رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره چهارم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱- ۱۰

مروری برمطالعات انجام شده درزمینه پهنه بندی خطرزمین لغزش (الگوریتم جنگل تصادفی)

واحد قیاسی [*۱]، مازیار شیرخانی چشمه شفیع [۲] ، مهیار یوسفی [۳]

*[*۱] استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران (v.ghiasi@malayeru.ac.ir)*

[۲] کارشناسی مهندسی عمران-ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

[۳] دانشیار، گروه مهندسی معدن،، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲)

چکیده

زمین لغزش را می توان همراه باسیل وزلزله یکی ازمهم ترین بلایای طبیعی جهان دانست که عوامل متعددی می تواند دروقوع آن نقش داشته باشد.محققین نیزباهدف مدیریت خطرزمین لغزش اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی بااستفاده ازروش های مختلف نمودند.هدف ازانجام این مقاله مروری برمطالعات انجام شده درزمینه پهنه بندی خطرزمین لغزش است که نتایج بدست آمده ازاین پژوهش نشان می دهد یک روش مشخص جهت تهیه نقشه پهنه بندی خطرزمین لغزش وجودنداردوبایستی جهت دستیابی به نقشه ای باحداقل خطا ازروشهای مختلفی ازجمله جنگل تصادفی جهت تولید مدل پتانسیل خطرزمین لغزش استفاده کرد.

کلمات کلیدی

زمین لغزش،پهنه بندی،جنگل تصادفی.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره چهارم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱- ۱۰

An Overview of the Studies done in the Field of Landslide Risk Mapping (Random Forest Algorithm)

Vahed Ghiasi [1*], Mazyar Shirkhani Cheshme Shafie [2], Mahyar Yousefi [3]

*[*1] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran (v.ghiasi@malayeru.ac.ir)*

[2] Ms.c. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran

[3]Associate Professor, Malayer University, Malayer, Iran

(Date of received: 13/08/2022, Date of accepted: 03/12/2022)

ABSTRACT

Along with earthquakes and floods, landslides can be considered one of the most important natural disasters in the world, in which several factors can play a role. Researchers prepared a zoning map using different methods to manage the risk of landslides. The purpose of this article is to review the studies conducted. In the field of landslide risk zoning, the results obtained from this research show that there is no specific method to prepare a landslide risk zoning map. To obtain a map with minimum error, different methods, including random forest, should be used to produce a landslide risk potential model. Various methods have also been developed in the GIS environment to produce landslide potential models. These methods are generally divided into data-oriented and knowledge-oriented methods. Data-oriented methods are based on existing landslide points, and knowledge-oriented methods are based on expert judgment. Random forest algorithms can be mentioned among the data-oriented methods. Available data depends on the scale of the study and the type of method used.

Keywords:

Landslide, Mapping, Random Forest.

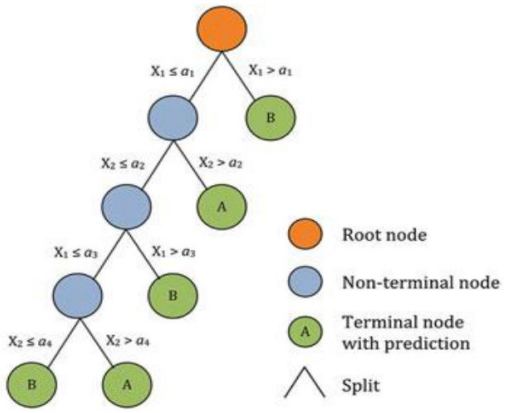
۱- مقدمه

بر اساس فرهنگ واژگان آکسفورد زمین لغزش معادل واژۀ Landslide می باشد. این پدیده نوعی حرکت دامنه‌ای است که در آن مواد در امتداد یک سطح گسیختگی با یک زون گسیختگی مشخص روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند [۱]. تاکنون پژوهشگران اصطلاحات و تعاریف متعددی برای این پدیده ارائه کرده اند که شامل حرکات توده‌ای، حرکات شیب و زمین لغزش است. با جمع بندی تعاریف مختلف مشخص می شود زمین لغزش شامل همه ی حرکات و گسیختگی‌های شیبی یا دامنه ای نسبتاً سریع است که با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان به سطح پایین تر حرکت می کند و در اثر غلبه ی نیروهای محرک بر نیروهای مقاوم در سطوح شیب دار به وقوع می‌پیوندد، به تعبیر دیگر لغزش عبارت از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها عمدتاً بر اثر عامل رطوبت است [۲]. هر ساله پدیده زمین لغزش، در مناطق مختلف کشور آسیب های قابل توجهی را به مناطق مسکونی، راههای ارتباطی و منابع طبیعی وارد می سازد. بنابراین ضروری است، تا مطالعات ویژه ای درباره شناخت عوامل مؤثر ، در وقوع و راه‌های کاهش خسارت آن انجام شود. شناخت نواحی مستعد وقوع زمین لغزش ها یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی توسعه ای و عمرانی است. تهیه نقشه پهنه بندی با صحت بالا نتیجه کلیه مراحل جمع آوری اطلاعات و شناسایی پارامترهای موثر، وزن دهی و امتیاز دهی به پارامترها و نحوه تلفیق و رده بندی مقادیر خطر می باشد[۳]. روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش به سه دسته روش های آماری (مانند روش های دو متغیره و چند متغییره، رگرسیون لجستیک و مدل ارزش اطلاعاتی)، ابتکاری یا تجربی(مانند استوینسن، نیلسن و براب، آنبالاگان و مورا وارسون) و ترکیبی (مانند شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی) تقسیم بندی می شوند[۴]. روش های مختلفی نیزدر محیط GIS به منظور تولید مدل پتانسیل زمین لغزش توسعه داده شده است. این روش ها به طور کلی به رو ش های داده محور و دانش محور ، تقسیم می شوند. روش های داده محور با تکیه بر نقاط زمین لغزش موجود و روش دانش محور بر اساس قضاوت کارشناسی است [۵]. ازجمله روش های داده محور می توان به الگوریتم جنگل تصادفی اشاره کرد.میزان اطمینان به نقشه ی پهنه بندی زمین لغزش به مقدار زیادی به کیفیت داده های در دسترس، مقیاس مطالعه و نوع روش مورد استفاده بستگی دارد [۶].

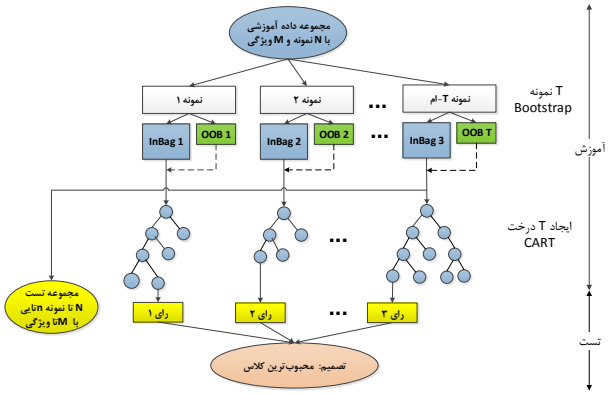
۲- الگوریتم جنگل تصادفی

یکی از مدلهایی که جهت تهیه نقشۀ پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده می شود الگوریتم جنگل تصادفی است این الگوریتم متشکل از مجموعه‌ای از دسته‌بندی کننده‌های ساختار درختی و دسته بندی کننده‌ی مجموعه‌ای است که شامل بسیاری از درخت های تصمیم‌گیری است این الگوریتم توسط لئوبرایمن و آدل‌کاتلر توسعه داده شده و در حال حاضر یکی از مهم ترین الگوریتم‌های یادگیری است و برای بسیاری از مجموعه‌ی داده‌ها دسته بندی را با صحت بالایی انجام می‌دهد و از ویژگی های مثبت این دسته بندی کننده این است که روی مجموعه داده های بزرگ بسیار خوب عمل می کند مدل پیش بینی کننده جنگل تصادفی بر اساس میانگین گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت های مربوطه استوار است [۷و ۸]. داده ها در الگوریتم جنگل تصادفی به طور تصادفی به دو مجموعه آموزشی و آزمایشی تقسیم می شوند. برای ایجاد مدل جنگل تصادفی از داده های سری آموزش استفاده می شود و $\frac{1}{3}$داده ها در ساخت درخت شرکت ندارند این داده ها را OOB یا داده‌های خارج از کیسه می‌نامند. الگوریتم جنگل تصادفی شامل سه پارامتر اصلی تعداد درخت، تعداد متغیرهایی که در ساخت هر درخت مشارکت دارند و تعداد گره‌های انتهایی می باشد در ساختار هر درخت سه نوع گره وجود دارد و در شکل (۱) نشان داده شده است که شامل گره ریشه (مادر) و سایر گره‌ها را گره فرزند می نامند. گره های فرزند به دو گروه گره های داخلی یا غیر پایانی و پایانی تقسیم می‌شوند گره‌های پایانی گره‌هایی هستند که تقسیم نشده و پیش بینی را انجام می دهند. در خصوص تعداد درختان این نکته حائز اهمیت است که نباید آن قدر زیاد شود که تجزیه و تحلیل متغیرها نیازمند زمان و محاسبات کامپیوتری زیادی باشد و بایستی به صورت بهینه انتخاب شده و کمترین خطای آموزشی را ایجاد کند. در خصوص تعداد متغیرهایی که در ساخت هر درخت هم مشارکت دارند پیشنهاد شده که در مدل رگرسیونی $m = \frac{M}{3}$

و در مدل های کلاس بندی برابر $m=\sqrt{M}$ باشد. در اینجا M تعداد کل متغیرها و m تعداد متغیرهایی است که در ساخت هر درخت مشارکت دارند. اندازه گره‌های پایانی هم به صورت پیش فرض برای کلاس بندی یک در نظر گرفته می‌شود یعنی هیچ دو داده ای در یک گره باقی نمی مانند و تصمیم گیری به سطح دیگری منتقل می شود و در مسائل رگرسیونی به طور پیش فرض این مقدار برابر پنج است. همچنین در ترکیب نتایج اگر مسئله طبقه بندی باشد به صورت رأی گیری و اگر رگرسیونی باشد به صورت میانگین گیری است سازو کار الگوریتم جنگل تصادفی در شکل (۲) نشان داده شده است [۹-۱۲].



شکل ۱: ساختار گره ها در درخت تصمیم [۱۳].



شکل۲: سازوکار الگوریتم جنگل تصادفی [۱۴].

۳- عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش

زمین لغزش به عوامل مختلفی از جمله شیب، زمین شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی، زلزله، کاربری اراضی ، شبکه راه ها، آبراهه و رودخانه بستگی داردبه طورکلی می توان دلایل وقوع زمین لغزش رادرسه دسته کلی عوامل زمین شناسی(وجود مواد حساس یا ضعیف،وجود مواد هوازده، تفاوت درسختی یا نفوذپذیری مواد) عوامل ریخت شناسی(حذف فشارناشی ازذوب سربارها، حذف پوشش گیاهی، فرسایش زیرزمینی) و عوامل انسانی(آبیاری، نوسانات لرزه ای، نشت آب ازتاسیسات، قطع درختان جنگل) دسته بندی کرد [۱۵و ۱۶].

۴- علایم هشدار دهنده قبل از وقوع زمین لغزش

همانند سایر پدیده‌های طبیعی، زمین لغزش نیز قبل از وقوع، علایم و نشانه هایی دارد که در پیش بینی آن و انجام تمهیداتی جهت جلوگیری از وقوع آن و یا کاهش خسارات و صدمات بسیار موثر می باشند. عوارض و علایمی که ممکن است نشان دهنده وقوع این پدیده باشند [۱۷]:

- ایجاد شکاف و ترک ها در زمین، برف ، یخ ، خاک یا سنگ واقع بر روی دامنه ها یا در رأس آن‌ها (شکل ۳).
- عقب نشینی پیاده رو از ساختمان های مجاور، اگر در یک دامنه قرار دارند؛ عقب نشینی خاک از پی ساختمان (شکل۴).
- فاصله افتادن بین حصارها ، که زمانی در یک خط قرار داشته و یا شکلی متفاوت داشته اند.
- برآمدگی یا تغییر ارتفاع غیر معمول در زمین ، کف پوش، مسیرها، یا پیاده رو (شکل ۵).
- کج شدن تیرهای تلفن، درختان، دیوارهای حایل، حصارها (شکل۶).
- کج شدن بیش از حد یا ترک خوردن کف ها و پی‌ها بتنی.
- شکستن لوله آب و دیگر امکانات زیر سطحی.
- افزایش سریع یا کاهش سطح آب رودخانه، ممکن است با افزایش آشفتگی همراه باشد. (درصد خاک که آب را تیره می کند).
- گیرکردن درب ها، پنجره ها و فضاهای باز آشکار، که نشان می دهند دیوارها و چارچوب ها جابجا شده و تغییر شکل داده اند.
- صداهای ترک خوردن، شکستن، یا انفجار از یک خانه، ساختمان یا گروهی از درختان (برای نمونه پاره شده ریشه ها یا شکستن آن‌ها) .
- نشست جاده ها یا راهروها.

شکل ۳: ترک خوردگی زمین [۱۷].

شکل ۴: عقب نشینی پیاده رو از ساختمان [۱۷].

شکل۵: بالاآمدگی غیرمعمول جاده [۱۷].

شکل۶: کج شدن تیر برق [۱۷].

۵- مروری برمطالعات انجام شده درزمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش

محققین با هدف مدیریت خطر زمین لغزش اقدام به تهیه نقشهٔ پهنه بندی با استفاده از مدل های مختلف نمودند که در جدول (۱) به تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش اشاره شده است.

جدول ۱. مطالعات انجام شده در خصوص پهنه بندی زمین لغزش.

ردیف	نام محقق	منطقه مورد مطالعه	مدل مورد استفاده	نتیجه گیری
۱	Mathew و همکاران (۲۰۰۹)	منطقه گرهوال کشور هند	رگرسیون لجستیک باینری یا دو وجهی	دقت مدل ۹۱/۷٪ می باشد.
۲	Youssef و همکاران (۲۰۱۵)	حوضهٔ تایا منطقه عسیر کشور عربستان	الگوریتم جنگل تصادفی، درخت تصمیم گیری، درخت رگرسیون تقویت شده و مدل خطی تعمیم یافته	تمامی مدلهای بکار برده شده دارای دقت مناسبی هستند.
۳	Bournane و همکاران (۲۰۱۶)	شهر کنستانتین کشور الجزایر	نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی	روش نسبت فراوانی دارای دقت بالاتری است
۴	Sing & Kumar (2017)	حوضه رودخانه راوی کشور هند	ارزش اطلاعات و نسبت فراوانی	دقت نقشه بدست آمده از روش ارزش اطلاعات بالاتراست
۵	Zhang و همکاران (۲۰۱۷)	منطقه زیگوبادونگ کشور چین	جنگل تصادفی و درخت تصمیم	روش جنگل تصادفی دارای دقت بالاتری است.
۶	Pham و همکاران (۲۰۱۸)	منطقه مورد مطالعه استان کون توم کشور ویتنام	مدل مورد استفاده RFFT ، FT و ماشین بردار پشتیبان	مدل هیبریدی RFFT نسبت به دو مدل دیگر دارای دقت بالاتری است.
۷	Akinci و همکاران (۲۰۱۹)	مناطق آرهاوی، هوپاوکمال پاشا در کشور ترکیه	جنگل تصادفی	میزان پیش بینی مدل حدود ۹۸٪ است
۸	Kim&Pradhon (2020)	حوضه آبریزدئوکجوکری و کاریسانری کشور کره جنوبی	جنگل تصادفی ، شبکه عصبی عمیق، XGBOOST	شبکه عصبی عمق به نسبت دو روش دیگر دارای دقت بالاتری است.
۹	Zhao و همکاران (۲۰۲۱)	شهرستان نینگ چیانگ استان شانشی کشور چین	فاکتور اطمینان ، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و ترکیب هر سه مدل	در منطقه مورد مطالعه مدل جنگل تصادفی مناسب ترین مدل برای تهیه نقشه می باشد
۱۰	Wubalem (2021)	حوضه آبخزیو آتزوشمال غربی اتیوپی	نسبت فراوانی، ارزش اطلاعات و فاکتور اطمینان	هر سه مدل دارای دقت مناسبی هستند.
۱۱	امیدوار و همکاران (۱۳۹۷)	حوضه سرخون استان چهارمحال بختیاری	لجستیک درختی و رگرسیون لجستیکی	مدل رگرسیون لجستیک دارای عملکرد مناسبتری است
۱۲	حلاجی و همکاران (۱۳۹۹)	حوضه آبخیز بار نیشابور	ماشین بردار پشتیبان، بیشنهٔ آنتروپی و الگوریتم جنگل تصادفی	مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان دارای دقت مناسبتری است
۱۳	مومی پور و مجد باوی (۱۴۰۰)	محدودهٔ سد شهید عباسپور	حائری- سمیعی و تحلیل سلسله مراتبی	در هر دو روش عامل سنگ شناسی به عنوان عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش ها در نظر گرفته شده است

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

به طورکلی روشهای مختلفی به منظورتهیه نقشه پهنه بندی درمناطق مختلف استفاده شده است امانکته قابل توجه این است که نمی توان یک روش مشخص رابه عنوان روشی کاملا مناسب جهت تهیه نقشه پهنه بندی درنظرگرفت زیراممکن است روشی دریک منطقه دارای بالاترین دقت وهمان روش درمنطقه ی دیگردقت مناسبی نداشته باشد. یکی از روشهایی که در اکثر مواقع با حداقل خطا همراه است الگوریتم جنگل تصادفی است این الگوریتم جهت شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش بسته به اینکه در حالت دسته بندی یا رگرسیون باشد نتایج حاصل از تشکیل درختان را با هم ترکیب می کند. ترکیب نتایج در حالت دسته بندی به صورت رأی گیری از نتایج کل درختان و در حالت رگرسیونی میانگین گیری بر اساس تعداد درختان است. ازاین رو پیشنهاد می شود جهت دستیابی به مدلی با حداقل خطا استفاده از این الگوریتم بیشتر مورد توجه قرار بگیرد.

۷- مراجع

۱- مرادی، ح. پورقاسمی، ح. و محمدی، م.، ۱۳۹۱، **حرکات دامنه ای (حرکات توده ای) با تأکید بر روش های کمی تحلیل وقوع زمین لغزش**، انتشارات سمت.

۲- انتظاری، م. و پورخسروانی، م.، ۱۳۹۸، **مخاطرات دامنه ای با تأکید بر زمین لغزش**، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

۳- رسایی، آ.، خسروی، خ.، حبیب نژاد روشن، م.، حیدری، ا.، و مشایخان، آ.، ۱۳۹۴، **پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چند متغیره در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آق مشهد، استان مازندران)**، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، ص۲۰۵-۲۱۵.

۴- حسینی، س. ع.، دلجویی، آ.، و صادقی، س. م .م.، ۱۳۹۵، **ارزیابی روش های مختلف پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در اکوسیستم های جنگلی**، نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۱۴-۷.

۵- قیاسی، و.، میرزایی، ص.، و یوسفی، م.، ۱۳۹۹، **توسعه نمودار نرخ پیش بینی- مساحت به منظور بهبود خروجی مدل های پتانسیل خطر زمین لغزش**، مجله علمی- پژوهشی مهندسی عمران مدرس، دوره ۲۰، شماره ششم، ص ۱۱۷-۱۳۰.

6- Nilsen, T. H. F. H., Wright, C. Vlasic, and Spangle, W., 1979, **San Francisco Bay region**, Californai: U.S. Geology, survey professional.

۷- ابراهیم خانی، س.، افضلی، م. و شکوهی، ع.، ۱۳۹۰، **پیش بینی و بررسی عوامل تصادفات جاده‌ای با استفاده از الگوریتم-های داده کاوی**، فصلنامه دانش انتظامی زنجانی، سال اول، شماره یک ، ص ۱۱۱-۱۲۷.

۸- ساده، ج.، و فرشاد، م.، ۱۳۹۲، **مکان‌یابی خطای اتصال کوتاه در خطوط انتقال جریان مستقیم ولتاژ بالا با استفاده از شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته و الگوریتم جنگل تصادفی**، نشریه هوش محاسباتی در مهندسی برق (سیستم های هوشمند در مهندسی برق)، دوره چهارم ، شماره دو ، ص ۱-۱۴

9- Breiman, L., 2001, **Random forests Machine learning**, 45, 1, 5-32.

10- Peters, J., Verhoest, N., Samson, R., Boeckx, P., and De Baets, B., 2008, **Wetland Vegetation distribution modeling for the identification of Constraining environmental variables**, Landscape Ecology, 23, 1049-1065.

۱۱-عجم، ز.، ۱۳۹۳، **پیش بینی فعالیت ضد ایدز مشتقات غیر نوکلئوزیدی تیوکربومات به روش جنگل تصادفی**، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه شاهرود، ایران.

۱۲- پاکنژاد، ف.، کرم.، ا.، و بهرام آبادی، ا.، ۱۴۰۰، **پهنه بندی ناپایداری دامنه ها نسبت به حرکات واریزه ای با استفاده از روش جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه تنگراه- استان گلستان)**، فصلنامه پژوهش های ژئو مورفولوژی کمی، سال نهم، شماره چهار، ص ۵۹-۷۴.

13- Aldrich , C. and Auret, L., 2013, **Tree – Based Methods , in unsupervised process Monitoring and Fault Diagnosis with Machine Learning Methods**, Springer London, 183-220.

14-Guo, L., Chehata, N., Mallet, C, and Boukir, S., 2011, **Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests**, Sensing, 66, 56-66.

15- Xilin, L., Wang, S. W., and Zhang, X., 1992, **Influence of geologic factors on landslide in zhaotong Yunnan province, china**, Environmental Geology and water science, 19, 17-20

۱۶- رمضانی، ب.، و ابراهیمی، هـ.، ۱۳۸۸، **زمین لغزش و راهکارهای تثبیت آن**، فصلنمه جغرافیایی آمایش محیط، دوره دوم، شماره هفت، ص ۱۲۹-۱۳۹.

۱۷- راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدار سازی زمین لغزش ها ، جلد اول – مطالعات رفتار سنجی زمین لرزش ها ، ضابطه شماره ۸۲۹-۱، ۱۳۹۹، سازمان برنامه و بودجه کشور .

18- Mathew, J., Jha, V. K , and Rawat, G. S., 2009, **Landslide susceptibility zonation mapping and its Validation in part of Garhwal Lesser Himalaya , India , using binary logistic regression analysis and receiver operating characteristic Curve method**, Landslides, 6, 1, 17-26.

19- Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., and AL- Katheeri, M. M., 2015, **Landslide susceptibility mapping using random forest , boosted regression tree , classification and regression tree , and general linear models and comparison of their performance at waide Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia**, Landslides, 13, 5, 839-856.

20- Bourenane, H., Guttouche, M. S., Bouhadad, Y., and Braham, M., 2016, **Landslide hazard mapping in the constantine city , Northeast Algeria using fregueny ratio , weighting factor , process methods**, Arabian journal of Geosciences, 9, 2, 154.

21- Singh, K., and Kummar, V., 2017, **Landslide hazard mapping along national highway – 154 Ain Himachal Pradesh , India using information Value and frequency ratio**, Arabian Journal of Geosciences, 10, 24, 1-18.

22- Zhang, K., Wu, X., Niu, R., Yang, K., and Zhao, L., 2017, **the assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the three Gorges Reservoir area , china**, Environmental Earth sciences, 76, 11, 1- 20.

23- Pham, B. T. , Naguyen, V. T., Ngo, V. L., Trinh, P. T., Ngo, H. T. T., and Bui, D. T., 2017, **A novel Hybrid Model of Rotation Forest Based Functional Trees for Landslide Susceptibility Mapping : A case study at kon Tum province , Vietnam. In Advances and Applications in Geospatioal Technology and Earth Resources**, Paper presented at the Internatioanl Conference on Geo – spatial Technologies and Earth Resources, Springer, Cham.

24- Akinci, H., Kilcoglu, C., and Dogan, S., 2020, **Random forest – based landslide susceptibility mapping in regions of Artvin, Turkey**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9, 9, 15.

25- Kim, Y. T, and Prdhan, A. M. S., 2020, **Landslide susceptibility Mapping at Two Adjacent Catchments using Advanced Machine Learning Algorithms**, International Journal of Geo Information, 9, 569, 1-22.

26- Zhao, Z. , Liu, Z. Y. and Xu, C., 2021, **slope unit based lalndslide susceptibility mapping using certainty factor , support vector machine , random forest , CF- svm and CF-RF models**, Frontiers in Earth science, 9, 589630, 1-16.

27- Wubalem, A., 2021, **Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area , northwestern Ethiopia**, Geoenvironmental Disasters, 8, 1, 1-21.

۲۸- امیدوار، ا.، براتی، ز.، و شیرزادی، ع.، ۱۳۹۷، **پیش بینی مکانی زمین لغزش های سطحی با استفاده از مدل های آماری و یادگیری ماشین (مطالعه موردی: حوضه سرخون) مرتع و آبخیزداری**، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۱، شماره چهار، ص ۸۸۴-۸۶۹.

۲۹- حلاجی، م.، زنگنه اسدی، م. ع.، و امیراحمدی، ا.، ۱۳۹۹، **ارزیابی کارایی مدل های پیش بینی حساسیت وقوع زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور**، نشریه پژوهش های آبخیزداری، دوره ۳۳، شماره دو، ص۲۰-۳۰.

۳۰- مومی پور، م.، و مجد باوی، ا.، ۱۴۰۰، **پهنه بندی مناطق مستعد خطر زمین لغزش در محدوده ی شهید عباسپور**، نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۰، شماره ۳۷ ، ص ۶۵-۸۰.