

مدل‌سازی آماری و بررسی عوامل مؤثر در وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها (حوضه آبریز اوجان‌چای)

فریا کریمی^۱

چکیده

دردهه‌های اخیر، وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها، تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، افزایش یافته‌است. رخداد آنها خسارت‌های مالی زیادی را در پی داشته‌است. برای پیشگیری و کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع حرکات توده‌ای، شناسایی و پهنه‌بندی نواحی حساس به زمین‌لغزش‌ها و بررسی عوامل مؤثر در وقوع آنها ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف این مطالعه، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز اوجان‌چای می‌باشد. برای این منظور از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای AutoCAD map 2004 و ArcView همچنین از روش آماری رگرسیون چندمتغیره، با هشت متغیر (شیب، فاصله از گسل، واحدهای لیتولوژی، متوسط بارش‌های سالانه، کاربری زمین، فاصله از جاده، فاصله از روستا یا شهر و فاصله از آبراهه) استفاده شده‌است. به‌این ترتیب، مدلی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در منطقه ارائه شد. پس از انجام پهنه‌بندی، نتیجه این پژوهش نشان داد که ۳۹ درصد مساحت حوضه مورد مطالعه در پهنه‌های خطر متوسط تا بسیار زیاد قرار دارند. در ضمن واحدهای لیتولوژی، بارش، شیب و کاربری اراضی از عوامل اصلی وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبریز اوجان‌چای می‌باشند. برای ارزیابی صحت پهنه‌بندی و مدل ارائه شده، شاخص زمین‌لغزش‌ها از ترکیب نقشه پهنه‌بندی و پراکنش زمین‌لغزش‌ها محاسبه شد و مشخص شد ۵۱ درصد حرکات توده‌ای مواد حوضه اوجان‌چای در پهنه‌های با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد اتفاق افتاده‌اند. به این ترتیب، مدل پیشنهادی برای حوضه اوجان‌چای مورد تأیید قرار گرفت.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی آماری، عوامل وقوع زمین‌لغزش‌ها، رگرسیون چند متغیره، توده

کوهستانی سهند، حوضه آبریز اوجان‌چای

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها، فرآیندهای فعالی هستند که در فرسایش و تحول چشم‌اندازها مشارکت دارند (Guzzetti and et al, 2005, p. 202). این پدیده‌ها در زمره مخاطرات طبیعی مهم هستند که هر سال در سراسر دنیا رخ می‌دهند به طوری که زندگی هزاران انسان را تهدید کرده و به سکونتگاه‌های انسانی، زیرساخت‌های ترابری، خطوط انتقال نیرو، شبکه‌های آبرسانی و اراضی زراعی آسیب می‌رسانند (Alcantara-Ayala, 2002, p. 110). هم‌اکنون، کشور ایران از نظر وقوع بلایای طبیعی، در شمار کشورهای مخاطره‌آمیز جهان قرار دارد. زیرا از میان ۴۰ نوع حوادث و بلایای طبیعی، ۳۰ نوع آن در ایران امکان بروز و فعالیت دارد (یارمند، ۱۳۸۲، ص ۲۸). براساس گزارش کمیته بلایای طبیعی ایران، طی برنامه پنج ساله اول خسارات ناشی از بلایای طبیعی در کشور بالغ بر ۱/۶ میلیارد دلار برآورد شده است که بخشی از آن مربوط به زیان‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها است (باقریان و همکاران، ۱۳۸۴). حوضه آبریز اوجان‌چای در دامنه شمال‌شرقی توده آتشفشانی سهند، از نواحی است که به دلیل عوامل طبیعی (ویژگی‌های توپوگرافی، شرایط اقلیمی، لیتولوژی و غیره)، مستعد وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در دهه‌های اخیر، با دخالت عوامل انسانی که به منظور اجرای برنامه‌های عمرانی و توسعه شهر و روستا انجام می‌شود، این وضعیت تشدید شده است. به طوری که در حال حاضر روستاهای میاردان، گله‌خانه، قیسناب، خاتون‌آباد و سایر آبادی‌های حوضه به وسیله انواع حرکات توده‌ای مواد تهدید می‌شوند. چنین شرایطی شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش و بررسی عوامل مؤثر در وقوع آنها را ضروری می‌سازد. برای ممیزی نواحی حساس به وقوع زمین‌لغزش، یکی از روش‌های معمول، پهنه‌بندی خطر^۱ می‌باشد. با توجه به این که روش‌های آماری چند متغیره، امکان تحلیل همزمان تعدادی متغیر را فراهم می‌آورد، استفاده از این روش‌ها برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش که به طور ذاتی پدیده‌ای چند متغیره است، حایز اهمیت می‌باشد

۱- پهنه‌بندی خطر (Hazard Zoning) حرکات توده‌ای، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع زمین‌لغزش در زمان معین می‌باشد (Vanwestan, 1997, p. 404). از این طریق، سطح زمین به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوه خطر (بسیار زیاد تا بسیار کم) وقوع زمین‌لغزش‌ها تقسیم می‌شود (Moreiras, 2005, p.)

(Lee and et al, 2002, p. 152). در سال‌های اخیر، روش‌های آماری به ویژه رگرسیون چند متغیره توسط پژوهشگران مختلف مانند (Vanwestan, 1997, pp. 404-414) و (Suzen and Doyuarn 2004, pp. 302-321) در تحلیل ناپایداری دامنه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر با به کارگیری روش‌های تحلیل ممیزی، رگرسیون لجستیک (Can and et al., 2005, pp. 250-271)، شبکه‌های عصبی (Gomez and Kavzoglu, 2005, pp. 11-27)، منطق فازی (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴، صص ۱۸-۱) و (Lee, 2007, pp. 847-855) و غیره، با ارایه مدل آماری گسیختگی دامنه‌ای، به پیش‌بینی الگوی آینده ناپایداری در نواحی مختلف جهان اقدام می‌شود. در ایران، به مناسبت دهه مقابله با بلایای طبیعی (۲۰۰۰-۱۹۹۰) مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی، مطالعاتی را در زمینه شناسایی زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر در وقوع آنها انجام داده‌اند. برای مثال در سال‌های اخیر، تحقیقات با ارزشی در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر اساس روش‌های آماری چند متغیره و با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند کرم و محمودی (۱۳۸۴، صص ۱۵۶-۱۴۷) در زاگرس چین‌خورده، محمدی و همکاران (۱۳۸۶) و غیره انجام شده است. در مورد حوضه آبریز اوجان‌چای جنتی سراب (۱۳۷۲) تحول ژئومورفولوژی دره اوجان‌چای را در شمال شرقی توده کوهستانی سهند بررسی کرده است. هدف این مقاله، ضمن شناسایی و تعیین نواحی حساس به زمین‌لغزش در حوضه آبریز اوجان‌چای، تجزیه و تحلیل آماری عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش آماری رگرسیون چندمتغیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز اوجان‌چای با مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 54' - 37^{\circ} 2''$ عرض شمالی و $40' 50'' - 46^{\circ} 24' 31''$ طول شرقی در دامنه شمال شرقی توده کوهستانی سهند قرار دارد (شکل ۱). این حوضه یکی از زیرحوضه‌های مهم آجی‌چای می‌باشد. رودخانه اصلی این حوضه به نام اوجان‌چای از به هم پیوستن شاخه‌های فرعی اوجان‌چای، آیق‌چای، صبری‌چای و سران‌چای که از قله مرتفع کوهستان سهند مانند بزداغ (۳۵۴۰ متر)، قباقی‌داغ (۲۹۰۴ متر)، بیوک‌داغ (۲۹۶۵ متر)، چناق‌داغ و

آروانه داغ (۲۹۵۴ متر)، سرچشمه می گیرند، تشکیل شده و به سمت آجی چای جریان می یابد (شکل ۲). از نظر واحدهای سنگ شناسی، سنگ های آذرین میوسن (داسیت و آندزیت) قله منفرد و ارتفاعات سهند را تشکیل می دهند. سنگ های آذرین ائوسن نیز در بخش میانی حوضه مورد مطالعه برونزد دارند. واحدهای اولیگوسن را در منطقه توده های نفوذی دیوریت و مونزویت تشکیل می دهند. سنگ های پیروکلاستیک به شعاع ده ها کیلومتر از مراکز آتشفشانی به طرف دشت های اطراف، بیشترین مساحت حوضه را شامل می شوند. سنگ های رسوبی میوسن در شمال شرقی حوضه شامل مارن های گچ دار و ماسه سنگ و همچنین تشکیلات قرمز تحتانی (کنگلومرات، ماسه سنگ و سیلتستون) می باشند. رسوبات کواترن نیز تراس های آبرفتی، آبرفت های بستر رودخانه، مخروط افکنه ها را شامل می شوند. به علت عملکرد گسل تبریز که امتداد شمال غرب - جنوب شرق دارد و از شمال شرق حوضه عبور کرده، سنگ های رسوبی و تشکیلات قرمز تحتانی مربوط به میوسن در مجاورت سنگ های رسوبی و آتشفشانی متعلق به سیستم سهند قرار گرفته اند. آب و هوای این حوضه اقلیم نیمه خشک سرد است که به سمت ارتفاعات به اقلیم نیمه مرطوب سرد تغییر می یابد. در حدود ۵۷ مورد زمین لغزش در حوضه آبریز اوجان چای شناسایی شده اند که فراوان ترین آنها از نوع سنگ ریزش، سنگ لغزش، ریزش واریزه ای و لغزش های چرخشی می باشند.

داده های مورد نیاز

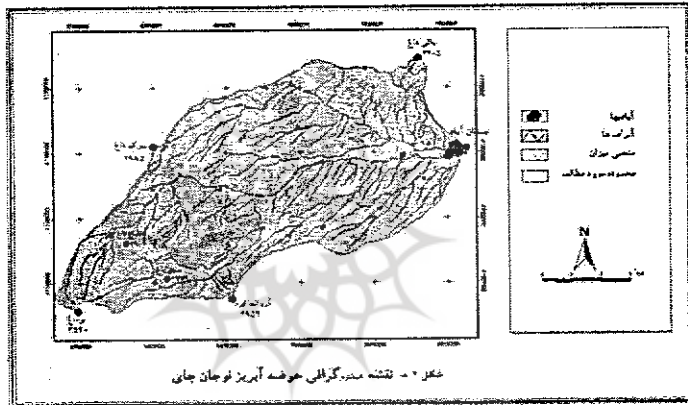
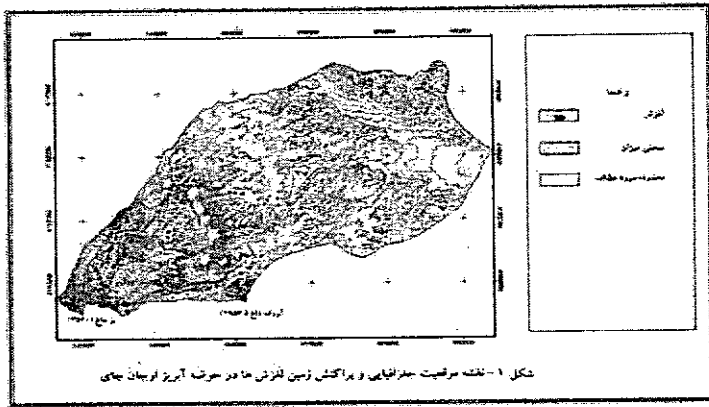
- نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و عکس های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰، برای تعیین محدوده حوضه آبریز اوجان چای و شناسایی ویژگی های طبیعی آن، تهیه نقشه شیب و سطوح ارتفاعی، عناصر خطی (مانند جاده ها) و غیره در حوضه مورد مطالعه؛
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰، برای استخراج واحدهای سنگ شناسی، عناصر خطی (مانند گسل ها) و غیره در حوضه مورد مطالعه؛

- نقشه پراکنش زمین لغزش در حوضه اوجان چای؛

- داده های بارش سالانه ایستگاه های هواشناسی موجود در حوضه و پیرامون آن؛

- نرم افزارهای ArcView و Autocad map 2004 برای ترسیم نقشه ها؛

- باز دیده های میدانی.



در ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش با استناد به نقشه ژئومورفولوژی موجود (جنتی سراب، ۱۳۷۲) و عکس‌های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰ ترسیم شد (شکل ۱). برای تکمیل و تأیید آن تمامی زمین لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید میدانی قرار گرفت. سپس نقشه شیب و مدل رقومی ارتفاع از نقشه توپوگرافی تهیه شدند. نقشه عناصر خطی مانند جاده‌ها، گسل‌ها و آبراه‌ها، همچنین واحدهای لیتولوژی و کاربری اراضی از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و کاربری زمین استخراج شدند. منحنی‌های هم‌بازان حوضه نیز از طریق داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های موجود ترسیم شدند. برای ورود و ذخیره اطلاعات واحدهای مزبور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور از نرم‌افزارهای، اتو کدمپ ۲۰۰۴ و آرکویو برای ورود، ذخیره و طراحی پایگاه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای مثال مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه با استفاده از رقومی‌سازی منحنی میزان‌های نقشه‌های

توپوگرافی منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط اتوکدمپ ۲۰۰۴ و درون‌یابی آن در محیط نرم‌افزار آرکویو انجام شده و پس از آن، نقشه‌های دسته‌بندی ارتفاعی و شیب دامنه‌ها تهیه شده‌اند. برای کلیه نقشه‌ها، سیستم مختصات واحد (UTM) انتخاب شده و پس از تهیه لایه‌های ۸ متغیر مورد نظر، لایه‌ها کلاس‌بندی شده‌اند. برای بررسی تأثیر هر یک از متغیرها در وقوع زمین‌لغزش‌ها، تراکم آنها در هر کلاس متغیر محاسبه شد.

محاسبه تراکم سطح زمین‌لغزش‌ها

با تلفیق نقشه‌های معیار با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، از طریق روش آماری دو متغیره و معادله (۱)، تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس هشت متغیر محاسبه شد (Lee and et al, 2002, p. 200؛ Ayalew and et al, 2004, p. 78).

$$D = Ln(A / B) \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این رابطه:

D = تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس متغیر؛

A = تعداد پیکسل‌های حرکات توده‌ای در داخل هر کلاس؛

B = تعداد پیکسل‌های هر کلاس متغیر می‌باشد.

این روش، فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها را در هر کلاس متغیر مورد بررسی نشان می‌دهد (جدول ۱). از آنجا که روش آماری دو متغیره، تراکم زمین‌لغزش‌ها را روی هر یک از نقشه‌های عامل محاسبه می‌کند و نمی‌تواند تأثیر یک عامل را در مقابل عوامل دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. بنابراین برای تعیین عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای منطقه مورد مطالعه، همانند (Ayalew and et al, 2005, pp. 432-445)؛ (Suzen and Doyuarn, 2004, pp. 302-321) و (Van westan, 1997, pp. 404-414)، روش آماري رگرسيون چند متغیره (معادله ۲) مورد استفاده قرار گرفت. روش انتخابی روشی کمی است که ارتباط متقابل متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) را در خصوص متغیر وابسته (زمین‌لغزش) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و میزان تأثیر هر یک از عوامل را به صورت کمی بیان می‌کند. به این منظور، جداول توزیع تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس متغیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جدول (۲) به طور نمونه، توزیع تعداد

پیکسل‌های هریک از ۵۷ مورد زمین لغزش را در کلاس‌های مختلف شیب منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_mX_m + \varepsilon \quad (\text{معادله ۲})$$

Y = متغیر وابسته (وقوع زمین لغزش)؛ X_i = متغیرهای ورودی مستقل؛
 B_i = ضرایب تخمینی؛ ε = خطای مدل می‌باشد.

پس از تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و ارایه معادله رگرسیون، بر اساس ضرایب موجود به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش اقدام شد (شکل ۳). طبقات نقشه پهنه‌بندی خطر که با استفاده از فراوانی وزن‌ها و توسط نرم‌افزار آرکویو انجام شده به ۵ طبقه خطر (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) تقسیم شده است (جدول ۳).

ارزیابی مدل

برای ارزیابی دقت و صحت نقشه پهنه‌بندی خطر حوضه آبریز اوجان‌چای، شاخص خطر زمین لغزش (معادله ۳) با تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر محاسبه شد. صحت پهنه‌بندی وقتی تأیید می‌شود که میزان (L_i) در پهنه‌های با حساسیت بسیار زیاد و زیاد، بیشتر باشد. به عبارت دیگر، تراکم زمین لغزش‌ها در نواحی با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد بیشتر باشد.

$$\% L_i = 100 (A_i / S_i) / \sum (A_i / S_i) \quad (\text{معادله ۳})$$

L_i = شاخص خطر زمین لغزش؛

S_i = مساحت هر پهنه خطر؛

A_i = مساحت زمین لغزش‌ها در هر پهنه خطر می‌باشد.

نتایج

بر اساس جدول (۱) حداکثر تراکم زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز اوجان‌چای در شیب‌های ۴۵-۳۰ درجه واحد کوهستان، رسوبات آبرفتی کواترنری و کنگلومرا، بارش‌های بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، ۵۰۰ متری آبادی‌ها و کناره‌ها و حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد. تجزیه و تحلیل جداول پراکنش زمین لغزش‌ها در هر کلاس هشت متغیر مورد بررسی (مانند جدول ۲ که توزیع تعداد پیکسل‌های حرکات توده‌ای را در کلاس‌های شیب بیان می‌کند)، معادله

(۴) را ارایه می‌دهد. در این مدل، مقدار ضریب $F = ۰/۹۹۱$ و ضریب تبیین $۰/۹۸۳$ $rsqu =$ می‌باشد و هر یک از متغیرهای به دست آمده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. به این ترتیب، عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای حوضه مورد مطالعه لیتولوژی (X_{Li})، بارش (XP) شیب (XS) و کاربری اراضی (X_{La}) تعیین شدند.

$$Y = ۱/۸۹ + ۰/۹۷X_{Li} + ۰/۹۴XP + ۰/۳۲XS + ۰/۶۶X_{La} \quad (\text{معادله ۴})$$

بر اساس مدل به دست آمده، شکل (۳) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های حوضه آبریز اوجان‌چای را در پنج طبقه خطر (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) نشان می‌دهد. مطابق جدول (۳)، در حدود ۶۱ درصد مساحت حوضه مورد مطالعه در محدوده خطر بسیار کم و کم قرار دارد و تقریباً ۳۹ درصد آن در پهنه‌های خطر متوسط تا بسیار زیاد واقع شده‌است.

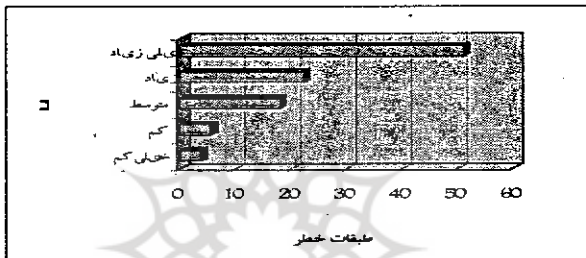
جدول ۱- تعداد پیکسل‌های زمین لغزش‌ها و پراکنش آنها در کلاس‌های متغیر شیب

تعداد زمین لغزش‌ها	شیب (درصد)				تعداد پیکسل	تعداد زمین لغزش‌ها
	<۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰		
۱	۱۵	۱۷	۰	۰	۳۲	۱
۲	۰	۷۶	۱۰۴	۲۳	۳۰۲	۲
۳	۰	۱۲	۴۳	۴	۵۹	۳
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

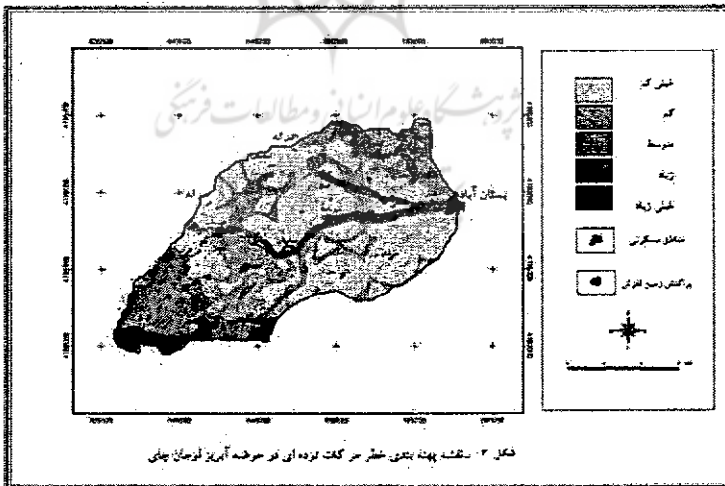
جدول ۲- طبقات خطر پهنه‌بندی زمین لغزش با رگرسیون چند متغیره در حوضه آبریز اوجان‌چای

کلاس خطر	تعداد پیکسل	تعداد زمین لغزش‌ها	تعداد پیکسل‌های کلاس‌های خطر	تعداد زمین لغزش‌ها در کلاس‌های خطر	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش‌ها
خیلی کم	۲۵۱۵	۲۳۰	۳۱۰۲۸	۱۷۴۱	۲۵/۵	۳/۷۷
کم	۳۵۱۵	۴۷۸	۴۳۶۶۱	۱/۱۱	۳۵/۵	۵/۶۶
متوسط	۲۸۱۶	۱۲۲۷	۳۴۸۴۶	۳/۵۲	۲۸/۶	۱۷/۹۵
زیاد	۸۱۳۵	۴۳۸	۱۰۰۴۴	۴/۳۶	۸/۳۵	۲۲/۲۴
خیلی زیاد	۲/۱۵	۲۶۲	۲۶۱۸	۱۰	۲/۱۵	۵۱/۰۲

صحت نقشه پهنه‌بندی حرکات توده‌ای درحوضه آبریز اوجان‌چای، از ستون آخر جدول (۳) مشخص می‌شود. این ستون افزایش تراکم زمین لغزش‌ها را با افزایش کلاس خطر وقوع به وضوح نشان می‌دهد. شکل (۴) صحت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در حوضه اوجان‌چای با استفاده از معادله (۳) آشکار می‌سازد. مطابق این نمودار، نواحی با حساسیت بسیار زیاد، ۵۱ درصد از زمین لغزش متأثر شده‌اند و پهنه‌های با حساسیت زیاد، در حدود ۲۲ درصد در معرض زمین لغزش قراردارند. این در حالی است که در محدوده‌های با حساسیت بسیار کم، تراکم زمین لغزش‌ها $3/7$ درصد می‌باشد.



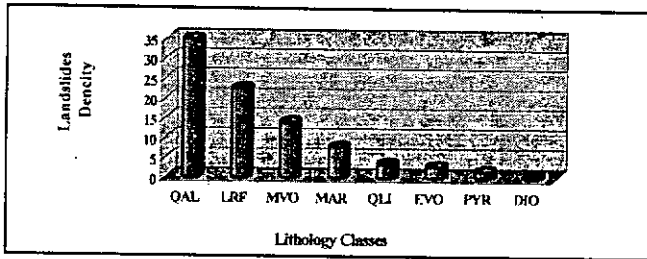
شکل ۴- نمودار شاخص خطر زمین لغزش در طبقات مختلف در حوضه آبریز اوجان‌چای



بحث و تحلیل

براساس مدل به دست آمده از بین هشت متغیر مورد نظر، عوامل لیتولوژی، بارش، شیب و کاربری اراضی از عوامل مهم در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبریز اوجان‌چای

محسوب می‌شوند. لیتولوژی از عوامل مهم توزیع زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز اوجان‌چای می‌باشد.



شکل ۵. تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف متغیر لیتولوژی

QAL = رسوبات آبرفتی کواترنری
 MVO = سنگ‌های آذرین میوسن
 QLI = آهک‌های کواترنری
 PYR = سنگ‌های آذرآواری
 LRF = سازندهای قرمز تحتانی
 MAR = سازندهای رسوبی میوسن
 EVO = سنگ‌های آذرین انوسن
 DIO = دیوریت و مونزویت‌های اولیگوسن

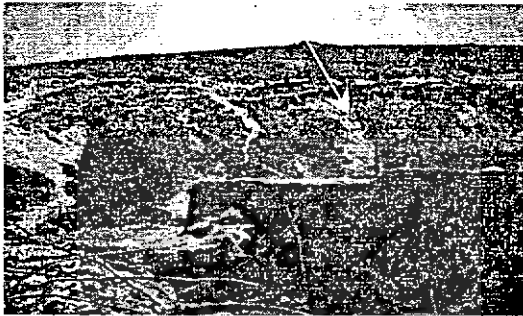
بر اساس شکل (۵)، تراکم زمین لغزش‌ها به ترتیب روی آبرفت‌های کواترنری، تشکیلات قرمز تحتانی (کنگلوما، ماسه سنگ و غیره)، سنگ‌های آذرین میوسن - پلیوسن و سنگ‌های رسوبی (مارن‌های ژپسی همراه با ماسه سنگ) زیاد است. به طوری که، بیشتر زمین لغزش‌ها در امتداد دره‌های عمیق اوجان‌چای و آیق‌چای روی مواد دامنه‌ای دیده می‌شوند. وجود مواد سست و منفصل دارای ذراتی با ابعاد متفاوت، در تراس‌های آبرفتی و دشت‌های سیلابی اطراف رودخانه، پتانسیل حرکات توده‌ای را در این نواحی افزایش داده و موجب بروز تعداد زیادی از گسیختگی‌ها در کناره و دیواره دره‌ها شده است. در ارتفاعات شمالی حوضه، برونزد سازندهای قرمز تحتانی (کنگلومای قرمز، ماسه سنگ، آهک دانه‌ریز قرمز، مارن سیلتی قرمز) از نواحی مستعد به وقوع لغزش می‌باشند. مارن‌های ژپسی با تناوبی از ماسه سنگ نیز از اهمیت زیادی در گسیختگی دامنه‌های ارتفاعات شمال شرقی برخوردار هستند. سنگ‌های آذرین (سنگ‌های داسیتی - آندزیتی، برش‌های آتشفشانی) کوهستان جنوب و جنوب غرب، در اثر قرار گرفتن در شرایط سطحی و مجاورت با عوامل محیطی مانند تغییرات دما، رطوبت و غیره دستخوش تغییرات شدیدی می‌شوند و به این ترتیب، سنگ‌های متصل و مقاوم به مواد منفصل تبدیل می‌شوند. بارش یکی دیگر از

عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای حوضه مورد مطالعه می‌باشد. در این منطقه بیشترین تراکم، زمین‌لغزش در نواحی با بارش‌های بیش از ۴۰۰ میلی‌متر دیده می‌شود (شکل ۶). همچنین تراکم زمین‌لغزش‌ها در ۱۰۰ متری آبراهه‌ها بیشتر ملاحظه می‌شود و با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها، میزان تراکم کاهش می‌یابد در حوضه آبریز اوجان‌چای، آبراهه‌ها از جنوب و جنوب غرب به سمت شمال شرق و شرق جریان دارند و در اغلب اوقات سال، نیز، آب‌های سطحی در بستر ظاهری جاری می‌شوند. با افزایش دما در ماه‌های اول سال، برف‌های موجود در ارتفاعات سریع ذوب شده، منجر به شکل‌گیری جریان‌های سیلابی می‌شوند، در برخی مواقع نیز، ریزش باران‌های شدید و رگباری عامل به وجود آورنده سیلاب‌ها می‌باشد. تر و خشک کردن متوالی دیواره دره‌ها، پایداری دیواره‌ها و کناره آبراهه‌ها را کاهش داده و ریزش و لغزش ناگهانی کناری دیواره‌ها را موجب می‌شوند. از این رو است که لغزش‌های دره‌ای بزرگ و کوچک و لغزش‌های سطحی در دره اصلی اوجان‌چای و دره آیق‌چای بسیار به چشم می‌خورد (شکل ۷).

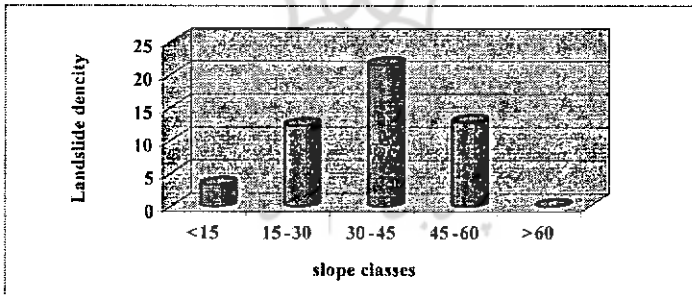
در حوضه آبریز اوجان‌چای تراکم زمین‌لغزش‌ها با افزایش شیب زیاد می‌شود و حداکثر آن در شیب 45° - 30° می‌باشد. به علت کاهش مساحت کلاس شیب‌های بالاتر از 45° ، فراوانی وقوع حرکات توده‌ای در آنها کمتر بوده، به طوری که تراکم حرکات دامنه‌ای برای شیب‌های بالاتر از 60° صفر است (شکل ۸). نتیجه این که دامنه‌های با شیب نسبتاً زیاد (45° - 30°) و شیب زیاد (60° - 45°) که با دیواره دره‌های عمیق اوجان‌چای و آیق‌چای و صخره‌های سنگی ارتفاعات بزداغ، قباغ‌داغ و غیره منطبق هستند، در وقوع حرکات دامنه‌ای نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. به این ترتیب، مناطق کوهستانی سهند که دارای ارتفاع نسبی زیاد و شیب‌های تند، هستند، وقوع پدیده‌های سنگ ریزش، واژگونی، سنگ لغزش و غیره از پتانسیل زیادی برخوردار است. جریان‌های واریزه‌ای شکل دیگری از انواع زمین‌لغزش‌ها است که با وقوع پدیده‌های فوق در پای دامنه‌ها به وجود می‌آیند. دامنه‌های نسبتاً شیب‌دار و پر شیب دره‌های عمیق که از مواد دامنه‌ای، خاک و سایر سازندهای سطحی تشکیل شده‌اند، با همراهی سایر شرایط و عوامل، مستعد وقوع پدیده‌هایی مانند لغزش‌های چرخشی، جریان خاک و غیره هستند.



شکل ۶- تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف متغیر بارش در حوضه اوجان‌چای



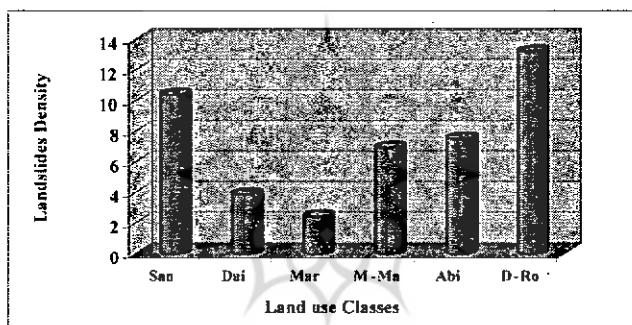
شکل ۷- نمونه‌هایی از وقوع زمین‌لغزش‌ها در دره آیفیرچای (کرمی، ۱۳۸۰)



شکل ۸- تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف متغیر شیب در حوضه اوجان‌چای

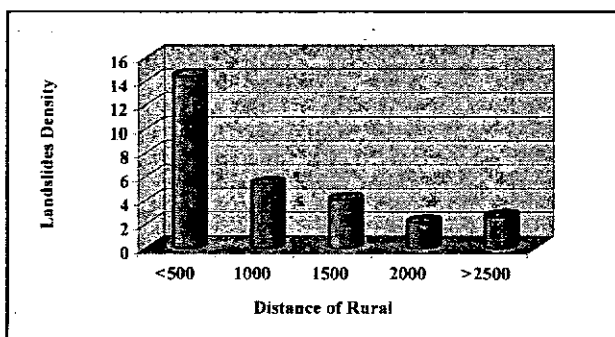
کاربری اراضی و به عبارت صحیح، تغییر کاربری‌ها از دیگر عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز اوجان‌چای می‌باشد، علاوه بر بروزردهای سنگی که به توضیح آن در واحدهای لیتولوژی و شیب پرداخته شد، حاشیه رودخانه‌های اصلی از دیگر نواحی است که با تراکم زمین‌لغزش‌ها مواجه می‌باشد (شکل ۹). علاوه بر عوامل طبیعی در این مناطق به دلیل بهره‌گیری بیشتر از خاک‌های حاصلخیز به توسعه زمین‌های زراعی در پیرامون رودخانه و دشت سیلابی اقدام می‌شود، به طوری که اغلب زارعان برای توسعه اراضی مزروعی به برداشت بخشی از دامنه حاشیه دره اقدام می‌کنند که این مسأله در برخی

نقاط به زیربری دامنه و بی‌ثبات شدن آنها منجر می‌شود. تغییر کاربری مراتع متوسط به زمین‌های کشت شده بر روی دامنه‌ها تا ارتفاعات فوقانی نیز سبب تشدید وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها در این حوضه می‌شود. انحراف آبراه‌ها و انتقال آنها به زمین‌های بالادست حاشیه رودخانه برای آبیاری نیز سبب نفوذ آب در نهشته‌ها شده و زمینه را برای جابجایی مواد دامنه‌ای فراهم می‌کند. به علت دخالت انسان است که افزایش فاصله از روستا با تراکم زمین لغزش‌ها یک ضریب همبستگی منفی ۸۴ درصد را نشان می‌دهد. یعنی تراکم حرکات توده‌ای مواد در نزدیکی اجتماعات انسانی، بیشتر است (شکل ۱۰). به طوری که، در محدوده یک کیلومتری و ۵۰۰ متری نواحی شهری و روستایی به دلیل حضور انسان، وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۱۱). در حوضه آبریز اوجان‌چای، نقش انسان در وقوع حرکات توده‌ای مواد تا ۱ کیلومتری نواحی شهری و روستایی مشهود است.

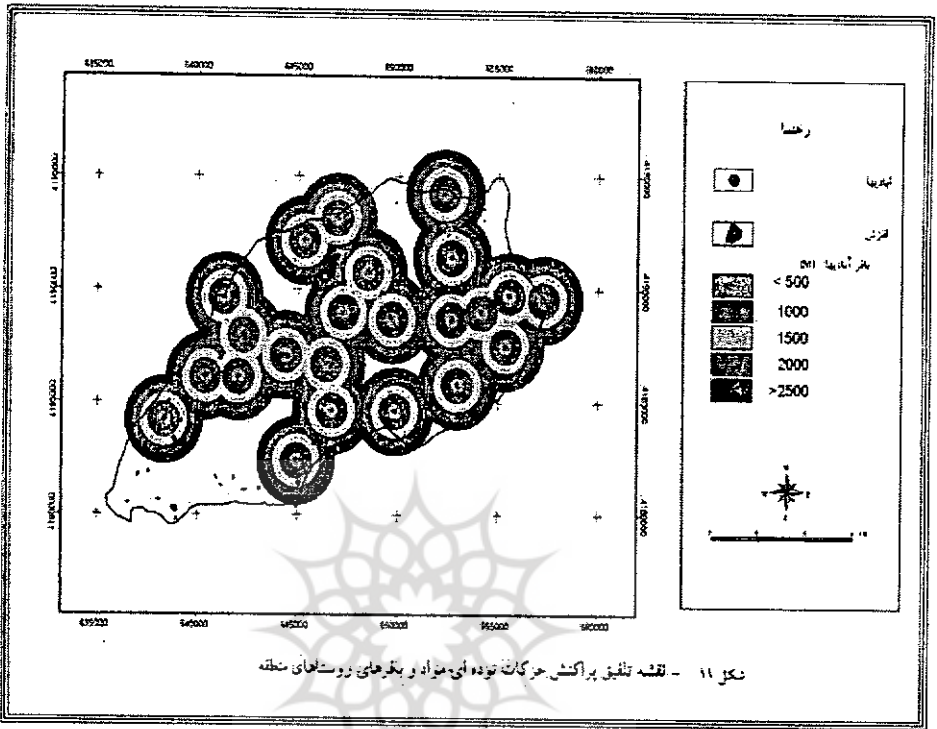


شکل ۹. تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های متغیر کاربری اراضی

San = برونزدهای سنگی؛
 Dai = کشت دیم؛
 Mar = پوشش مرتع؛
 M-Ma = مرتع متوسط؛
 Abi = کشت آبی؛
 D-Ro = دیواره رودخانه.



شکل ۱۰. تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های متغیر فاصله از آبادی در حوضه اوجان‌چای



نتیجه‌گیری

با بررسی ۵۷ مورد زمین‌لغزش متوسط تا بزرگ در مناطق مختلف حوضه اوجان‌چای و نقشه پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای در این حوضه، مشخص شد از بین ۸ متغیر، عوامل طبیعی و انسانی متعددی در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش دارند که از مهمترین آنها می‌توان به واحدهای لیتولوژی ویژه (رسوبات آبرفتی، کنگلومرا، سنگ‌های آذرین و رسوبی)، برونزدهای سنگی واحد کوهستان با شیب‌های 30° - 60° درجه، بارش‌های بیش از ۴۰۰ میلی‌متر و تغییر کاربری اشاره کرد. همچنین ۵۰۰ متری نواحی شهری و روستایی و ۱۰۰ متری آبراهه‌ها، از نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌باشند. به این ترتیب از ۸ عامل مورد مطالعه در این حوضه، از بین عوامل طبیعی لیتولوژی، شیب و بارش‌های سالانه نقش اساسی در وقوع حرکات توده‌ای دارند. نقش عوامل انسانی در افزایش زمین‌لغزش‌ها از طریق کاربری اراضی و در ۵۰۰ متری آبادی‌ها دیده می‌شود.

این عوامل سبب شده‌اند در وضعیت کنونی در حدود ۳۹ درصد از کل مساحت حوضه در معرض خطر زیاد تا بسیار زیاد زمین‌لغزش‌ها قرار داشته باشد، ولی استعداد بالقوه وقوع زمین‌لغزش‌ها در این منطقه، بسیار بیشتر از این مقدار می‌باشد. به ویژه که اجرای برنامه‌های عمرانی و توسعه در این منطقه رو به افزایش است. این موضوع، لزوم توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر و نواحی مستعد زمین‌لغزش‌ها را در برنامه‌ریزی‌ها خاطر نشان می‌سازد.

منابع

۱. جنتی سراب، ابولفضل (۱۳۷۲)، مطالعات ژئومورفولوژی و هیدرومورفولوژی حوضه اوجان‌چای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
۲. باقریان، رحیم، محمد گودرزی و جعفر غیومیان (۱۳۸۴)، بررسی خسارات اقتصادی و اجتماعی زمین‌لغزش (مطالعه موردی، امامزاده علی و باریکان طالقان)، نشریه علمی- پژوهشی آب و آبخیز، شماره ۲.
۳. فاطمی عقدا، سید محمود، جعفر غیومیان، محمد تشنلب و عقیل اشقلی فراهانی (۱۳۸۴)، بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۱، صص ۱۸-۱.
۴. کرم، عبدالامیر و فرج الله محمودی (۱۳۸۴)، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (حوضه آبریز سرخون استان چهارمحال و بختیاری)، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، صص ۱۵۶-۱۴۷.
۵. کرمی، فریبا (۱۳۸۵)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوضه آبریز اوجان‌چای، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز.
۶. محمدی، مجید، حمیدرضا پورقاسمی، حمیدرضا مرادی و سادات فیض‌نیا، (۱۳۸۶)، آنالیز خطر زمین‌لغزش در محیط GIS و کاربرد آن در امر حفاظت آب و خاک، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، تهران: دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۷. یارمند، مجید (۱۳۸۲)، طرح جامع امداد و نجات در بلایای طبیعی، مجله فرهنگ و پژوهش، شماره پیاپی ۱۳۴، صص ۲۸-۲۹.

8. Alcantara-Ayala, I (2002), "*Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries*", *Geomorphology*, Vol. 47, pp. 107-124.
9. Ayalew, L. Yamagishi, H. and Ugawa, N (2004), "*Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted Linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan*", *Landslide*, No. 1, pp. 73-81.
10. Ayalew, L. Yamagishi, H. Marui, H and Kanno, T (2005), "*Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based Susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications*", *Engineering Geology*, No. 81, pp. 432-445.
11. Can, T, Nefeslioglu, H. A, Gokceoglu, C, Sonmez, H and Duman, T. Y (2005), "*Suceptibility assessment of shallow earthflow triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses*", *Geomorphology*, Vol. 72, pp. 250-271.
12. Dai, F. C. and Lee, C.F (2000), "*Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Hongkong*", *Geomorphology*, Vol. 4, pp. 213-228.
13. Gomes, H. and Kavzoglu, T (2005), "*Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin*", *Venezuela, Engineering Geology*, No. 78, pp. 11-27.
14. Guzzetti, F, Carrara, A, Cardinali, M, and Reichenbach, P (1999), "*Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy*", *Geomorphology*, Vol. 31, pp. 181-216.
15. Guzzetti, F, Reichenbach, P, Cardinali, M, Galli, M and Ardizzone, F (2005), "*Probabilistic Landslide hazard assessment at the basin Scale*", *Geomorphology*, No. 72, pp. 272-299.
16. Lee, S, Chwae, U, and Min, K (2002), "*Landslide susceptibility mapping correlation between topography and geological structure (Korea)*", *Geomorphology*, Vol. 46, pp. 149-162.
17. Lee, S (2007), "*Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping*", *Engineering Geology*, No. 50, pp. 847-855.

18. Moreiras, S. (2005) , *"Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley"* , Argentina, Geomorphology. Vol. 66, pp. 345-357
19. Suzen, M. L. and Doyuran, V (2004) , *Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information system: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey* , Engineering Geology, No. 71, pp. 303-321.
20. Van Westen, C.J. Rengers. N. Terline. M. and Soeters, R (1997) , *Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation* , Geo Rundsch, No. 86, pp. 404-414.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

