفاع	۴۴,۸۲
8	شاخص شیب	۴۴,۸۱
9	شاخص فاصله از غسل	۳۵,۲۵
10	شاخص فاصله از جاده	۳۱,۷۸
11	شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)	۲۵,۸۱

جدول ۵: شاخص های آماری اعتبارسنجی مدل TreeNet

مقدار شاخص		نام شاخص	
داده های یادگیری	داده های آزمون		
۰,۴۳۲	۰,۳۳۷	خطای جذر میانگین مربعات	RMSE
۰,۱۱۶	۰,۱۱۳	خطای میانگین مربعات	MSE
۰,۱۹۹	۰,۱۹۸	میانگین خطای مطلق	MAD
۰,۵۶۹	۰,۶۴۴	درصد میانگین مطلق خطا	MAPE
۱۴۷,۳۵۳	۶۱,۹۱۳	مجموع مربعات متغیر هدف	SSY
۱۰۷,۱۲۹	۴۴,۵۵۴	مجموع خطاهای مربع	SSE
۰,۳۸۵	۰,۲۸۰	ضریب همبستگی	R ²
۰,۴۴۹	۰,۳۰۵	ضریب همبستگی نرمال	R ² Norm
-۱۹۵۰,۰۰۷	-۸۳۳,۵۹۸	ضریب آکائیکه	AIC
-۱۹۱۹,۷۱۶	-۸۳۳,۹۰۵	ضریب آکائیکه تصحیح شده	AICc
-۱۸۹۶,۹۶۴	-۷۸۹,۸۸۶	انحراف	BIC
۰,۸۰۲۹۹	۰,۷۱۴۸۶	سطح زیر منحنی	ROC (Area Under Curve)

چان^۱ و همکاران (1998) سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ را به عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی بودن ارزیابی بخش ساختاری مدل به وسیله معیار R² (ضریب همبستگی) تعریف کرده است. که نتایج ارائه شده در جداول شماره ۳ و ۵ بیانگر آن است، که مقدار ضریب همبستگی (R²)، برای داده های آموزش و آزمایشی برای مدل های مذکور در محدوده متوسط روبه قوی قرار دارد. شاخص منحنی تجمعی (ROC) نیز که یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش ها در تعیین خصوصیات، شناسایی و پیش بینی سیستم هاست که میزان دقت مدل را بصورت کمی نشان می دهد و جهت ارزیابی میزان صحت نتایج نقشه های پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش و مقایسه آن ها صورت

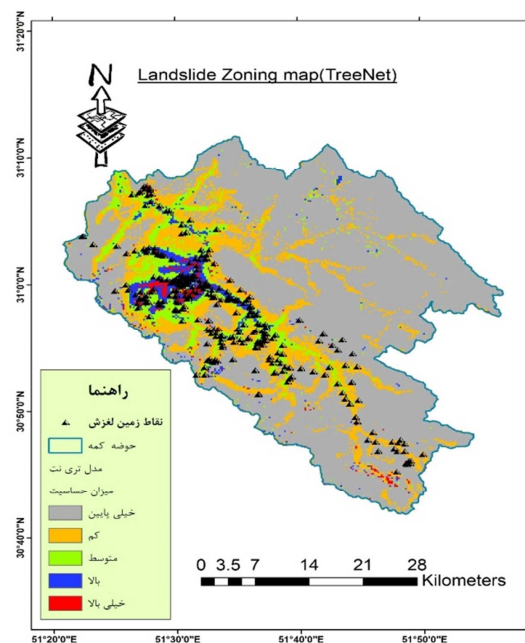
1. Chin

گیرد. در این پژوهش همانطور که از جدول شماره ۵ مشاهده می شود مقدار آن برای مدل TreeNet بیشتر از ۰/۷۰ برای داده های آموزشی و داده های آزمایشی مدل مذکور می باشد که در محدوده بسیار خوب می باشد (هاسمر و لمشو^۱، ۲۰۰۰).

نتایج و بحث

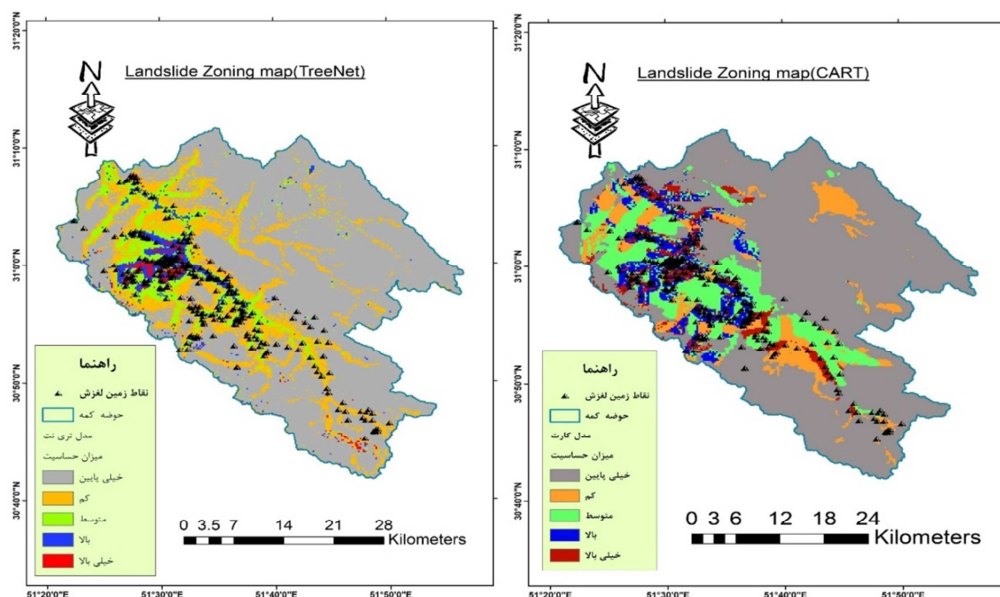
در این مطالعه به ارزیابی دو مدل CART و TreeNet جهت تهیه نقشه های حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه در جنوب شهرستان سمیرم که قسمتی از زاگرس محسوب می شود با استفاده از نرم افزار ArcGIS10.8 و SPM پرداخته شد. برای اعتبارسنجی هر دو مدل مذکور از شاخص های آماری مختلف استفاده گردید (جدول شماره ۳ و ۵) که با مقایسه ی این شاخص ها به اعتبار بالای نقشه پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش در دو مدل اشاره می کند ولی با بررسی این شاخص ها و همچنین رویهمگذاری نقاط زمین لغزش با نقشه های پهنه بندی حساسیت زمین لغزش زمین لغزش می توان به برتری نسبی مدل CART نسبت به مدل TreeNet در این مطالعه اشاره کرد (شکل های ۱۷ و ۱۸).

همانگونه که در نقشه های پهنه بندی زمین لغزش حوضه آبخیز کمه مشاهده می شود، در نتایج هر دو مدل، مناطق با حساسیت بالا (پر خطر) بیشتر در نواحی شمال غربی تا جنوب غربی حوضه مورد مطالعه می باشند.



شکل ۱۷: نقشه ی پهنه بندی حساسیت زمین لغزش تهیه شده با مدل CART

¹. Hosmer & Lemeshow



شکل ۱۸: نقشه ی پهنه بندی حساسیت زمین لغزش تهیه شده با مدل TreeNet

همچنین مقایسه خروجی مدل ها با نقاط برداشت شده از محل زمین لغزش های صورت گرفته در حوضه کمه، نشان داد که مدل CART نسبت به TreeNet پهنه هایی که پتانسیل وقوع پدیده زمین لغزش را دارا هستند بهتر پیش بینی کرده است به گونه ای که طبق جدول شماره ۶ مساحت پهنه ها با کلاس های خیلی زیاد، زیاد و متوسط برای مدل CART اعداد بیشتری را نسبت به مدل TreeNet نشان می دهد. بر اساس نتایج پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با مدل CART،

۵ و ۶ درصد به ترتیب در محدوده ی کلاس حساسیت خیلی بالا و حساسیت بالا قرار گرفته اند در حالی که نتایج مدل TreeNet به ترتیب ۲ و ۳ درصد در کلاس های مذکور می باشد. به بیان دیگر می توان گفت که نتایج نقشه نهایی پهنه بندی حساسیت زمین لغزش بر اساس مدل های و به ترتیب ۷۵ و ۸۷ درصد در محدوده های کلاس کم و خیلی کم حساسیت قرار گرفته اند، که می توان نتیجه گرفت مدل CART نسبت به TreeNet درصد بیشتری از منطقه را در کلاس های با حساسیت خیلی زیاد نمایش می دهد.

جدول ۶: مساحت پهنه ها با حساسیت مختلف زمین لغزش (کیلومتر مربع)

کلاس حساسیت	کلاس حساسیت کم	کلاس حساسیت متوسط	کلاس حساسیت زیاد	کلاس حساسیت خیلی زیاد	مدل	
۱۱۱۴,۰۷	۱۴۸,۷۸	۲۳۸,۹۵	۱۰۱,۴۵	۷۹,۳۳	مساحت	CART
66%	9%	14%	6%	5%	درصد نسبت به مساحت کل	
۱۱۲۷,۵۷	۳۲۶,۳۲	۱۴۲,۶۴	۵۵,۱۳	۳۰,۹۲	مساحت	TreeNet
67%	20%	8%	3%	2%	درصد نسبت به مساحت کل	

همانطور که در نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در دو مدل کارت و جنگل تصادفی مشاهده می گردد در حوضه آبخیز مورد مطالعه کلاس های حساسیت خیلی زیاد و زیاد با مساحتی حدود ۱۸۰ کیلومترمربع بیشتر در نواحی غرب و جنوب غرب حوضه مورد مطالعه واقع شده است. این نواحی دارای شیب بیشتر از ۳۵ درصد بوده و ارتفاع متوسط ۳۲۰۰ متر را شامل می شوند. در شیب های بالا به دلیل ناپایداری وزن توده خاک حساسیت بیشتری نسبت جهت رخداد حرکات لغزشی وجود دارد. گسل های حوضه مورد مطالعه نیز در مرز بین پهنه ی با خطر زیاد تا متوسط قرار دارند. بیشتر قلمرو کلاس های پر خطر زمین لغزش در سازند گوربی در غرب حوضه مورد مطالعه می باشند.

سازند گوربی از سازندهای زمین شناسی گروه زاگرس می باشد، که از مارن، آهک و شیل تشکیل شده و متعلق به دوره های کرتاسه بالایی تا پالئوسن است که این سازند به دلیل داشتن ذرات ریز دانه، پس از جذب رطوبت به دلیل قرار گرفتن در محدوده روانی، در نتیجه ثقل مستعد حرکت شده و در روی دامنه به حرکت در می آیند.

پهنه های کلاس های حساسیت کم و خیلی کم که در هر دو مدل بیش از ۷۰ درصد منطقه مورد مطالعه را شامل می شوند که بیشتر در نواحی شمال غرب و غرب حوضه واقع شده اند که این مناطق به دلیل شیب کمتر از ۲۰ درصد و ارتفاعی بین ۱۷۶۸ تا ۲۶۰۰ متر می باشند همچنین در این نواحی سازند غالب سروک بوده که دارای مقاومت بالایی نسبت به فرسایش آبی دارد. بنابراین می توان بیان کرد عوامل ژئومورفولوژیکی مهم منطقه مورد مطالعه مانند توپوگرافی (شیب و ارتفاع)، تراکم پوشش گیاهی، نوع سازندهای زمین شناسی و همچنین میزان متوسط بارش که این عامل نیز خود وابسته به میزان ارتفاع منطقه نیز می باشد که از عوامل تاثیر گذار بر رخدادهای زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه می باشند.

نتیجه گیری

در این پژوهش از لایه های ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مقدار بارش، رطوبت توپوگرافی، زمین شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و گسل، جهت مدل سازی و تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش در حوضه کمه در شهرستان سمیرم جنوب استان اصفهان با استفاده از دو الگوریتم های یادگیری ماشین مدل های CART و TreeNet استفاده شده است. همچنین در این پژوهش نیز ۷۰ درصد داده ها به عنوان داده های تعلیمی و ۳۰ درصد داده ها برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار در نهایت لایه نهایی در نرم افزار ArcGIS10.8 به پنج طبقه حساسیت خیلی کم، نسبتاً کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شد. نتایج حاکی از آن است، عامل تراکم پوشش گیاهی که با شاخص NDVI در مدل سازی استفاده شده دارای بیشترین تاثیر با استفاده از مدل CART و دومین عامل تاثیر گذار در مدل TreeNet می باشند. در واقع می توان نتیجه گرفت، که در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف به دلیل افزایش میزان رواناب سطحی، پدیده زمین لغزش با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است زیرا در شیب های کمتر از ۳۵ درصد که مناطق انسان ساخت و کاربری کشاورزی غالب کاربری در منطقه است می تواند

نشان دهنده تأثیر زیاد انسان بر وقوع زمین لغزش است که این امر نیز در حوضه مورد مطالعه مشاهده گردید (فام و همکاران^۱، ۲۰۱۹؛ حنیفی نیا و همکاران، ۱۳۹۹؛ ذاکری نژاد و عموشاهی، ۱۴۰۱).

میزان بارندگی و شدت آن از عوامل اثر گذار بر رخداد های زمین لغزش می باشند که با توجه به اینکه در بسیاری از حوضه ها به دلیل عدم اندازه گیری و یا در دسترس بودن شدت بارندگی میزان متوسط بارندگی می تواند تا حدودی بیانگر اثر فرساینده و عامل رخداد حرکات توده ای محسوب گردد (Ayalew, 1999). در حوضه مورد مطالعه ای با توجه به نتایج دو مدل این شاخص نیز از عوامل موثر و تاثیر گذار بر رخداد حرکات زمین لغزش می باشد که مناطق غربی حوضه مورد مطالعه با مقدار بیش متوسط بارندگی سالانه میان ۱۵۰۰ تا ۲۱۰۰ میلیمتر دارای بیشترین رده ی بارندگی می باشند که بیشترین سطوح مناطق با حساسیت بالا در این نواحی مشاهده می گردد.

در واقع می توان بیان داشت که شاخص های مقدار بارش و همچنین شاخص فاصله از آبراهه به دلیل تاثیر میزان رطوبت می باشند، بطوریکه منطبق بر مطالعاتی قبلی که در منطقه مورد مطالعه به حساسیت بالای مناطقی که خصوصا در حریم ۱۰۰ متری شبکه آبراهه ها می باشد (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۸؛ ذاکری نژاد و عموشاهی، ۱۴۰۱). شایان ذکر هست که این عامل که ناشی از عملکرد جریان آب یا به عبارت دیگر فرسایش آبی است که سبب ناپایداری دامنه ها و رخداد لغزش در منطقه شده است (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۲). شاخص های ارتفاع و زمین شناسی نیز از دیگر شاخص های تاثیر گذار بر پهنه بندی نقشه پتانسیل زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه می باشد، خصوصا مناطقی که جنس لیتولوژی سازند ساچون که شامل مارنهای قرمز، آهک، ژیبس و دولومیت بوده و سازند گورپی که شامل شیل و مارنهای خاکستری می باشد. زیرا که مارن یکی از حساس ترین جنس های لیتولوژیکی نسبت به وقوع حرکات توده ای و به ویژه زمین لغزش می باشد که گسترش آن در هر مکانی با وقوع زمین لغزش همراه است (محمدخان و همکاران، ۱۳۹۳؛ عسگری و همکاران، ۱۳۹۷). البته ذکر این نکته ضروری می باشد که بعضی این شاخص ها نیز دارای اثرات غیر مستقیم بر سایر شاخص ها دارند، به عنوان مثال تاثیر که شاخص جهت شیب بر میزان طوبت جهت های مختلف دارد و یا تاثیر که ارتفاع بر میزان بارندگی و یا تراکم پوشش گیاهی می تواند ایفا نماید. به هر حال انجام تحلیل مولفه ی اصلی و استفاده از سایر شاخص های تاثیر گذار مانند شدت بارندگی، تراکم زهکشی، ضریب انحنا و یا شاخص فرسایش پذیری خاک می توانند جهت بررسی های بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد. برنامه ریزان و مدیران می توانند با بررسی نقشه های خطر به زمین لغزش از ساخت و ساز در مناطق با حساسیت بالا جلوگیری نموده تا ضمن جلوگیری بتوان از خسارات احتمالی در امان ماند. لازم به ذکر هست، جهت حفاظت و مدیریت مناطق مستعد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه ایجاد پوشش گیاهی منطبق با شرایط اقلیمی منطقه بر روی دامنه ها و جلوگیری از ساخت و سازها در مناطق پرخطر و همچنین انجام عملیات حفاظت خاک و آبخیزداری در منطقه مورد مطالعه می تواند از اقدامات موثر می باشد.

منابع

اسلامی، محمود؛ شادفر، صمد؛ محمدی، علی؛ ابراهیم، ترکاشوند؛ پذیرا. (۱۳۹۸). بررسی وقوع خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در محیط GIS مطالعه موردی، حوضه آبخیز الموت رود. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۱۰، (۱۹)، ۱۱۷-۱۳۱.

^۱-Pham

- پناهی، مهدی؛ میرهاشمی، سیدحسن. (۱۳۹۴). ارزیابی دو الگوریتم داده کاوی CART و CHAID در پیش بینی دمای هوای ایستگاه سینوپتیک اراک، فصلنامه علوم محیطی، ۱۳(۴):۵۳-۵۸.
- تیموری یانرسری، زینب؛ حسین زاده، سید رضا؛ کاویان، عطالله؛ پور قاسمی، حمید رضا. (۱۳۹۶). تعیین پهنه های حساس به وقوع لغزش با استفاده از روش آنتروپی شانون (مطالعه موردی : حوضه آبخیز چهاردانگه - استان مازندران). جغرافیا و مطالعات محیطی، (۲۲)، ۲۰۴-۱۸۳.
- حسینی کار، کمال؛ رفیعی، شاهین؛ شیرزادی، عطاله؛ نبی الهی، کمال. (۱۳۹۵). ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک و منطق فازی در تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش های شهر سنندج. مجله پژوهش های آبخیزداری، (۱۰۹) ۲۸-۱.
- حلاجی، مریم، زنگنه، محمد علی؛ ابوالقاسم، اسدی؛ احمدی، امیر. (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی مدل های پیش بینی حساسیت وقوع زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور. مجله پژوهش های آبخیزداری، ۳۳، (۱۲۷)، ۳۰-۲۰.
- حنیفی نیا، ع؛ نظرزاد، ح؛ نجفی، س؛ کرنزادی، آ. (۱۳۹۹). اولویت بندی عامل های موثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن در آبخیز چریک آباد ارومیه با استفاده از مدل آنتروپی شانون، پژوهش های آبخیزداری، ۳۳(۴)، ۳۲-۴۸.
- کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ خیری زاده، منصور؛ مختاری اصل، ابوالفضل. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در پهنه بندی حساسیت زمین لغزش حوضه آبریز اهرچای. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۳۲)، ۱۷-۱.
- کرنزادی، آیدینگ؛ اونیق، مجید؛ سعدالدین، امیر. (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر و خسارات زمین لغزش، مطالعه موردی : حوضه آبخیز زیارت، استان گلستان. دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، (۷) ۶۲-۵۱.
- کاظمی، محمد؛ نفرزادگان، علیرضا؛ محمدی، فریبرز؛ رضایی لطیفی، علی. (۱۴۰۰). شناسایی خاستگاه های هواویزهای اتمسفری با استفاده از سنجش از دور و داده کاوی (مطالعه مورد: استان یزد). مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۱)۱۲: ۶۳-۸۵.
- محمدی، سید داود؛ جلالی، سید حسن؛ ساعدی، بهمن. (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی با تاکید بر عوامل شکل دامنه (مطالعه موردی: شهرستان کامیاران). مجله جغرافیا و توسعه، ۴۳، ۲۰۹-۱۹۱.
- محمدخان، شیرین؛ ویسی، عبدالکریم؛ باقری، کیوان. (۱۳۹۳). پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه موردی (منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه. جغرافیای سرزمین. ۱۱(۴۴): ۱۰۳-۸۹.
- روستائی، شهرام؛ خدائی، لیلیا؛ مختاری، داود؛ رضاطبع، خدیجه؛ خدائی، فاطمه. (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل شبکه (ANP) در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۴، (۵)، ۷۴-۵۹.
- زارع، محمد؛ احمدی، شعبانعلی؛ غلامی. (۱۳۹۱). پهنه بندی و ارزیابی خطرزمین لغزش با استفاده از مدل های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی : حوضه آبخیز واز). مجله علمی - پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵، (۱۷)، ۲۲-۱۵.
- سیف، عبدالله؛ راهدان مفرد، محمد. (۱۳۹۴). بررسی پتانسیل زمین لغزش با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند معیاره (AHP-TOPSIS) در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی - ۵۸-۱۳۹۴-۲.
- سلیمان پور، سید مسعود؛ مصباح، سید حمید؛ هدایتی بهرام. (۱۳۹۷). کاربرد تکنیک داده کاوی درخت تصمیم CART در تعیین مؤثرترین فاکتورهای کیفیت آب آشامیدنی (مطالعه موردی: دشت کارزون استان فارس). سلامت و محیط زیست، ۱۱ (۱): ۱۴-۱
- سازمان زمین شناسی کشور نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی استان اصفهان.
- شریعت جعفری، حسن. (۱۳۷۵). زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی). انتشارات سازه، صفحه ۱۳۸.
- شیرانی، کوروش؛ سیف، عبدالله؛ نصر، احمد. (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده های برپایه تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس). علوم زمین، ۳(۲۳): ۳-۱۰.
- عسگری، شمس اله؛ قنواتی، عزت الله؛ شادفر، صمد. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی شاخص های تاثیرگذار زمین لغزش ها بر بار رسوبی حوضه سد ایلام. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۸(۶۳): ۳۱۸-۲۹۹.

- نوجوان، محمدرضا؛ شاه زیدی، سمیه سادات؛ داوودی، محمد؛ امین الرعایایی، هاجر. (۱۳۹۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان). *مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۸، (۴)، ۱۵۹-۱۴۲.
- نوجوان، محمد. رضا؛ حیاتی، غلامرضا. (۱۳۹۲). پهنه بندی خطر لغزش حوضه آبخیز سیاه خور اسلام آباد غرب با استفاده از روش سلسله مراتبی (AHP). *فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۰، شماره ۲ (پیاپی ۳۸)، صفحه ۸۱-۹۲، ۳-۹۲*.
- ذاکری نژاد، رضا؛ عموشاهی، ناهید. (۱۴۰۱). ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان)، *مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۲).
- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., Bendaoud, E.A. (2017). Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arabian J.Geosci.* 10(8),194.
- Ayalew, L. (1999). The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* volume 58: 9-19.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern Methods for business research*, 295(2), 295-33.
- Chandel, V., Karbara, K., Chauhan, Y. (2011). RS and GIS landslide hazard zonation of mountainous terrains A study from middle Himalayan Kulla district, Himachal Pradesh, India, *International Journal of Geometrics and Geosciences*. 2(1): 121-132.
- Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., & Alamri, A. M. (2020). Spatial landslide risk assessment at Phuentsholing, Bhutan. *Geosciences*, 10(4), 131
- Friededman, J. (1991). Multivariate adaptive regression splines (with discussion). *Ann Stat*, 19(1): 79-141.
- Loh, WY. (2011) Classification and regression trees. *Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery*, 1(1): 14-23.
- Friedman, JH., Meulman, JJ. (2003). Multiple additive regression trees with application in epidemiology. *Statistics in Medicine*, 22(9): 1365-1381. doi <https://doi.org/10.1002/sim.1501>.
- Feby, B., Achu, A.L., Jimnisha, K., Ayisha, V.A., Reghunath, R. (2020). Landslide susceptibility modeling using integrated evidential belief function-based logistic regression method: a study from southern western Ghats, India, remote sensing applications: society and environment, 20.
- Habumugisha, J. M., Chen, N., Rahman, M., Islam, M. M., Ahmad, H., Elbeltagi, A., & Dewan, A. (2022). Landslide susceptibility mapping with deep learning algorithms. *Sustainability*, 14(3), 1734.
- Kumar Dahal, R. (2008) Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence, *Geomorphology*, Vol. 102, PP.496-510.
- Hosmer, DW., Lemeshow S (2000) Applied logistic regression. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Meten, M., PrakashBhandary, N. and Yatabe, R. (2015) Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia: *Geoenvironmental Disasters*, v. 2, p. 1-17.
- Pham, B. T., Jaafari, A., Prakash, I. & Bui, D. T. (2019). A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (4), 2865-2886.
- Pourghasemi, HR., Mohammady M., Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using an index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97: 71-84.
- Peng, L., Niu, R., Huang B., Wu, X., Zhao, Y., Ye, R. (2014) Landslide susceptibility mapping based on rough in Asaluyeh Region Using AHP and Fuzzy Logic Methods. *Iranian Journal of Business and Economics*. 3(4): 112-124.
- Sharma H., Kumar, S. (2016). A survey on decision tree algorithms of classification in data mining. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(4): 2094-2097.
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhau, I., Dick, O.B. (2012). Landslide susceptibility mapping at HoaBinh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and Gis. *Computers & Geosciences*, 45,199-211.
- Xiao, T., Yin, K., Yao, T., & Liu, S. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility using GIS-based statistical and machine learning models in Wanzhou County, Three Gorges Reservoir, China, *Acta Geochim* 38(5):654-669.
- Xi, W., Li, G., Moayedi, H., & Nguyen, H. (2019). A particle-based optimization of artificial neural network for earthquake-induced landslide assessment in Ludian county, China, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 1750-17.

References

References (in Persian)

- Asghari, S., Ghanavti, E., Shadfar, S. (2018). Spatial Analysis of Indicators Affecting Landslides on Sedimentary Load in Ilam Dam Basin.; 18(63): 299-318. [in Persian].
- Eslami, M., Shadfar, S., Torkashvand, A.M., Pazira, E. (2019) Application of Artificial Neural Network in Study Phenomenon of Landslide and Risk Modeling using Geographic Information System (GIS), Case Study: Alamoot Rood Watershed, Journal of Watershed Management Research, Vol. 10, No.19, Spring and Summer 2019, 131. [in Persian].
- Hoseinikar, K., Rafiee, Sh., Shirzadi, A., Nabiollahy, K. (2016). Assessing Logistic Regression And Fuzzy-Logic Models To Make Sensitivity Map Of Landslides Of Sanandaj City. Watershed Management Researches (PAJOUHESH-VA-SAZANDEGI), 28 (109): 15 - 28. [in Persian].
- Hallaji, M., Zanganeh Asadi, M.A., Amirahmadi, A. (2020). An Assessment Of The Landslide Susceptibility Prediction Models In The Bar Watershed-Neyshabur, Watershed Management Researches (PAJOUHESH-VA-SAZANDEGI), Summer 2020, Volume 33, Number 2 (127): 20 - 30. [in Persian].
- Hanifinia, A., Nazarnejad, H., Najafi, A., Kornejadi, A. (2021). Prioritization of Effective Factors on Landslide Occurrence and Mapping of its Sensitivity in CherikAbad Watershed, Urmia Using Shannon Entropy Model, Watershed management research, 33(4):30-46. [in Persian].
- Janseri, Z., Hosseinzadeh, S.R., Kavyan, A., Pourghasemi, H. (2017). Identification of susceptible areas to landslide susceptibility using Shannon's entropy method (Case study: Chahardangeh watershed, Mazandaran Province), Geographical and Environmental Hazard Journal. 6(22): 204-183. [in Persian].
- Kornejadi, A., Ownegh, Majid., Sadoddin, Amir. (2015). Landslide Risk and Hazard Zonation (Case Study: Ziarat Watershed- Golestan Province), Gorgan University Of Agricultural Sciences And Natural Resources, Spring-Summer, 4(7): 51 - 62. [in Persian].
- Kazemi, M., Nafarzadegan, AR., Mohammadi, F., Latifi, AR. (2021) Identifying Origins of Atmospheric Aerosols using Remote Sensing and Data Mining (Case study: Yazd province). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(1): 63-85. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.4.5>. [in Persian].
- Mohammadi, S.D., Jalali, S.H., Saeedi, B. (2015). Landslide Hazard Zoning by Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) by Emphasis on the Slope Shape Factor (Case study: Kamyaran County), 14(43):191-209. [in Persian].
- Mohammad Khan, S., Veisi, A.K., Bagheri, K. (2013). Feasibility of landslide risk using Entropy model, case study: (Shirpna mountainous region in South West Kermanshah Province), Territory journal, 11(44):89-103. [in Persian].
- Nojavan, M., Shahzeidi, S., Davoudi, M., Aminroaya, H. (2019). Zonation of Landslide Risk Using Fuzzy And AHP Model (Case Study: Komeh watershed, Isfahan Province). Quantitative Geomorphological Reassesses, 7 (4): 142- 159. [in Persian].
- Nojavan, M.R., Hayati, G.R. (2013). Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Process Method Case Study: Siah Khor watershed, Geographical Journal of Territory 10 (38): 81 - 92. [in Persian].
- Panahi, M., Mirhashemi, SH. (2015). Assessment of two data mining algorithms CART and CHAID in forecast air temperature of the synoptic station of Arak. Environmental Sciences, 13(4): 53-58. [in Persian].
- Roostahi, S., Khodaei, L. (2015). Assessment of Analysis Network Process and Logistic Regression in the Investigation of Landslide Potential in the Axis Range and Reservoir Dam (Case Study: Ghalea Chai Dam), Quantitative Geomorphological Reassesses, 5(3):67-80. [in Persian].
- Karamia, F., Bayati Khatibib, M., Khirzhadeh, M., Mokhtari Asld, A. (2019). Evaluation of Performance of Support Vector Machine Algorithm in Landslide Susceptibility Zoning in Ahar-chai Basin, Geography and Environmental Hazards, 32, 8(4):1-17.
- Seif, A., Rahdan Mofrad, M. (2015). Examining the potential landslide in Chaharmahal-Bakhtiari province by applying multi-criterion models of decision making, Geography, and Environmental Planning, 26 (2): 31 – 48. [in Persian].
- Soleimanpour, S., Mesbah, S., Hedayati, B. (2018). Application of CART decision tree data mining to determine the most effective drinking water quality factors (case study: Kazeroon Plain, Fars province). Iranian Journal of Health and Environment, 11(1): 1-14. [in Persian].
- Shariat Jafari, M. (1997). Landslide: Principles of natural, 1st edition Saze .138 p. [in Persian].
- Zakerinejad, R., Amoshahi, N. (2022). Evaluating landslide hazard using Remote sensing data and Maximum Entropy Model (Case Study Komeh watershed, in the south of Isfahan Province), Quantitative Geomorphological Reassesses, 2(11). [in Persian].

References (in English)

- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., Bendaoud, E.A. (2017). Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. Arabian J.Geosci. 10(8),194.
- Ayalew, L. (1999). The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment volume 58: 9–19.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. Modern Methods for business research, 295(2), 295-33.

- Chandel, V., Karbara, K., Chauhan, Y. (2011). RS and GIS landslide hazard zonation of mountainous terrains A study from middle Himalayan Kulla district, Himachal Pradesh, India, *International Journal of Geometrics and Geosciences*, 2(1): 121-132.
- Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., & Alamri, A. M. (2020). Spatial landslide risk assessment at Phuentsholing, Bhutan. *Geosciences*, 10(4), 131
- Friededman, J. (1991). Multivariate adaptive regression splines (with discussion). *Ann Stat*, 19(1): 79-141.
- Loh, WY. (2011) Classification and regression trees. *Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery*, 1(1): 14-23.
- Friedman, JH., Meulman, JJ. (2003). Multiple additive regression trees with application in epidemiology. *Statistics in Medicine*, 22(9): 1365-1381. doi <https://doi.org/10.1002/sim.1501>.
- Febry, B., Achu, A.L., Jimnisha, K., Ayisha, V.A., Reghunath, R. (2020). Landslide susceptibility modeling using integrated evidential belief function-based logistic regression method: a study from southern western Ghats, India, remote sensing applications: society and environment, 20.
- Habumugisha, J. M., Chen, N., Rahman, M., Islam, M. M., Ahmad, H., Elbeltagi, A., & Dewan, A. (2022). Landslide susceptibility mapping with deep learning algorithms. *Sustainability*, 14(3), 1734.
- Kumar Dahal, R. (2008) Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence, *Geomorphology*, Vol. 102, PP.496-510.
- Hosmer, DW., Lemeshow S (2000) *Applied logistic regression*. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Meten, M., PrakashBhandary, N. and Yatabe, R. (2015) Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia: *Geoenvironmental Disasters*, v. 2, p. 1-17.
- Pham, B. T., Jaafari, A., Prakash, I. & Bui, D. T. (2019). A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (4), 2865-2886.
- Pourghasemi, HR., Mohammady M., Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using an index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97: 71-84.
- Peng, L., Niu, R., Huang B., Wu, X., Zhao, Y., Ye, R. (2014) Landslide susceptibility mapping based on rough in Asaluyeh Region Using AHP and Fuzzy Logic Methods. *Iranian Journal of Business and Economics*. 3(4): 112-124.
- Sharma H., Kumar, S. (2016). A survey on decision tree algorithms of classification in data mining. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(4): 2094-2097.
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B. (2012). Landslide susceptibility mapping at HoaBinh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and Gis. *Computers & Geosciences*, 45,199-211.
- Xiao, T., Yin, K., Yao, T., & Liu, S. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility using GIS-based statistical and machine learning models in Wanzhou County, Three Gorges Reservoir, China, *Acta Geochim* 38(5):654-669.
- Xi, W., Li, G., Moayed, H., & Nguyen, H. (2019). A particle-based optimization of artificial neural network for earthquake-induced landslide assessment in Ludian county, China, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 1750-17