



# بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای با استفاده از

## روش رگرسیون چندمتغیره

### (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز آیدر)

گشین مردوخ پور<sup>۱</sup> - دکتر بهارک معتمد وزیری<sup>۲</sup>

#### چکیده

از جمله اقدامات اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مدیریت حرکت‌های توده‌ای، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع این پدیده است. از این رو تحقیق حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده‌ی حرکت توده‌ای در حوزه‌ی آبخیز پارک جنگلی آیدر به وسعت ۲/۸ کیلومتر مربع صورت گرفته است. با استفاده از بازدیدهای میدانی تفسیر عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، سیستم موقعیت یاب جهانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز نظیر نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و ریزش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی، خاکشناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده‌ها و فاصله از گسل‌ها، طبقات ارتفاعی، زاویه شیب، جهت شیب و هم‌چنین با استفاده از آمار بارندگی و تهیه‌ی گرادیان بارش و بارندگی متوسط سالیانه حوضه تهیه شده است. از آنجایی که پدیده‌های طبیعی نظیر حرکت توده‌ای، ناشی از عملکرد همزمان با اثر متفاوت چند متغیره هستند؛ با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره‌ی خطی، با در نظر گرفتن پارامترهای درصد حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مختلف محاسبه شده، به عنوان متغیر مستقل، بهترین مدل آماری رگرسیون خطی جهت پیش‌بینی وقوع حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری از روی سطح معنی‌داری و ضریب همبستگی مدل انتخاب شد. نتایج حاکی از این است که مناطق نزدیک به جاده‌ها، گسل‌ها و آبراهه‌ها، مناطق دارای خاک‌های راندزین فرسایش یافته و مناطق دارای سازند زمین‌شناسی محتوی سیلت سنگ، شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا، مستعدترین مناطق جهت وقوع پدیده لغزش، و مناطق نزدیک به جاده‌ها، گسل‌ها و آبراهه‌ها، مناطق دارای خاک‌های قهوه‌ای آهکی و مناطق دارای سازندهای زمین‌شناسی محتوی لایه‌های سنگ آهکی، مستعدترین مناطق برای وقوع ریزش هستند. در حالی که مناطق دارای کاربری جنگل با پوشش ۲۵ تا ۵۰ درصد، مناطق پایدار در مقابل هردو نوع حرکت توده‌ای می‌باشند.

#### واژه‌های کلیدی :

حرکت‌های توده‌ای زمین، لغزش، ریزش، رگرسیون چند متغیره خطی، پارک جنگلی آیدر.

۱. کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

## مقدمه

بلایای طبیعی، به عنوان بزرگترین دشمن طبیعی انسان، باعث کشته و مجروح شدن سالانه صدها هزار تن و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شوند. از این رهگذر، حرکت توده‌ای به عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان، دارای اهمیت خاصی است، خصوصاً که با افزایش جمعیت و اسکان در مناطقی که مستعد حرکت توده‌ای هستند، آمارهای جهانی تلفات و خسارات مالی ناشی از این پدیده‌ها، پیوسته در حال افزایش است.

در کشوری با شرایط متنوع زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب و هوایی و کاربری اراضی چون ایران که از لحاظ سائزموکتونیک (لرزه‌ای ساختمانی) یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین‌خوردگی آلپ هیمالیا می‌باشد، حرکت توده‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پدیده همه ساله در اکثر استان‌های کشور، سبب وارد آمدن خسارت‌های اقتصادی به جاده‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج و پالایش نفت و گاز، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی و موجب تخریب جنگل‌ها، مراتع و اراضی کشاورزی، تسریع فرسایش و انتقال گسترده رسوبات به پشت سدها می‌شود. با توجه به این مسائل، به جرأت می‌توان گفت از جمله حساس‌ترین و مهمترین مسائل در پروژه‌های عمرانی، مطالعه‌ی پایداری دامنه‌ها است. بنابراین با شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای می‌توان کمک مؤثری در تدوین برنامه‌ی مدیریت خطر و کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده نمود (۲). از انواع حرکات توده‌ای می‌توان به ریزش و لغزش اشاره نمود که ریزش عبارت است از ریزش یکجای قسمتی از مواد به صورت یک توده در روی یک دامنه با شیب تند و لغزش در نتیجه حرکت مواد بر روی دامنه است که در اثر عمل آب و نیروی ثقل ایجاد می‌شود.

آیالو و یاماگاشی<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، در حوزه‌های آبخیز کاکودا و یاهی‌کی (در مرکز ژاپن) با استفاده از روش آماری چند متغیره، لایه‌های اطلاعاتی نظیر زاویه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، لیتولوژی و فاصله از جاده را تهیه و وارد مدل کردند. نتایج نشان داد فاصله از جاده نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع حرکت‌های توده‌ای دارد. معتمدوزیری و کورکی‌نژاد (۲۰۰۶)، با استفاده از روش آماری چند متغیره در حوزه سیاه رودبار واقع در استان گرگان به این نتیجه رسیدند که بین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای از قبیل عوامل زمین‌شناسی، سنگ-شناسی، شیب، گسل، زمین‌لرزه، مقدار و شدت بارندگی، جاده و رودخانه، عوامل شیب، گسل، جاده و رودخانه نقش بیشتری را در وقوع حرکت‌های توده‌ای ایفا می‌نمایند. چانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از روش آماری

1. Ayalu and yamaghashi

2 . Chang



چند متغیره علل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای را در حوزه‌ی آبخیز هوشه (در مرکز تایوان) بررسی کردند. نتایج حاکی از این بود که مناطق نزدیک به آبراهه‌ها، مناطق دور از خط‌الرأس‌ها، مناطق واقع در بخش غربی حوزه‌ی آبخیز و مناطق دارای سازندهای زمین شناسی محتوی لایه‌های شیل و ماسه سنگ، مستعدترین مناطق جهت وقوع حرکت‌های توده‌ای هستند. سانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای را در حوزه‌ی آبخیز سابا (واقع در شهر فوکویی ژاپن) به مساحت ۱۰۲ کیلومتر مربع بررسی کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که کاربری اراضی نقش مهمی در توزیع حرکت‌های توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه ایفا می‌نماید؛ به نحوی که اغلب حرکت‌های توده‌ای منطقه در علفزارها، اراضی لخت و جنگل‌های تخریب شده رخ داده‌اند. عوامل دیگر نظیر ارتفاع از سطح دریا، درجه‌ی شیب، جهت شیب و شکل شیب، اهمیت کمتری از لحاظ وقوع حرکت‌های توده‌ای داشتند.

کمپ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، عوامل مؤثر در وقوع حرکت توده‌ای به وقوع پیوسته در منطقه‌ی کشمیر پاکستان را بررسی نمودند و تأثیر عوامل، لیتولوژی، گسل، درجه‌ی شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، پوشش زمین، آبراهه و جاده بر روی پراکنش حرکت‌های توده‌ای در منطقه را ارزیابی کردند. نتایج حاکی از این بود که لیتولوژی بیشترین تأثیر را بر روی وقوع حرکت‌های توده‌ای دارد و اغلب حرکت‌های توده‌ای در سازندهای از جنس شیل، اسلیت، آهک و دولومیت شدیداً درز و شکافدار اتفاق افتاده‌اند. علاوه بر این، اغلب حرکت‌های توده‌ای، در دامنه‌های جنوبی و در ارتفاع متوسط، در بوته‌زارها و علفزارها و در امتداد رودخانه‌ها و جاده‌ها رخ داده‌اند. نفلسلیوگلو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از روش آماری چند متغیره، عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای را در حوزه‌ی آبخیز ایسپیر (واقع در شمال شرقی ترکیه) بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که درجه‌ی شیب، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده‌ها مهمترین عوامل در وقوع حرکت‌های توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. این در حالی است که عامل کاربری اراضی، ارتباط معنی‌داری با وقوع حرکت‌های توده‌ای ندارد. تنگستانی<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، در حوزه‌ی آبخیز کاکان (واقع در شمال غربی شیراز) به این نتیجه دست یافت که مناطق پرخطر حرکات توده‌ای در دامنه‌های شمالی و غربی منطقه که دارای شیب نسبتاً زیاد و خاک عمیق هستند و جنس سازند آن‌ها مارن و شیل می‌باشد واقع شده‌اند.

گرایی (۱۳۸۶) درحوزه‌ی آبخیز لاجیم رود با استفاده از روش آماری چند متغیره مهمترین عوامل مؤثر در

1 . Sang

2 . Kamp

3 . Nefleslioglu

4 . Tangestani

وقوع حرکت‌های توده‌ای را زمین‌شناسی، درجه‌ی شیب، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده معرفی کرد. بهشتی‌راد (۱۳۸۷)، در حوزه‌ی آبخیز الموت رود عوامل زمین‌شناسی، مقدارشیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، جهت شیب و کاربری اراضی را مهمترین عامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه دانست. اسحاقی (۱۳۸۸) در حوزه‌ی آبخیز صفا رود با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای را سازند زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و رودخانه، ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب و بارندگی معرفی نمود. دانا (۱۳۸۹)، با استفاده از روش آماری چند متغیره در حوزه‌ی آبخیز گرمی چای اردبیل، عوامل زمین‌شناسی، نوع سازند، درجه شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، را مهمترین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای معرفی کرد. هدف از تحقیق حاضر شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای منطقه و برآورد میزان تاثیر نسبی هر کدام از عوامل با استفاده از روش آماری چندمتغیره است.

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات منطقه‌ی مورد مطالعه

پارک جنگلی آیدر، در رشته کوه زاگرس در حاشیه‌ی جنوب غربی شهرستان سنندج با ارتفاعی حدود ۲۵۵۰ متر قرار گرفته و یکی از تفرجگاه‌های اصلی مردم شهر سنندج به شمار می‌رود (شکل ۱).  
حوضه‌ی مورد مطالعه دارای ۲/۸ کیلومترمربع وسعت، ۱۸۰۰ متر ارتفاع متوسط و ۳۹/۷۲ درصد متوسط شیب وزنی می‌باشد و تحت تاثیر دو جریان مدیترانه‌ای و جریان پرفشار (سیبریائی) قرار دارد. از نظر ساختمانی در زون سنندج - سیرجان جای دارد و سازندهای منطقه Kpf (لایه‌های فلیش ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک با لایه‌های آتشفشانی و بازالت)، Ktl (توالی یکنواخت از آهک، ماسه سنگ و کنگلومرای خاکستری تیره)، Kul (سنگ آهک کرم رنگ و سنگ بسترآهکی خاکستری متبلور شده اوایل پالئوسن)، Kss (سنگ لوح سیاه و فیلیت (شیل سنندج)، سیلت و سنگ آهک ماسه‌ای)، Ktsc (لایه‌های یکنواخت شیل و آهک خاکستری تیره)، Kvc (بازالت، بلور سنگی توف و لایه‌های توف قرمز و سبز، سیلت سنگ و ماسه سنگ و لایه‌های قرمز چرت) می‌باشد. کاربری اراضی نیز شامل جنگل با تاج پوشش ۵ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ درصد و مرتع می‌باشد و کاربری مرتع بیشترین مساحت منطقه را در بر گرفته است.



حضور سایه‌ی درختان و پستی و بلندی‌ها در عکس و جدید بودن حرکت‌های توده‌ای به وقوع پیوسته، در نقشه‌ی اولیه وجود داشت، رفع و نقشه تکمیل گردید. در مرحله‌ی بعد، عکس‌های هوایی در محیط نرم افزار Arc-GIS زمین مرجع شده و نقشه‌ی پراکنش حرکت‌های توده‌ای حوضه تهیه شد.

### تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

با استفاده از نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی، بازدیدهای صحرایی، عکس‌های هوایی، سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی حوضه، نقشه شبکه جاده‌ها، فاصله از جاده‌ها، شبکه آبراهه‌ای، فاصله از آبراهه‌ها، مقدار شیب، جهت شیب، هیپسومتری، سازندهای زمین‌شناسی حوضه، محدوده گسل‌های حوضه، فاصله از گسل، کاربری اراضی، خاکشناسی و نقشه‌ی ژئومورفولوژی که شامل رخساره‌های فرسایشی منطقه هست تهیه گردید؛ هم‌چنین با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه‌های اطراف منطقه‌ی مورد مطالعه و تهیه‌ی گرادیان بارش، نقشه‌ی همباران متوسط سالانه تهیه و در نهایت با تلفیق سه نقشه‌ی شیب، زمین‌شناسی و رخساره‌های فرسایشی نقشه واحدکاری تهیه شد.

### نحوه‌ی ارزیابی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره

پس از بررسی و مطالعه‌ی منابع و تحقیقات انجام شده در مورد شناسایی عوامل موثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای، برای تعیین عوامل موثر حرکت‌های توده‌ای به وقوع پیوسته در پارک جنگلی آبدار، از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. این روش، امکان تحلیل هم‌زمان اثر تعدادی متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته را فراهم می‌نماید. از آنجا که پدیده‌های طبیعی نظیر حرکت توده‌ای، ناشی از عملکرد هم‌زمان و با اثر متفاوت چند متغیره هستند؛ استفاده از روش‌آماری چند متغیره، مناسب است. در این روش، یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل، به طور هم‌زمان تجزیه و تحلیل می‌شوند. متغیر وابسته نقشه‌ی پراکنش حرکت توده‌ای (نشان دهنده میزان خطر حرکت‌های توده‌ای) است و متغیرهای مستقل شامل لایه‌های اطلاعاتی سازند زمین‌شناسی، میزان شیب، طبقات ارتفاعی، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، متوسط بارندگی سالانه، رخساره‌ی فرسایشی، خاک می‌باشد. در تحقیق حاضر نقشه‌ی پراکنش خطر لغزش و ریزش تهیه شده، بنابراین قبل از هر کاری، به تفکیک نوع حرکت توده‌ای، مدل رگرسیون چند متغیره تهیه گردیده است. مراحل انجام روش رگرسیون چند متغیره و تهیه مدلی به شرح ذیل است:

۱- تبدیل نقشه‌ی پراکنش حرکت‌های توده‌ای به نقشه‌ی درصد تراکم سطحی در هر واحد کاری

۲- کمی نمودن نقشه‌های کیفی به ازای کلاس‌های مختلف در هر واحد کاری

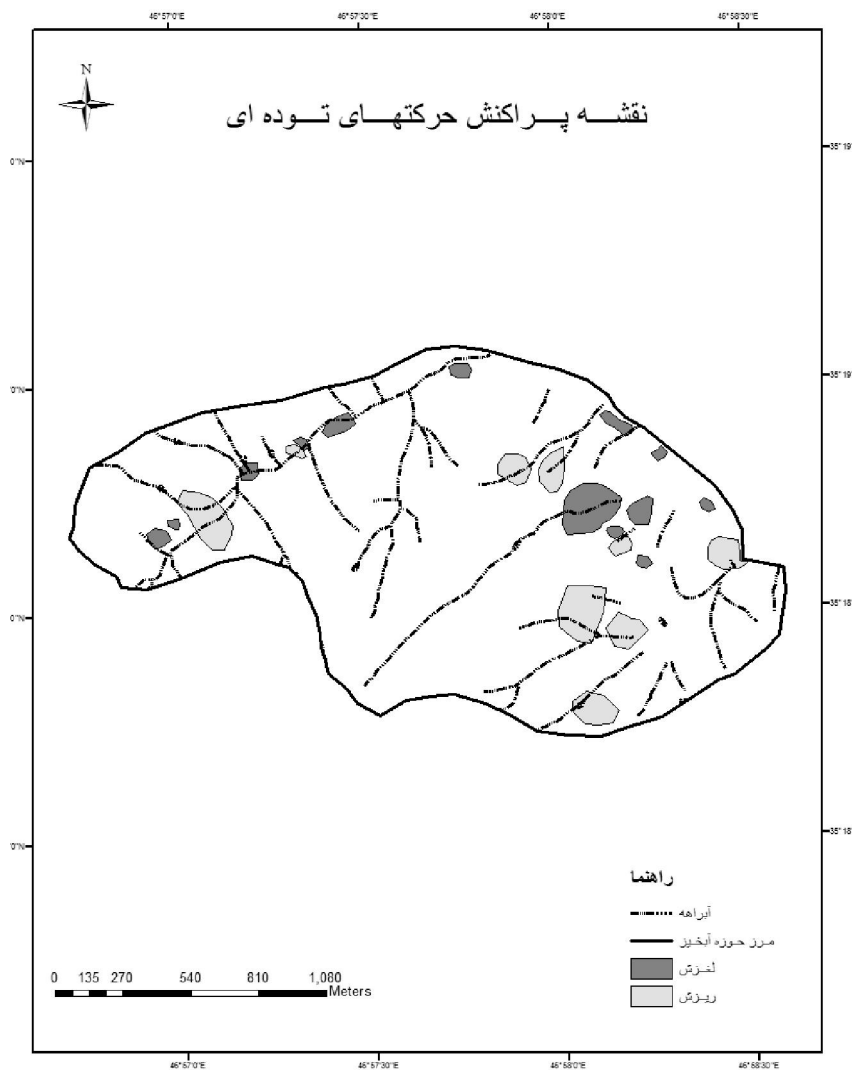
۳- محاسبه‌ی مقادیر متوسط هر یک از نقشه‌های کمی در هر واحد کاری

۴- ورود اطلاعات به نرم افزار Spss16 و انجام مدل رگرسیون خطی چند متغیره با در نظر گرفتن پارامتر حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری به عنوان متغیره وابسته و پارامترهای مختلف محاسبه شده به عنوان متغیر مستقل در مدل.

۵- انتخاب بهترین مدل آماری رگرسیون خطی برای پیش بینی وقوع حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری از روی سطح معنی داری و ضریب همبستگی مدل.

## نتایج تحقیق

به دنبال بازدیدهای صحرائی و تفسیر استریوسکوپی عکسهای هوایی حوضه، نقشه‌ی پراکنش حرکت‌های توده‌ای حوزه‌ی آبخیز پارک جنگلی آیدر تهیه شد. برای انجام مدل رگرسیون چند متغیره از برنامه SPSS و روش گام به گام یا Stepwise استفاده گردید. وارد کردن اطلاعات به نرم افزار SPSS و انجام مدل رگرسیون خطی چند متغیره با در نظر گرفتن پارامترهای درصد حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مختلف محاسبه شده به عنوان متغیر مستقل بهترین مدل آماری رگرسیون خطی برای پیش بینی وقوع حرکت‌های توده‌ای در هر واحد کاری از روی سطح معنی داری و ضریب همبستگی مدل انتخاب شد. متغیرها باید به صورت کمی باشند بنابراین برای کمی کردن عوامل و وزن‌دهی آنها از درصد سطح لغزش یافته در واحدهای مختلف استفاده شد و متغیرهای کیفی را به صورت عددی صفر و یک ارزش گذاری و وزن دهی نموده و کمی می‌شوند. روش گام به گام در نرم افزار SPSS بدین صورت است که از روی سطح معنی داری و ضریب همبستگی، عوامل معنی دار باقی می‌ماند و عوامل غیرمعنی دار حذف می‌شوند و این عمل حذف کردن تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای آزمون معنی داری به پنج درصد برسد و عوامل مؤثر باقی می‌ماند. در بین عوامل مؤثر، عوامل مهم‌تر نیز با توجه به بزرگی ضرایب مشخص می‌شوند. بنابراین نتایج به دست آمده از این روش نشان داد که از بین پارامترهای وارد شده به مدل، به ترتیب فاصله از گسل، فاصله از جاده، سازند زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، خاک، کاربری اراضی مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل در وقوع ریزش و عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، سازند زمین‌شناسی، کاربری اراضی، خاک، به ترتیب مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل در وقوع لغزش هستند.



شکل شماره ۲- نقشه پراکنش کلیه حرکت‌های توده‌ای در منطقه

در مرحله‌ی بعد با استفاده از این عوامل به عنوان متغیر مستقل ( $X_n$ ) و درصد سطحی حرکت‌های توده‌ای به عنوان متغیر وابسته ( $Y$ ) بهترین معادله در روش گام به گام به شکل زیر تعیین شده است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد یعنی با اطمینان ۹۵ درصد رابطه‌ی رگرسیونی به‌دست آمده را تایید می‌نماید. این رابطه بین عوامل و خطر ریزش به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Y = 1/276 - 0/269x_1 - 0/307x_2 + 0/30x_3 - 0/416x_4 - 0/234x_5 + 0/244x_6$$

که در آن  $Y$  عدد خطر حرکت توده‌ای (متغیر وابسته)،  $X_1$  فاصله از آبراهه،  $X_2$  فاصله از جاده،  $X_3$  سازند زمین‌شناسی (KPF)،  $X_4$  فاصله از گسل،  $X_5$  کاربری اراضی از نوع جنگلی با پوشش ۲۵-۵۰ درصد،  $X_6$  خاک از نوع راندزین فرسایش یافته (متغیرهای مستقل) می‌باشد.

هم‌چنین رابطه‌ی رگرسیونی به‌دست آمده بین عوامل و خطر لغزش به‌صورت زیر هستند:

$$Y = 1/116 - 0/508x_1 - 0/811x_2 + 0/219x_3 + 0/40x_4 - 0/282x_5$$





که در آن  $Y$  عدد خطر حرکت توده‌ای (متغیر وابسته)،  $X_1$  فاصله از آبراهه،  $X_2$  فاصله از جاده،  $X_3$  خاک از نوع قهوه‌ای آهکی،  $X_4$  سازند زمین‌شناسی (KSS)،  $X_5$  کاربری اراضی از نوع جنگل با پوشش ۵۰-۲۵ درصد (متغیرهای مستقل) هستند.

مقدار ضرایب نشان دهنده‌ی میزان اهمیت آن‌ها در وقوع حرکت توده‌ای است به طوری که هرچه مقدار عددی ضرایب بزرگ‌تر باشد نقش بیشتر و مهم‌تری در وقوع حرکت توده‌ای ایفا می‌کند. هم‌چنین علامت مثبت در فرمول به معنی رابطه‌ی مستقیم است یعنی با افزایش عامل دارای علامت مثبت احتمال خطر حرکت توده‌ای بیشتر می‌شود و علامت منفی نشانه‌ی رابطه‌ی عکس است به طوری که با افزایش آن عامل احتمال وقوع حرکت توده‌ای کاهش می‌یابد.

### بحث و نتیجه‌گیری

هر ساله پدیده‌ی حرکت توده‌ای در مناطق کوهستانی کشور، آسیب‌های قابل توجهی را به مناطق مسکونی، راه‌های ارتباطی و منابع طبیعی وارد می‌سازد. بنابراین ضروری است تا مطالعات ویژه‌ای درباره شناخت عوامل مؤثر در وقوع و راه‌های کاهش خسارت آن انجام شود. شناخت عوامل وقوع حرکت توده‌ای نیز یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای و عمرانی است. در حوزه‌ی آبخیز پارک جنگلی آبیدر مجموعاً تعداد ۲۲ مورد حرکت توده‌ای رخ داده است که ۱۳ مورد آن‌ها از نوع لغزش و نه مورد آن‌ها از نوع ریزش می‌باشد و سطحی معادل ۹/۰۹ درصد سطح حوزه‌ی آبخیز را در بر گرفته‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از این است که در اطراف جاده‌ها میزان لغزش و ریزش زیاد است و هر چه از جاده‌ها فاصله می‌گیریم، از میزان حرکت‌های توده‌ای کاسته می‌شود؛ به طوری که تا فاصله ۵۰ متری از جاده‌ها، بیشترین میزان حرکت توده‌ای مشاهده می‌شود. این یافته با نتایج معتمد وزیری و کورکی‌نژاد (۲۰۰۶)، آیالو و یاماگاشی (۲۰۰۶)، نفسلیوگلو و همکاران (۲۰۰۸)، چانگ و همکاران (۲۰۰۸)، کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، سفیدگری (۱۳۸۱)، گرایسی (۱۳۸۶) و اسحاقی (۱۳۸۸) هم‌راستا می‌باشد. هم‌چنین بین سازندهای زمین‌شناسی با وقوع حرکت توده‌ای ارتباط نزدیکی وجود دارد. در بین سازندهای زمین‌شناسی منطقه، سازند kss (شیل سنندج، سنگ لوح سیاه و فیلیت و سیلت سنگ) بیشترین حساسیت را به وقوع لغزش و سازند kpf و kul (سنگ آهک، بازالت و لایه‌های آتشفشانی، کنگلو مرا، ماسه سنگ) بیشترین حساسیت را به وقوع ریزش دارد. علت اصلی حساس بودن سازند مذکور به وقوع حرکت توده‌ای، ماهیت سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی آن‌ها است که بسیار حساس است، سازند kss با جذب آب حالت ارتجاعی یافته و باعث سر خوردن لایه‌های بالایی به صورت پدیده لغزش می‌شود. سازند kpf و kul به علت وجود سنگ

آهک، در معرض خطر شکستگی می‌باشد و اغلب حرکت توده‌ای به صورت ریزش مشاهده می‌شود؛ این نتایج با نتایج مطالعات چانگ و همکاران (۲۰۰۸)، کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، تنگستانی (۲۰۰۹)، سفیدگری (۱۳۸۱)، گرایبی (۱۳۸۶)، اسحاقی (۱۳۸۸) و دانا (۱۳۸۹) مطابقت دارد. بررسی ارتباط فاصله از گسل و ریزش نشان داد که هر چه فاصله از گسل‌ها بیشتر می‌شود از میزان حرکت‌های توده‌ای کاسته می‌شود؛ به طوری که تا فاصله ۵۰ متری از گسل‌ها، بیشترین میزان حرکت توده‌ای مشاهده می‌گردد که با نتایج معتمدوزیری و کورکی نژاد (۲۰۰۶)، بهشتی راد (۱۳۸۷) و اسحاقی (۱۳۸۸) تطابق دارد؛ اما با لغزش معنی‌داری بین لغزش و گسل رابطه برقرار نگردید که این امر نشان می‌دهد لغزش در منطقه تحت تأثیر عوامل مهم‌تر دیگری است. هم‌چنین بررسی نتایج فاصله از آبراهه‌ها نشان می‌دهد که هر چه از آبراهه فاصله گرفته می‌شود از میزان حرکت‌های توده‌ای کاسته می‌شود؛ به طوری که تا فاصله ۲۵ متری از آبراهه، بیشترین میزان حرکت توده‌ای مشاهده می‌گردد که با نتایج معتمدوزیری و کورکی نژاد (۲۰۰۶)، چانگ (۲۰۰۸)، بهشتی راد (۱۳۸۷)، و اسحاقی (۱۳۸۸) تطابق دارد. بررسی ارتباط کاربری اراضی و حرکت توده‌ای نشان داده که ارتباط معناداری بین وقوع حرکت توده‌ای با کاربری اراضی وجود دارد. به طوری که در مناطق با کاربری جنگل دارای تاج پوشش ۲۵ تا ۵۰ درصد ریزش‌ها و لغزش‌ها کمتر صورت گرفته است. نتایج سانگ و همکاران (۲۰۰۸) و بهشتی راد (۱۳۸۷)، حاکی از نقش کاربری اراضی در وقوع یا عدم وقوع حرکت‌های توده‌ای است. مطالعات خاکشناسی در منطقه نشان داد که این فاکتور در وقوع حرکت توده‌ای در منطقه موثر بوده است. به طوری که اغلب لغزش‌ها در خاک‌های راندزین فرسایش یافته، و اغلب ریزش‌ها در خاک‌های قهوه‌ای آهکی صورت گرفته است.

در حوزه‌ی آبخیز پارک جنگلی آیدر، به علت مساحت کم منطقه، دامنه‌ی طبقات شیب، بارندگی، ارتفاع کم از سطح دریا و اختلاف این فاکتورها در منطقه محسوس نمی‌باشد؛ بنابراین ارتباط معنی‌داری بین آن‌ها و ریزش‌ها و لغزش‌ها برقرار نشد. این نتایج با نتایج معتمد وزیری و کورکی نژاد (۲۰۰۶)، نفسلیوگلو و همکاران (۲۰۰۸)، سانگ و همکاران (۲۰۰۸)، کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، تنگستانی (۲۰۰۹)، سفیدگری (۱۳۸۱)، گرایبی (۱۳۸۶)، اسحاقی (۱۳۸۸) و دانا (۱۳۸۹) که عامل شیب را در وقوع حرکات توده‌ای موثر دانسته‌اند، متناقض است. هم‌چنین با نتایج کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، و اسحاقی (۱۳۸۸) که بارندگی را از عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای دانسته‌اند و با نتایج آیالو و یاماگاشی (۲۰۰۶)، نفسلیوگلو و همکاران (۲۰۰۸)، کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، سانگ و همکاران (۲۰۰۸)، سفیدگری (۱۳۸۱)، احمدی گرایبی (۱۳۸۶)، اسحاقی (۱۳۸۸) که طبقات ارتفاعی را عامل وقوع حرکت توده‌ای می‌دانند، مغایرت دارد.

عوامل زمین‌شناسی (سازند و گسل)، خاکشناسی و آبراهه‌ها که جزء عوامل اصلی وقوع حرکت توده‌ای در حوضه هستند، قابل تغییر نیستند؛ این در حالی است که عامل جاده که مهمترین عامل وقوع حرکت توده‌ای در حوزه آبخیز پارک جنگلی آیدر می‌باشد، قابلیت بیشتری برای مدیریت داشته و با احداث جاده بر اساس شرایط منطقه و جلوگیری از احداث جاده‌های غیر اصولی در این مناطق، می‌توان از تحریک و افزایش حرکت‌های توده‌ای در این گونه مناطق جلوگیری کرد. هم‌چنین با توجه به این‌که در منطقه‌ی مورد مطالعه، احتمال وقوع خطر حرکت توده‌ای، در مناطقی که دارای جنگل دست کاشت بودند، کمتر بوده، می‌توان با احداث جنگل دست کاشت و پوشش گیاهی بر روی دامنه‌ها، احتمال وقوع حرکت‌های توده‌ای را در منطقه کاهش داد.

## منابع

- ۱- احمدی، ح. (۱۳۷۵)، ژئومرفولوژی کاربردی ج ۱ (فرسایش آبی)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- اسحاقی، ا. (۱۳۸۸)، بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی آن درحوزه‌ی آبخیز صفارود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.
- ۳- بهشتی راد، م. (۱۳۸۷)، آنالیز مکانی خطر حرکات توده‌های و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه‌ی موردی: حوزه آبخیز الموت رود)، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۴- دانا، ب. (۱۳۸۹)، بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و روش‌های کنترل آن در حوزه‌ی آبخیز گرمی چای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.
- ۵- سفیدگری، ر. (۱۳۸۱)، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه‌ی موردی حوزه آبخیز دماوند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.
- ۶- گرابی، پ. (۱۳۸۶)، بررسی حرکت‌های توده‌ای به منظور ارائه‌ی مدل منطقی پهنه‌بندی خطر در حوزه‌ی آبخیز لاجیم‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران.
- 7- Ayalew, L., H. Yamagishi, (2006). "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-yahiko mountains- central Japan", *Geomorphology*, vol: 65, PP: 31.
- 8- Chang, K.T., S.H. Chiang and M.L. Hsu, (2007). "Modeling typhon and earthquake induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression", *Geomorphology*, Vol: 89, PP: 335-347.
- 9- Kamp, U., B.J. Growley, G. Khattak and L.A. Owen, (2008). "GIS-based landslide

susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region", *Geomorphology*, Vol: 101, PP: 631-642.

10- Motamedvaziri, B. and Koorkinejad, M., (2006). "The applicability of Mora-Vahrson landslide hazard zonation model in the Ciaroodbar watershed. proceeding of the international symposium", 4-7 September (2006), Ghent, Belgium, PP: 91-97.

11- Nefeslioglu, H.A, C. Gokceoglu and H. Sonmez, (2008). "An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps", *Engineering Geology*, vol: 97, PP: 171-191.

12- Song, R.H., D. Hiromu, A. Kazutoki, K. Usio and M. Sumio, (2008). "Modeling the potential distribution of shallow-seated landslides using the weights of evidence method and a logistic regression model: A case study of the Sabae area-japan", *International journal of sediment research*, Vol: 23, PP: 106-118.

13- Tangestani, M.H., (2009). "A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS": An experience from Zagros Mountains, Sw Iran