

چکیده

سولیفلوکسیون موجب می‌شوند که چهره زمین را دائماً تحت تأثیر قرار می‌دهند [محمودی، ۱۳۸۰: ۲]. زمین‌لغزش، بین انواع حرکات دامنه‌ای، به دلیل وضعیت حساس دامنه‌ها در رابطه با خطرات وقوع این پدیده، همواره مورد توجه محققان و برنامه‌ریزان بوده است. احتمالاً بزرگ‌ترین زمین‌لغزش جهان، زمین‌لغزش «سیمره» بوده که در دامنه شرقی «کبیرکوه» مشرف به دره سیمره در نزدیکی پلدختر به وقوع پیوسته است [علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۱۷۷].

پیشینه مطالعات

سابقه مطالعات و پژوهش در مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای در کشورهای توسعه‌یافته به ۵۰ سال پیش برمی‌گردد [کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۱۴-۱]. به نظر می‌رسد بتوان تاریخچه مطالعات این موضوع را به دو بخش تقسیم کرد:

۱. مطالعات بدون استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی: این

مطالعات بر مبنای امتیازدهی به عوامل مؤثر در ناپایداری و در نهایت به دست آوردن یک نقشه از پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته‌اند. روش‌های آن‌ها بیشتر تجربی بوده که البته دقت آن‌ها مورد تردید است. در این روش‌ها تعداد پارامترهای مورد استفاده متفاوت بوده است. بعضی روش‌ها از پارامترهای بیشتری استفاده کرده‌اند که از دقت بالاتری برخوردار بوده‌اند. از جمله این روش‌ها به نقل از شریعت‌جعفری (۱۳۷۵) می‌توان از روش مینی‌رد (۱۹۷۷)، رادبروچ و ونت ورس (۱۹۷۱)، استیسونسن (۱۹۷۷)، براب (۱۹۷۲)، نیلسن (۱۹۷۹)، مؤسسه راه ژاپن (۱۹۸۸) و... نام برد.

مطالعه علمی و جامع فرایندهای دامنه‌ای، خصوصاً پدیده زمین‌لغزش، در دنیا به دلایل متعدد یکی از جالب‌ترین موضوعات ژئومورفولوژی است. رسیدن به نتایج مطلوب‌تر به لحاظ پیش‌گیری از خسارت در بخش‌های گوناگون عمرانی و اقتصادی، از جمله در پروژه‌های راه‌سازی، سدسازی، تأسیسات شهری و روستایی و کشاورزی اهمیت فراوان دارد. به همین دلیل روش‌های متفاوتی برای بررسی مناطق مستعد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن ابداع شده است. هدف این پژوهش مروری بر روش‌های بررسی این پدیده طبیعی است که گاه، کم یا بیش، فعالیت‌های انسانی نیز موجب تشدید یا تسریع وقوع آن می‌شود. در راستای این هدف پس از مطالعات کتاب‌خانه‌ای و جمع‌آوری منابع، سعی شده است که روش‌های مطالعه زمین‌لغزه‌ها بر مبنای ماهیت به دو بخش روش‌های تجربی و روش‌های آماری تقسیم و چند روش نسبتاً مهم‌تر یا رایج‌تر انتخاب شوند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، حرکات دامنه‌ای، زمین‌لغزش، پهنه‌بندی.

مقدمه

شکل‌های متفاوت فرسایش، با فرایندها و حرکات دامنه‌ای از مهم‌ترین عوامل تغییر شکل ناهمواری‌ها به‌شمار می‌روند. به محض تشکیل فرآورده‌های هوازدگی و تخریب بر سطح دامنه‌ها، عوامل دما و آب به کمک دخالت نیروی جاذبه فرایندهای فرسایش را موجب می‌شوند. این عوامل بر حسب جنس و نسبت مقاومت سنگ‌ها و در ارتباط با شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی مختلف، فرایندهای دامنه‌ای را به‌صورت لغزش، ریزش، خزش و

مخاطرات محیطی

سعید الفتی، فرهاد صفرپور، مهدی محمودآبادی
دانشجویان دوره کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی دانشگاه بزد

لغزش

زمین



۲. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی: پس از ورود و تشکیل لایه‌های اطلاعات، عملیات گوناگون رایانه‌ای روی آن‌ها انجام شده است. استفاده از سیستم‌های رایانه‌ای و نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی، به عنوان یک ابزار و فناوری، می‌تواند در تسریع کارها و افزایش دقت نقشه‌های تولید شده نقش به‌سزایی داشته باشد. در این مطالعه روش‌های منتخب در دو بخش از نظر ماهیت، یعنی روش‌های تجربی و روش‌های آماری مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

الف) روش‌های تجربی

روش‌های تجربی زیادی در کشورهای جهان برای مطالعه و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها ابداع شده (از جمله؛ مؤسسه راه ژاپن ۱۹۸۸، نیلسن ۱۹۷۹ و ...) که در این میان، روش آنبالاگان و روش نیلسن انتخاب شده و شرح داده می‌شود.

روش آنبالاگان

روش آنبالاگان روش جدیدی است که بر اساس طرح امتیازدهی به عوامل ارزیابی خطر ناپایداری نام‌گذاری شده و به طراحان و مهندسان در انتخاب موقعیت‌های مناسب برای اجرای طرح‌های توسعه در مناطق کوهستانی کمک بزرگ و مؤثری می‌کند. در روش آنبالاگان می‌توان از شیوه کار توگرافیک سنتی در تهیه نقشه‌های عامل روی کاغذ کالک و همپوشانی آن‌ها به منظور تهیه نقشه نهایی براساس امتیازها استفاده کرد. براساس روش آنبالاگان، برای هر کدام از عوامل دخیل در ناپایداری‌ها، امتیازی در نظر گرفته شده است. بیشترین امتیاز براساس نوع عامل، بیشترین میزان ناپایداری را در

خصوص آن عامل نشان می‌دهد و عدد ۱۰ نشانگر مجموع کل امتیازهای تمام عامل‌هاست که معادل بیشترین میزان خطر ناپایداری در واحدها محسوب می‌شود.

برای تهیه نقشه، این روش توسط آنبالاگان ارائه شده است (بلادپس، ۱۳۸۴): ۱. انتخاب واحد کاری؛ ۲. تهیه نقشه‌های عامل؛ ۳. وزن‌دهی مناسب به زیر گروه‌های مختلف تعیین شده در هر نقشه؛ ۴. جمع‌بندی وزن‌های هر واحد و دادن درجه خطر به آن‌ها؛ ۵. ترسیم نقشه پهنه‌بندی برای کل منطقه با استفاده از درجات خطر محاسبه شده.

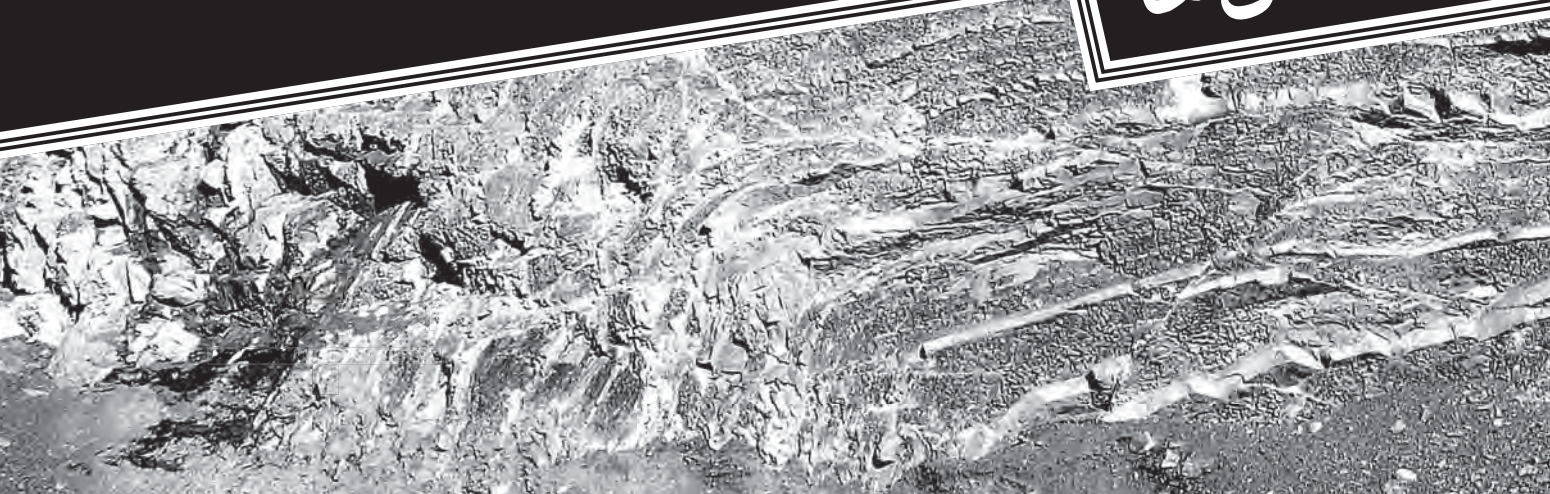
این روش توسط محققان متعددی، از جمله؛ خضری و همکارانش (۱۳۸۵)، بلادپس (۱۳۸۴ و ۱۳۸۳)، امینی‌زاده و ارومیه‌ای (۱۳۷۷)، روستایی (۱۳۸۳)، رضایی‌مقدم و شفیع‌مهر (۱۳۸۶)، در بررسی زمین لغزش‌ها در نواحی گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال خضری و همکارانش (۱۳۸۵) در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب شهرستان سردشت به روش آنبالاگان پرداختند و مراحل زیر را در این تحقیق طی کردند:

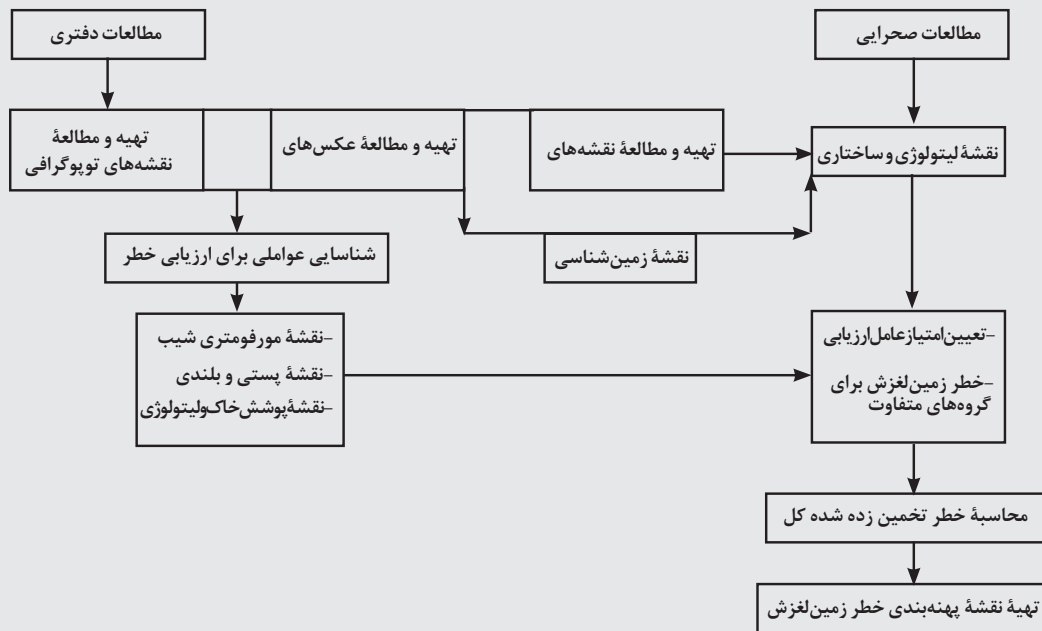
۱. تعیین و تحدید منطقه پژوهش بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی؛
۲. مطالعه و بازدید میدانی و برداشت داده‌های مربوط به ناپایداری دامنه‌ای با GPS و تهیه نقشه ناپایداری‌های کنونی؛
۳. تقسیم‌بندی و تفکیک منطقه با رخساره‌های شیب (با ویژگی‌های مشابهی از لحاظ زاویه شیب و جهت شیب) روی نقشه توپوگرافی بر اساس خصوصیات تقسیم آب‌ها، کشیدگی یال‌ها و

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

انواع روش‌های مطالعه

زنش‌ها





نمودار ۱. فرایند تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش آنبالاگان

جدول ۱. عوامل ناپایداری دامنه‌ها و امتیازدهی آن‌ها براساس روش آنبالاگان

عوامل مؤثر در ناپایداری	لیتولوژی	ساختار زمین‌شناسی	ارتفاع نسبی	کاربری و پوشش زمین	وضعیت آب‌های زیرزمینی	هندسه شیب	جمع کل امتیاز
حداکثر امتیاز	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۱۰

جدول ۲. معیار پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه براساس امتیاز کل بر مبنای روش آنبالاگان

رده‌بندی	۱	۲	۳	۴	۵
جمع امتیاز	کمتر از ۲/۵	۵/۵ - ۳/۵	۵/۱ - ۶	۶/۱ - ۷	بیش از ۷/۵
میزان خطر پهنه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم) و تهیه و ترسیم نقشه پهنه‌بندی مربوط بر اساس موارد گفته شده؛

۷. تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری؛

۸. ارزیابی عوامل مؤثر در ناپایداری و امتیازدهی به آن‌ها.

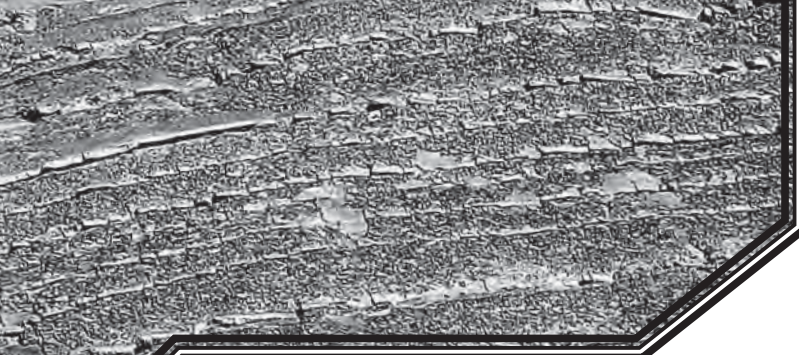
بر اساس نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، درصد سطوح هر کدام از پهنه‌ها به تفکیک در هر کدام از دامنه‌های غربی و شرقی «دره زاب» در منطقه پژوهش، براساس میزان ناپایداری تشریح شد، که بر مبنای آن، ۳۸ درصد منطقه دارای خطر ناپایداری زیاد تا خیلی زیاد و فقط دو درصد از منطقه دارای خطر ناپایداری دامنه‌ای خیلی کم است.

ستیغ‌ها، تالوگ‌ها، رودخانه‌ها و ارتفاعات با تکیه بر عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی و یکدست کردن رخساره‌های شیب با خصوصیات مشابه، به منظور تهیه نقشه واحدهای کاری و فراهم آوردن امکان مطالعه سیستمی، منسجم و منطقی؛

۴. ارزیابی دقیق روابط و نقش عوامل مؤثر در ناپایداری‌ها؛

۵. امتیازدهی به هر واحد بر مبنای نقشه‌های عامل و جدول‌های امتیاز مورد تأکید در روش آنبالاگان و جمع‌بندی امتیازهای هر واحد برای تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری واحدها؛

۶. پهنه‌بندی نهایی منطقه از نظر خطر ناپایداری به پنج دسته (بسیار



روش نیلسن روشی ساده و کاربردی برای ارزیابی ظرفیت خطر زمین لغزش با استفاده از سه پارامتر شیب، جنس مصالح و لغزش‌های قدیمی ارائه داد

بار دیگر از میانگین تفریق می‌شود که نتایج این عملیات در یک دیف از جدولی که از قبل تنظیم شده، ثبت می‌شود و ملاک اصلی برای تعیین دامنه تغییرات پارامترها قرار می‌گیرد. دامنه تغییرات پارامترها در سه طبقه تقسیم‌بندی می‌شود (مثبت، منفی و خنثا). در مرحله بعد، برای تعیین اولویت نواحی و پارامترها، نشانه‌های ردیف‌ها و ستون‌ها چند بار جابه‌جا می‌شوند تا حالت قرارگیری علامت‌ها مناسب‌ترین شکل را پیدا کند (وضعیت مناسب هنگامی است که بیشترین علامت‌ها در اطراف محور یا قطر ماتریسی جدول تجمع یابند که در این صورت جدول نهایی، اولویت پارامترها و نواحی را مشخص می‌کند).

$$X_1 > \bar{X} + \frac{SD}{2} \text{ : طبقه مثبت} \quad X_1 < \bar{X} - \frac{SD}{2} \text{ : طبقه منفی}$$

$$\bar{X} + \frac{SD}{2} < X_1 < \bar{X} - \frac{SD}{2} \text{ : طبقه خنثا}$$

که در آن‌ها داریم: X_1 : پارامتر، SD: انحراف معیار و \bar{X} میانگین امتیاز هر ستون.

سرور (۱۳۸۳)، برای ارزیابی فرایند لغزش در باغ‌های چای نواحی کوهستانی شرق گیلان، به تهیه و هم‌مقیاس کردن نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، کاربری اراضی ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰۰ مربوط به محدوده مورد مطالعه پرداخت. با انطباق نقشه‌ها، برخی داده‌های اولیه را استخراج و نقشه‌های پایه (نقشه-های توپوگرافی، شیب، شبکه زهکشی، زمین‌شناسی، روستاها و باغ‌های چای و ...) را ترسیم کرد و برای سهولت در کارش، ناحیه شرق گیلان را به چهار ناحیه تقسیم و آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتر مورد نیاز را جمع‌آوری کرد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و تقسیم‌بندی عناصر سیستم، با استفاده از روش‌های آماری به بررسی و تحلیل اطلاعات موجود پرداخت و عوامل و عناصری را که به نحوی در ایجاد پدیده زمین لغزش مؤثر بودند، تعیین کرد. پس از آن به منظور اولویت‌بندی عوامل از نظر میزان تأثیر و مکان‌های لغزشی و از نظر فراوانی تعداد رخداد، از روش‌های اسکالوگرام بهره گرفت؛ به نحوی که هر اندازه نقش متغیری در ایجاد لغزش زیادتر بود،

۲. روش نیلسن

نیلسن و همکارانش در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی سریع پایداری شیب-ها در منطقه خلیج سانفرانسیسکو با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و عکس‌های هوایی اقدام به تهیه نقشه ارزیابی خطر پایداری شیب با مقیاس ۱:۱۲۵۰۰۰ کردند [شریفی و دریاباری، ۱۳۸۵]. روش کار او و همکارانش به این شرح است:

۱. تهیه نقشه جامع در گستره‌های شیب؛ ۲. تهیه نقشه نهشته‌های زمین لغزشی؛ ۳. تهیه نقشه واحدهای زمین‌شناسی حساس به گسیختگی؛ ۴. انطباق سه نقشه مذکور و تهیه نقشه‌های پایداری نسبی شیب‌ها که به شش رده تقسیم شد.

روش نیلسن روشی ساده و کاربردی برای ارزیابی ظرفیت خطر زمین لغزش با استفاده از سه پارامتر شیب جنس مصالح و لغزش‌های قدیمی ارائه داد. این روش شیوه‌های مفید در ارزیابی اولیه پایداری شیب‌ها است، لیکن ایراداتی چند بر آن وارد است:

- در روش نیلسن تمامی ته‌نشست‌های لغزشی منطقه با خطر بالا محسوب شده‌اند، درحالی‌که در زلزله منجیل فقط در چند مورد زمین لغزش حادث شده، همان یا بخشی از زمین لغزش‌های قدیمی بوده‌اند.
- رده‌های شیبی پیشنهادی نیلسن متناسب با منطقه مورد مطالعه خود اوست که از توپوگرافی پستی برخوردار بوده است، اما در مناطقی با ناهمواری بیشتر، لازم است که رده‌های شیبی مناسب‌تری انتخاب شوند.
- تقسیم مصالح به سه رده لغزش، مستعد لغزش و نهشته‌های سطحی زمین لغزش، یک تقسیم‌بندی خیلی کلی است.

بنابراین اصلاح آن بدین‌گونه صورت گرفت:

- رده شیبی از سه گروه به چهار گروه رسید.
- زمین لغزه‌های قدیمی بر اساس مقدار به دو رده و زمین لغزه‌های شیب کمتر از ۳۰ درجه، در گروه خطر بالا طبقه‌بندی شدند.

- در این رده‌بندی، دامنه‌های با شیب بیش از ۳۰ درجه، صرف‌نظر از جنس سنگ مستعد وقوع سقوط سنگی و یا خاکی در نظر گرفته شده‌اند.
- پنج رده تقسیم‌بندی نیلسن در این سیستم به هفت رده افزایش یافت [شریفی و دریاباری، ۱۳۸۵].

ب) روش‌های آماری ۱. روش اسکالوگرام

از این روش، به منظور اولویت‌بندی عوامل از نظر میزان تأثیر و مکان‌های لغزشی، و از نظر فراوانی تعداد رخداد، استفاده می‌شود. در روش اسکالوگرام، به متغیرهای مؤثر بر زمین لغزش‌ها امتیاز مناسب داده می‌شود؛ به نحوی که هر اندازه نقش متغیری در ایجاد لغزش زیادتر باشد، امتیازی بیشتری به آن تعلق می‌گیرد و برعکس. میانگین امتیازات داده شده در هر ستون محاسبه و به عنوان ضرایب لغزش پارامترها ثبت می‌شود. آن‌گاه، انحراف معیار و نصف مقدار آن محاسبه و در هر ستون گنجانده می‌شود. سپس نصف انحراف معیار یک بار با میانگین جمع و

در روش آماری دو متغیره، وقوع زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته و هریک از عوامل محیطی مؤثر در این پدیده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می شوند

امتیازی بیشتری به آن تعلق گرفت و برعکس. او در نهایت با بهره-گیری از این روش توانست مهمترین مکان های لغزشی در باغ های چای و تمام نواحی شرق گیلان را نشان دهد.

۲. روش رگرسیون

تاکنون مطالعات فراوانی در ایران به منظور بررسی و مطالعه زمین لغزش ها مانند پهنه بندی خطرات زمین لغزش ها و مطالعات دیگر مربوط به این پدیده، با استفاده از روش های گوناگون رگرسیونی (اعم از چند متغیره، دو متغیره، خطی، لاجستیک و...) صورت گرفته اند که می توان به کارهای ماتسو و راوت (۲۰۰۹)، لی و همکارانش (۲۰۰۷) بیاتی خطیبی (۱۳۸۵ و ۱۳۸۶)، جوکار سهرنگی (۱۳۸۶)، شیرانی و همکارانش (۱۳۸۵)، جباری و میر نظری (۱۳۸۶)، محمودی و کرم (۱۳۸۴)، مقیمی (۱۳۸۴)، مهدوی فر و همکارانش (۱۳۸۰) و ملکی و قربان پور (۱۳۸۷) اشاره داشت. در ادامه کوشیده ایم مختصر شرحی در مورد بعضی از این روش ها بدهیم:

روش آماری رگرسیون دو متغیره: در روش آماری دو متغیره، وقوع زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته و هریک از عوامل محیطی مؤثر در این پدیده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می شوند. اهمیت هر عامل در ارتباط با ناپایداری دامنه ها مستقل از دیگر عوامل، مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد و از فراوانی داده ها (مثل سطح لغزش یافته و با تعداد زمین لغزش های رخ داده در یک ناحیه) برای محاسبه احتمال وقوع استفاده می شود.

مثلاً شیرانی و همکارانش (۱۳۸۵)، در بررسی و ارزیابی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش، از هشت عامل از جمله لیتولوژی، فاصله از گسل، حداکثر شتاب افقی زلزله و... استفاده کردند و برای این کار در محیط Ilwis ابتدا با قطع هر نقشه عامل با نقشه زمین لغزش ها، تراکم سطحی زمین لغزش در هر رده متغیر را محاسبه کردند. سپس با محاسبه ارزش اطلاعات برای هر رده متغیر، به ثبت مقدار ارزش اطلاعات برای

هر عامل اقدام کردند و در نهایت با جمع جبری نقشه های ارزش اطلاعات عوامل و طبقه بندی نقشه به دست آمده از مراحل قبل، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را آماده ساختند.

مدل آماری رگرسیون چند متغیره: در تحلیل چند متغیره، متغیرهای مورد استفاده در بررسی زمین لغزش در برخی مواقع کمی (شیب، بارندگی و...) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، پوشش گیاهی و...) هستند. از آن جا که در روش های آماری از داده های کمی استفاده می کنند، لذا لازم است داده های کیفی به کمی تبدیل شوند.

مدل آماری تحلیل میزگی: این روش چند متغیره آماری، با استفاده از توابعی بر حسب مقادیر متغیرهای مستقل، امتیازی را برای عضویت در هر گروه محاسبه می کند. به عبارت دیگر، با استفاده از معادله خطی که بهترین تفکیک را بین دو گروه واحد زمینی ناپایدار (کد یک) و واحد زمینی پایدار (کد صفر) به وجود می آورد، به پهنه بندی خطر زمین لغزش می پردازد.

مدل رگرسیون لاجستیک: در مدل رگرسیون لاجستیک، متغیر وابسته که وقوع یا عدم وقوع حرکت توده ای است، به صورت دو حالت صفر (عدم وقوع) و یک (وقوع) بیان می شود. در این مدل، احتمال وقوع حرکت دامنه ای و زمین لغزش در هر سلول یا شبکه نقشه ای نشان داده می شود که مقادیر آن به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل برآورد می گردد. چنان چه X معرف برداری از داده های طیفی و محیطی یک سلول یا شبکه نقشه ای باشد، مدل هم بستگی به صورت زیر بیان می شود:

$$Y(X) = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

که در آن $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ معرف ویژگی های طیفی و محیطی مربوط به هر سلول یا شبکه نقشه ای است. پس از محاسبه $Y(X)$ برای هر یک از شبکه های نقشه ای، مقادیر مربوط به احتمال وقوع حرکت توده ای و زمین لغزش در دامنه ای از صفر (عدم وقوع) تا یک (وقوع) برای هر شبکه نقشه ای از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P(i|x) = \frac{\text{EXP}(B_1 + B_2 X_1 + \dots + B_n X_n)}{1 + \text{EXP}(B_1 + B_2 X_1 + \dots + B_n X_n)}$$

که در آن، B ضریب متغیر و X متغیر مستقل است. در این مدل مقادیر تخمین به صورت منحنی لاجستیک (منحنی S شکل) است.

مدل رگرسیون خطی: با در دست داشتن مقادیر X_i معین (متغیر مستقل) مقدار Y_i یا متغیر وابسته را می توان به صورت خطی برآورد کرد. مدل کلی تابع رگرسیون به صورت معادله زیر است:

$$Y_i = B_1 + B_2 X_{i1} + \dots + B_n X_{in}$$

که در آن، Y_i : خمین متغیر وابسته، B_1 : ضریب ثابت یا عرض از مبدأ، B_2 : ضریب متغیر X_1 ، و X_i : متغیر مستقل است.

۳. روش تحلیل سلسله مراتبی یا قضاوت کارشناسی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش های رایج در پهنه بندی خطر زمین لغزش و هم چنین، یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است. در این روش، افزون بر امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن

در حوضه آبریز چالکروند تنکابن، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، این مراحل را لحاظ کردند: آن‌ها در انجام این پژوهش از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰/۰۰۰ و ۱:۴۰/۰۰۰ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۲ مرکز سنجش از دور، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰/۰۰۰ و ۱:۵۰/۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، و مجموعه منابع اطلاعات علمی در زمینه آب و هوا، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، و یافته‌های مطالعاتی و پژوهشی در ارتباط با موضوع پژوهش استفاده کردند. برای پهنه‌بندی نیز با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، عناصر هر سطح را با عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آن‌ها را محاسبه کردند. این وزن‌ها را وزن نسبی نامیدند و با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه را مشخص کردند که وزن مطلق نام گرفت.

یکی از مزایای روش تحلیل سلسله‌مراتبی این است که در آن، عوامل مؤثر در بروز پدیده زمین‌لغزش، از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین‌لغزش، اولویت‌بندی می‌شوند؛ به طوری که از این طریق، می‌توان به نتایج مطمئن‌تری دست یافت. افزون بر این، از آن‌جا که در این روش به دلیل اهمیت و شیوه‌های محاسباتی لحاظ شده در آن می‌توان عوامل زیادتری را در رخداد پدیده‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و مانند آن دخالت داد، از این‌رو این روش می‌تواند روش جامع‌تر و کامل‌تری در مقایسه با سایر روش‌های متداول به ویژه در رابطه با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش باشد.

یکی از مزایای روش تحلیل سلسله‌مراتبی این است که در آن، عوامل مؤثر در بروز پدیده زمین‌لغزش، از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین‌لغزش، اولویت‌بندی می‌شوند.

۴. عملگرهای

منطق فازی

این روش طبق سلیقه می‌تواند هم در میان روش‌های هوش مصنوعی و هم در میان روش‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد که در این‌جا در میان روش‌های آماری مطرح شده است.

منطق فازی به زبان ساده

فازی^۱ به معنای غیر قطعی، سیال، ناواضح و مبهم است. اگر یک مجموعه قطعی نباشد، دارای درجه‌ای از فازی بودن است که در آن مرزها به صورت مبهم ترسیم می‌شوند. هر چه مرزها مبهم‌تر باشند، آن مجموعه

انواع معیارهای کمی و کیفی درباره موضوع یا مسئله مورد نظر نیز وجود دارد. مزیت اصلی AHP آن است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا یک مسئله پیچیده را به صورت ساختار سلسله‌مراتبی بشکنند و سپس به حل آن بپردازند. وزن معیار تصمیم‌گیری و گزینه‌های متفاوت با توجه به مقایسه تنها دو عنصر در هر مرحله به دست می‌آید. برای بیان میزان ترجیح دادن یک عنصر بر عنصر دیگر، از عبارات غربالی، مقیاس عددی یا نمودارهای ستونی استفاده می‌شود که به سهولت به محاسبات کمک می‌کنند. هم‌چنین، ماهیت تحلیل AHP منطق شفاف و واضحی برای انتخاب گزینه‌های مختلف به وجود می‌آورد. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود. این وزن‌ها را «وزن نسبی» می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود که آن را «وزن مطلق» می‌نامیم. همه مقایسه‌ها به صورت زوجی انجام می‌گیرند. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد و به گونه‌ای که اگر عنصر a با b مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت a بر b یکی از حالات به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. مقیاس مقایسه دوه‌دور مدل سلسله‌مراتبی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
۷	ترجیح یا مطلوب خیلی قوی
۵	ترجیح یا مطلوب قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا مطلوبیت کمتر یا کمی مهمتر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

منبع: شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵.

این روش مبتنی بر تجزیه مسائل پیچیده به سلسله‌مراتب است که در رأس آن‌ها هدف کلی قرار دارد. AHP روش ساده‌مناسبی برای عملیات اصلی روی ماتریس هاست. با ایجاد سلسله مراتب مناسب و پردازش گام‌به‌گام، و ساخت ماتریس‌های مقایسه‌ای در سطوح متفاوت سلسله مراتب، AHP مقادیر ویژه آن را محاسبه می‌کند، و با ترکیب مقادیر ویژه، ضرایب وزنی گزینه‌های متفاوت را به دست می‌آورد. این روش نیز توسط محققان و معمولاً همراه با روش‌های دیگر پهنه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله شادافر و همکارانش (۱۳۸۶)، جباری و میرنظری (۱۳۸۶)، ملکی و قربان‌پور (۱۳۸۷)، علیجانی و همکارانش (۱۳۸۶)، و احمدی و همکارانش (۱۳۸۳) از آن استفاده کرده‌اند. مثلاً شادافر و همکارانش (۱۳۸۶) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

فازی تر به حساب می آید. برای مثال، وقتی می گوئیم هوای اتاق سرد است یا گرم است، با یک قطعیت گفته ایم که هوا سرد یا گرم است، اما منطق فازی می گوید چه درجه ای از سرد یا گرم بودن و می بینیم که قطعیتی در این قضاوت وجود ندارد.

گذری بر تاریخچه منطق فازی

تئوری مجموعه های فازی و منطق فازی را اولین بار پرفسور **لطفی زاده** (لطفعلی عسکرزاده) در رساله ای به نام «مجموعه های فازی: اطلاعات و کنترل» در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرایند پردازش زبان های طبیعی بود. او مفاهیم و اصطلاحاتی هم چون مجموعه های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی کرد. در هر مجموعه فازی مانند A ، وابستگی یک عضو (X) از مجموعه مرجع آن، از طریق عضویت آن، به صورت یک رابطه تعریف می شود.

اشتراک فازی

با توجه به این که در عملگر اشتراک فازی، اشتراک بین عوامل در مدل وارد می شود، ابتدا عامل های مؤثر با استفاده از روند تغییرات هیستوگرام منحنی، طبقه بندی، و طبقات عوامل بر مبنای درصد لغزش رخ داده در هر طبقه، بین صفر و یک وزن دهی می شوند. در مرحله بعد، نقشه های وزنی هر عامل را می سازند و از اشتراک آن ها، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حاصل می آید. در نهایت از تلفیق نقشه حاصل آمده با نقشه پراکنش زمین لغزش ها، درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه بندی زمین لغزش به روش اشتراک فازی به دست می آید.

ضرب جبری فازی

در ضرب جبری فازی، تمامی عوامل وزنی مؤثر در وقوع زمین لغزش در هم ضرب می شوند و چون تمام وزن های داده شده به کلاس های متفاوت، عوامل مؤثر بین اعداد صفر و یک هستند، در نقشه حاصله اعداد کوچک می شوند و به سمت صفر میل می کنند.

جمع جبری فازی

در جمع جبری فازی متمم مجموعه ها محاسبه می شود. به همین دلیل در نقشه خروجی، بر خلاف ضرب جبری فازی ارزش ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل ها به سمت یک میل می کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در طبقه دارای خطر قرار می گیرد. پس از تلفیق نقشه های طبقه بندی شده، بر اساس روابط حاکم بر عملگر جبر فازی با نقشه پراکنش زمین لغزش ها، درصد و مساحت طبقات متفاوت نقشه پهنه بندی زمین لغزش به دست می آید.

فازی گاما

به منظور تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت

خیلی کم فازی جمع، عملگر دیگری به نام «فازی گاما» معرفی شده است که به صورت حدفاصل بین این دو عملگر عمل می کند. در ضمن، محدوده تغییرات بین صفر و یک است. هم چنین، نمایه دیگری به نام نمایه «جمع کیفی» (QS) نیز در این عملگرها وجود دارد که شامل یک سلسله روابط ریاضی می شود. برای اطلاع از جزئیات بیشتر نمایه های فوق به اصل مقاله «عبادی نژاد و همکاران، ۱۳۸۶» مراجعه فرمایید.

عبادی نژاد و همکارانش (۱۳۸۶)، در پژوهشی به ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرو در پرداختند. وی و همکارانش نقشه های توپوگرافی تنکابن، سیره-سر و لاکترانشان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی قزوین-رشت با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، عکس های هوایی با مقیاس های ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۷۳ و ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۸۰، تصاویر ماهواره ای ETM+ سال ۲۰۰۲ و دستگاه GPS را مورد استفاده قرار دادند و از روش های فوق در این بررسی استفاده کردند. در نهایت آن ها نتیجه گرفتند که هر کدام از عملگرهای فازی به نحوی دارای نقص اند و دقت مناسب و کافی را ندارند. با توجه به اختلاف فاحش بین نتیجه جمع جبری فازی و ضرب فازی، برای رسیدن به نتیجه مناسب تر، از فازی گاما که حدفاصل این دو عملگر است، استفاده کردند. این مدل (فازی گاما)، مناسب ترین روش برای دستیابی به هدف این تحقیق تشخیص داده شد.

نتیجه

پس از بررسی تحقیقات صورت گرفته در مورد پدیده زمین لغزش و روش های مطالعه آن، چند روش انتخاب و از نظر ماهیت به دو دسته تقسیم شدند:

۱. **روش های تجربی:** بعضی از این روش ها چون روش های نیلسن و آنبالاگان، مبتنی بر امتیازدهی به عوامل مؤثر در وقوع این پدیده و در نهایت تهیه نقشه خطر منطقه است.

۲. **روش های آماری:** روش اسکالوگرام بر اساس متغیرهای مؤثر بر زمین لغزش، روش های رگرسیونی، روش هایی کاملاً آماری، و روش تحلیل سلسله مراتبی بر پایه عملیات ریاضی (ماتریس ها) می توانند صورت گیرند و روش منطق فازی بر پایه استدلالات ریاضی استوار است. این روش ها برای مناطقی با شرایط طبیعی خاص تعریف شده اند و با توجه به هدف، مقیاس، محتوا، تجارب محقق و تکنیک و فناوری مورد استفاده، از دقت و صحت متفاوتی برخوردارند. استفاده از این روش ها برای مناطق مشابه (از مجموعه عوامل طبیعی حاکم بر منطقه مثل شرایط اقلیمی و زمین شناسی) مستلزم تطبیق شرایط و یا تصحیح روش ها در صورت لزوم است. **قدردانی:** با تشکر از آقای دکتر **داریوش مهرشاهی**، استادیار گروه جغرافیای دانشگاه یزد، آقای دکتر **علی طالبی**، استادیار گروه منابع طبیعی دانشگاه یزد و آقای دکتر **ابرج جباری**، دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه رازی به دلیل راهنمایی های بی دریغ و در اختیار گذاشتن برخی منابع.

بی نوشت

1. fuzzy