

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)

کوروش شیرانی^{۱*} و عبدالله سیف^۲

^۱ استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران.
^۲ استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۲۶

چکیده

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد و بسیاری از این روش‌ها بر اساس شرایط ویژه مناطق مورد بررسی، بنا می‌شود. در این نوشتار، ابتدا منطقه پشتکوه (شهرستان فریدون شهر) به وسعت تقریباً ۷۷۶۴۶ هکتار واقع در باختر استان اصفهان انتخاب شد. سپس با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای (ETM+2002)، نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه‌شده و بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه شد. همچنین با استفاده از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات انجام شده در مناطق مشابه با حوضه‌های کارون شمالی و دز علیا و نقشه‌های موضوعی موجود، اقدام به بررسی و تعیین ۸ عامل عمده مؤثر در رخداد زمین لغزش شامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، گسل، آبراهه و نقشه‌های لازم در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ شد. به منظور بالا بردن دقت، سرعت و سهولت تحلیل، تمامی اطلاعات مکانی و توصیفی وارد نرم‌افزار ArcGIS شد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و وزن‌دهی به عوامل مؤثر با استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با دو روش آماری دو متغیره تراکم سطح (Density Area) و ارزش اطلاعات (Information Value) کرده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. با افزایش شاخص نسبت تراکم (Dr) (به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر) در هر دو روش پهنه‌بندی خطر لغزش، درجه خطر افزایش می‌یابد و تفکیک پذیری بین رده‌های پهنه‌های خطر قابل قبول و افزایشده است. شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) (برای مقایسه روش‌ها با همدیگر) به ترتیب برای روش ارزش اطلاعات (Information Value) ۰/۶۵ و ۰/۳۴ و برای تراکم سطح (Density Area) ۰/۵۶ و ۰/۲۸ بوده که نمایانگر آن است که روش ارزش اطلاعات (Information Value) نسبت به روش تراکم سطح (Density Area) در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، دارای برتری و مطلوبیت بهتری است.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین لغزش، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روش آماری دو متغیره، تراکم سطح، ارزش اطلاعات

*نویسنده مسئول: کوروش شیرانی

E-mail: kouroshehshirani@gmail.com

۱- مقدمه

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را مورد توجه قرار دهند. با استفاده از نتایج چنین تحقیقاتی می‌توان نقشه‌های خطر زمین لغزش را رسم کرده و از آنها در بررسی و مطالعه راه‌های پیشگیری و کنترل زمین لغزش استفاده کرد.

به‌طور کلی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (Landslide Hazard Zonation) به دو صورت تجربی و آماری اقدام به تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق جدا از هم کرده و این مناطق را بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش رتبه‌بندی می‌کنند (شریعت‌جعفری، ۱۳۷۵) که در این نوشتار روش‌های آماری ارزش اطلاعات و تراکم سطح مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۱-۱. پیشینه تحقیق: پیشینه استفاده از روش‌های آماری برای پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌ها در دنیا عموماً از دهه ۱۹۹۰ به بعد دیده می‌شود. از نمونه کارهای علمی - تحقیقاتی انجام شده در این رابطه در ایران و جهان به مواردی مانند سعدالدین (۱۳۷۳)، حق‌شناس (۱۳۷۵)، پژم (۱۳۷۵)، بداغی (۱۳۷۶)، کهنی میانجی (۱۳۷۷)، نیک‌اندیش (۱۳۷۸)، سیارپور (۱۳۷۸)، فتاحی اردکانی (۱۳۷۹)، فتاحی اردکانی و همکاران (۱۳۸۲)، اشقلی فراهانی (۱۳۸۰)، فراهادی نژاد (۱۳۸۱)، جلالی (۱۳۸۱)، سفیدگری (۱۳۸۱)، شیرانی (۱۳۸۳)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۴)، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۵)، ایزدی (۱۳۸۵)، شریعت‌جعفری و غیومیان (۱۳۸۷)، علیمحمدی و همکاران (۱۳۸۸)، علیمرادی (۱۳۸۹)، Guzzetti et al. (1997), Van Westen et al. (1991), Carrara et al. (2000), Ercanoglu & Cokceoglu (2002) می‌توان اشاره کرد.

در مواردی از این منابع که صحت‌یابی نتایج خروجی مدل‌های آماری نیز در آنها انجام شده، عموماً کارایی مدل‌های آماری دو متغیره و چند متغیره را نسبت به دیگر روش‌ها مطلوب ارزیابی کرده‌اند. از جمله این موارد نیک‌اندیش (۱۳۷۸) در

زمین لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. خسارات زیان‌بار زمین لغزش در سراسر دنیا بسیار زیاد بوده و تاکنون جان تعداد زیادی از انسان‌ها را گرفته است. برای مثال، در بهار سال ۱۳۷۷ روستای آبیکار در منطقه بازفت چهارمحال و بختیاری در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ مدفون شد و همه اهالی این روستا از بین رفتند (بلورچی و انصاری، ۱۳۷۸). بر اساس گزارش کمیته ملی کاهش آثار بلایای طبیعی وزارت کشور در سال ۱۳۷۳، سهم خسارت سالانه ناشی از حرکت‌های توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (زکی زاده، ۱۳۷۳). پیش‌بینی رخداد زمین لغزش در یک منطقه در کاهش خطرات و خسارات ناشی از بروز این امر نقش مؤثری دارد. همچنین حرکت‌های توده‌ای، نقش مؤثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، ایجاد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبریز داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده فعال در لندفرم‌های کوآترنری است. از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها دشوار است، از این روش‌شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، دارای اهمیت است و تا حد امکان باید از مناطق با احتمال پتانسیل نسبی بالاتر خطر زمین لغزش دوری کرد. مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است که کارایی هر کدام از آنها در مناطق مختلف متفاوت است (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰).

شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در یک محدوده، باعث می‌شود با اطمینان بالاتری به نتایج، برای پیشگیری یا بهبود شرایط، اقدامات لازم انجام شود. اهمیت این نقشه‌ها در مراحل برنامه‌ریزی، فعالیت‌های عمرانی، حفاظت خاک و ... باعث شده است تا گروه زیادی از محققان، تهیه

شاخص‌های نسبت تراکمی (Dr) اقدام به مقایسه پهنه‌های خطر در هر روش و به کمک شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به همدیگر، این دو روش مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

۲-۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد بررسی: با توجه به نقشه پارامترهای مؤثر تهیه شده، نیاز مدل‌های مختلف پهنه‌بندی به داده‌ها و امکان نظارت و کنترل مراحل اجرا، انعطاف‌پذیری داده‌ها در روش‌های آماری، در این نوشتار از روش‌های آماری دو متغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی) استفاده شده است.

۲-۲. روش آماری دو متغیره (Bivariate Statistical Method): در روش آماری دو متغیره لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه در نرم‌افزار ArcGIS9.3 هر کدام در مقایسه با نقشه پراکنش لغزش‌ها به عنوان دو متغیر مستقل (عوامل) و وابسته (نقشه پراکنش لغزش) به صورت دوتایی در نظر گرفته شدند. بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوطه، به منظور تعیین نقش هر یک از عوامل در رخ داده، زمین‌لغزش، لایه‌های مختلف، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند.

به عبارت دیگر هر عامل محیطی، به عنوان یک لایه اطلاعاتی جداگانه نسبت به رخداد لغزش برای کل منطقه، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و سپس با جمع جبری، وزن لایه‌های اطلاعاتی احتمال رخداد زمین‌لغزش کلی به دست آمده و نقشه پهنه‌بندی خطر تهیه شد. اساس این روش بر این فرض استوار است که زمین‌لغزش‌های آینده در شرایطی مشابه شرایط زمین‌لغزش‌های رخ داده روی می‌دهد. در صورتی که تعداد عوامل مرتبط با زمین‌لغزش محدود باشد و اطلاعات کامل از نقش این عوامل در رخداد زمین‌لغزش وجود داشته باشد، این روش می‌تواند به عنوان ابزاری سودمند، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گیرد (فاطمی‌عقدا و همکاران، ۱۳۸۲، ۱۹۵۵؛ Haeri & Samaiee, 1995; van Westen et al., 1993a, b, 1996, 1997).

در این نوشتار برای محاسبه وزن هر عامل و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از دو روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح استفاده می‌شود، پس از مقایسه و تجزیه و تحلیل عوامل و ایجاد نقشه‌های وزنی، بهترین روش را با بالاترین میزان دقت و درستی می‌توان معرفی کرد (شیرانی، ۱۳۸۳). در ادامه به تشریح این دو روش پرداخته می‌شود.

روش آماری دو متغیره ارزش اطلاعات: این روش توسط Yin & Yan (1988) ابداع شد. در این روش با توجه به رابطه متغیرهای مؤثر در رخداد زمین‌لغزش با پراکندگی زمین‌لغزش‌ها اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌شود (Jade & Sarkar, 1993; van Westen, 1993a, 1996, 1997 Ilwis applications) (Guide, 1997)

بر این اساس وزن و سهم هر یک از پارامترها در رخداد زمین‌لغزش بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{Ln}W_i = \text{Ln} \left(\frac{\text{Densclass}}{\text{Densmap}} \right) = \text{Ln} \left(\frac{\frac{\sum \text{Npix}(\text{Si})}{\sum \text{Npix}(\text{Ni})}}{\frac{\sum \text{Npix}(\text{Si})}{\sum \text{Npix}(\text{Ni})}} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن W_i وزن مربوط به طبقه مشخص از یک متغیر، Densclass تراکم زمین‌لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر، Densmap تراکم زمین‌لغزش در کل محدوده، $\text{Npix}(\text{Si})$ تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر طبقه از پارامتر، $\text{Npix}(\text{Ni})$ تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر هستند (شکل ۹). پس از تهیه نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین‌لغزش، همه آنها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست می‌آید. در مورد مقدار عددی وزن‌ها، هر چه عدد منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده تأثیر کمتر پارامتر مربوطه در رخداد زمین‌لغزش و عدد مثبت‌تر نشان‌دهنده بیشترین تأثیر است.

روش آماری دو متغیره تراکم سطح: در این روش مانند روش ارزش اطلاعاتی از طریق روابط (۲) و (۳)، برای هر نقشه عامل یا پارامتر، تراکم زمین‌لغزش محاسبه

قابل پایان‌نامه دکتری در آزمون روش‌های آماری ارزش اطلاعاتی، وزن پارامترها و تراکم سطح، در منطقه کارون میانی در زاگرس، مدل تحلیل آماری دو متغیره ارزش اطلاعاتی را مناسب‌تر از دیگر روش‌ها ارزیابی کرد (نیک‌اندیش، ۱۳۷۸). شیرانی و همکاران (۱۳۸۴) در آزمون روش‌های آماری در منطقه دیگری از زاگرس (حوضه رودخانه ماربر شهرستان سمیرم واقع در جنوب اصفهان) در بین مدل‌های مورد آزمون به نتایج مشابهی دست یافتند (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴). مؤلفان این موضوع را در شرایط ذاتی و محیطی حاکم بر بخشی دیگر از زاگرس (حوضه دز علیا شهرستان فریدون شهر واقع در باختر استان اصفهان) تحقیق کردند که نتایج آن در ادامه آمده است.

۲-۱. موقعیت و وسعت حوضه مورد مطالعه: این منطقه در حد فاصله طول جغرافیایی $36^{\circ} 49'$ تا $19^{\circ} 50'$ طول خاوری و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 32'$ تا $05^{\circ} 33'$ عرض شمالی قرار دارد. وسعت منطقه مورد مطالعه ۷۷۶۴۶ هکتار است. در شکل ۱ موقعیت عمومی حوضه نسبت به مرز سیاسی استان و کشور نشان داده شده است. شهرستان فریدون شهر با ارتفاع میانگین ۲۵۰۰ متر از سطح دریا منطقه‌ای کوهستانی است که به صورت زبانه‌ای در میان استان‌های لرستان، خوزستان و چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه در بالاترین بخش‌های حوضه آبریز دو رودخانه بزرگ ایران، یعنی زاینده‌رود و کارون واقع است. به‌طور کلی، این شهرستان دارای ۵ دهستان است که عبارتند از: برف انبار، عشایر، پیشکوه موگویی، پشتکوه موگویی، چشمه لنگان که هر کدام از این دهستان‌ها شامل تعداد زیادی روستا است (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۸).

۳-۱. زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه: عمده منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف (شمال-شمال‌باختر و جنوب-جنوب‌باختر) تشکیل داده است و تنها در بخش مرکزی حوضه ریخت‌شناسی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به همراه دشت نسبتاً باریکی بین روستاهای وهرگان، مصیر، زمستانه گسترش دارد (محمودی، ۱۳۸۷). ناحیه موردنظر در سلسله جبال زاگرس در زون زاگرس مرتفع (High Zagros Zone) جای گرفته و در واقع، به دلیل عملکرد راندگی گسل زاگرس ناگهان به پیکر بلندی در کنار و موازی بخش زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است (رهنما، ۱۳۸۳).

محدوده مورد بررسی از دیدگاه زمین‌ساخت پر فعالیت و فعال بوده است. رژیم ساختاری غالب، متأثر از فعالیت گسل‌های راندگی و تا اندازه‌ای راستالغز است. این حوضه همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در زاگرس مرتفع قرار دارد. روند ساختارهای خطی و محور چین‌خورده‌گی به‌طور عمده هم امتداد با امتداد شمال‌باختر- جنوب خاور زاگرس است.

۲- مواد و روش تحقیق

در این نوشتار ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و تصویر ماهواره‌ای Landsat TM و همچنین پیمایش صحرایی و برداشت به کمک GPS، پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نقشه درآید. در مرحله بعد با استفاده از داده‌های موجود، نقشه‌های پایه و تصاویر ماهواره‌ای لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش تهیه شد. پس از تعیین مساحت زمین‌لغزش در طبقات مختلف هر یک از عوامل مؤثر و تعیین نسبت سطح لغزش یافته در هر طبقه از نقشه پارامتر (عامل مؤثر) به عنوان معیار وزن‌دهی، اقدام به کمی کردن عوامل مؤثر و وزن‌دهی به طبقات بر اساس روابط مربوط به روش آماری دو متغیره ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح نقشه‌های وزنی ایجاد می‌شود. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از دو روش، نقشه‌های وزنی عوامل مؤثر با هم جمع جبری شده و بر اساس نقاط عطف نمودار تجمعی فراوانی وزن‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در هر روش به دست می‌آید. در پایان با استفاده از

می‌شود و سپس مانند مراحل یاد شده، در روش ارزش اطلاعاتی اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش می‌شود (Lee & kyungduck, 2001) (شکل ۱۰).

$$D_{area} = \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$W_{area} = 1000 \left[D_{area} - \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن Darea تراکم زمین لغزش در هر رده از پارامتر، Npix (SX_i) تعداد پیکسل‌های زمین لغزش در هر رده از هر پارامتر مشخص، Npix (X_i) تعداد کل پیکسل‌ها در هر رده از پارامتر مشخص، Warea وزن متغیر هر رده از هر پارامتر.

۲-۳. پراکنش زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه: برای ارزیابی و تعیین خطر زمین لغزش در هر منطقه، مهم‌ترین مرحله شناسایی و بررسی زمین لغزش‌های روی داده و مطالعه عواملی است که این زمین لغزش‌ها را کنترل می‌کنند (شریعت‌جعفری، ۱۳۷۵). در واقع به نقشه درآوردن زمین لغزش‌های قدیمی و جدید منطقه، مبنای کار و تهیه نقشه پهنه‌بندی است. برای به نقشه در آوردن انواع زمین لغزش‌های روی داده در محدوده مورد مطالعه، ابتدا عکس‌های هوایی منطقه، مربوط به سال ۱۳۷۴ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکوپ و همچنین داده‌های ماهواره‌ای لندست هفت توسط نرم‌افزار ENVI تفسیر شدند و مناطق مشکوک به لغزش تعیین شد. سپس در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی دقیق، موقعیت لغزش‌ها (مختصات جغرافیایی) با استفاده از دستگاه GPS با دقت زیاد به نقشه درآمد (شکل ۲). لغزش‌های موجود در منطقه، به‌طور عمده شامل لغزش‌های خاکی هستند، در مجموع در محدوده مورد مطالعه ۸۳ عدد زمین لغزش به نقشه درآمد که از این تعداد ۶۶ عدد از نوع لغزش خاکی و ۱۷ عدد از نوع ریزش سنگی است (شکل ۳ و ۴).

۲-۴. لایه‌های اطلاعاتی: در این نوشتار پس از بررسی عوامل مختلف مؤثر لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه در نرم‌افزار ArcGIS9.3 تهیه شد. لازم به یادآوری است انتخاب لایه‌های اطلاعاتی یا عوامل مؤثر در لغزش بر اساس بازدهی و بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات انجام‌شده در مناطق مشابه با حوضه‌های کارون شمالی و دز علیا و نقشه‌های موضوعی موجود است (حائری و سمیعی، ۱۳۷۶ و حافظی مقدس، ۱۳۷۲). در ادامه به تشریح این ۸ عامل که به عنوان عوامل اصلی شناسایی شده‌اند، پرداخته می‌شود.

– شیب: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقمی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۲) و ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۸) و توابع Topo to Raster به منظور ایجاد نقشه مدل ارتفاعی رقمی (DEM) و Slope در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. این نقشه بر حسب درصد به ۵ رده تقسیم می‌شود، بر اساس جدول ۱ از نظر وزنی رده ۱۲ تا ۲۵ درصد دارای بیشترین میزان زمین لغزش است. با توجه به این که بیشترین شیب در مناطق با سازندهای حساس به لغزش و مناسب برای تشکیل خاک (اجزای سست و ناپیوسته) رده ۱۲ تا ۲۵ درصد است، بنابراین این رده می‌تواند دارای بیشترین پتانسیل زمین لغزش باشد. همچنین صرف نظر از رده ۱۲ تا ۲۵ درصد، به ترتیب با افزایش شیب، پتانسیل زمین لغزش افزایش می‌یابد.

– جهت شیب: نقشه جهت شیب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقمی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و توابع Topo to Raster به منظور ایجاد نقشه مدل ارتفاعی رقمی (DEM) و Aspect در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۲). این نقشه بر اساس ۸ جهت اصلی و فرعی جغرافیایی طبقه‌بندی می‌شود، بر اساس جدول ۲ از نظر وزنی به ترتیب رده‌های جهت شمالی (N)، شمال باختری (NW) و خاوری (NE) دارای بیشترین میزان زمین لغزش هستند. این موضوع ناشی از آن

است که در دامنه‌های شمالی به دلیل زاویه و طول مدت کمتر تابش خورشیدی در نیمکره شمالی دارای بیشترین رطوبت خواهند بود. بنابراین شرایط مهیاتری نسبت به دامنه‌های جنوبی برای رخداد زمین لغزش در این دامنه‌ها وجود خواهد داشت.

– سنگ‌شناسی: نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه پس از انجام بررسی‌های دقیق نقشه‌های زمین شناسی، داده‌های ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و پیمایش صحرایی، تهیه شد (نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ برگه‌های گلپایگان و شهرکرد، ۱۳۷۷، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، منطقه پیشکوه فریدونشهر، ۱۳۷۶) (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۷۷). در جدول ۳ مقادیر وزنی واحدهای مختلف آورده شده است. واحد آبرفتی (آلوویم) و پادگانه‌های (تراس) قدیمی متعلق به عهدحاضر (Q) بیشترین تأثیر را در رخداد زمین لغزش‌ها دارد. این واحد سنگ‌شناسی به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند هوازدگی شدید، نفوذپذیری کم و باقی ماندن حجمی زیادی آب در داخل آن، همچنین نبود پوشش گیاهی چشمگیر، حتی در شیب‌های کم نیز امکان لغزش و حرکت دارد. در مرتبه بعدی تشکیلات شیل، مارن و کنگلومرا (K8, k7, PI) قرار دارند. رسوبات آهک دولومیتی (J1)، رادیولاریت و کنگلومرا متعلق به کرتاسه (Kp) و آهک‌های خاکستری و صخره‌ساز (km) به ترتیب تأثیر کمتری در رخداد زمین لغزش دارند (شکل ۵ و ۶).

- بارندگی سالانه: بارندگی، یکی از عوامل بسیار مهم در ایجاد و تسریع زمین لغزش‌هاست. نقش آب در گسیختگی شیب‌ها و رخداد لغزش و همچنین به صورت عامل کاهش‌دهنده مقاومت برشی سطوح است (Ercanoglu & Cokceoglu, 2002; Cornforth, 2005). نقشه بارندگی سالانه بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه تهیه شد. رسم منحنی‌های هم‌باران با استفاده از روش آماری میان‌یابی (Kriging) و در محیط نرم‌افزار Surfer صورت گرفت. در جدول ۴ طبقات هم‌باران سالانه و مقادیر وزن آنها نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است، در بسیاری از موارد برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به‌جای استفاده از عامل بارندگی سالیانه، از عامل شدت بارندگی استفاده می‌شود، اما در مورد منطقه مورد مطالعه به علت جنس توده لغزشی که مارنی است و دارای نفوذپذیری خیلی کم است، شدت بارندگی نمی‌تواند نقش چندانی داشته باشد و آنچه مهم است دوام بارندگی است که معمولاً در ماه‌های بهمن تا اردیبهشت، بیشترین میزان بارندگی در منطقه وجود دارد.

– فاصله از جاده: نقشه فاصله از جاده با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقمی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور و اعمال توابع Distance و Reclassify و Union کردن آن با نقشه پراکنش لغزش‌ها در محیط ArcGIS تهیه شد. سپس در محیط Arc GIS طبقات فاصله از جاده به سه رده تقسیم شد. بر اساس جدول ۵ با افزایش فاصله از جاده پتانسیل زمین لغزش کاهش می‌یابد.

فاصله از گسل: برای تهیه نقشه گسل‌های منطقه از داده‌های ماهواره‌ای ETM+2002 در محیط نرم‌افزار ENVI4.7 استفاده شد. با استفاده از فرایند بارزسازی تصاویر، گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی و فرعی منطقه به دقت شناسایی شدند. برای بارزسازی تصاویر معمولاً از یک سری فیلترهای مکانی استفاده می‌شود. از جمله فیلترهای مورد استفاده در این نوشتار، فیلترهای گذر بالا (High Pass Filter) و زاویه تابش خورشید (Sun Angle) است. تصویر ماهواره‌ای شکل ۷ پردازش داده‌های ماهواره لندست هفت سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۲ به صورت ترکیب رنگی مجازی باندهای RGB=741 پس از اعمال فیلتر گذر بالا از نوع Sharpen 2 و اعمال کشیدگی از نوع Histogram equalize بر روی هر باند ایجاد شده است. بر اساس جدول ۶ با افزایش فاصله از گسل پتانسیل زمین لغزش کاهش می‌یابد.

– فاصله از آبراهه: نقشه فاصله از آبراهه نیز مانند نقشه جاده با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقمی ۱:۲۵۰۰۰ و اعمال تابع Distance و Reclassify و Union آن

$$Dr = \frac{\sum_i S_i}{\sum_i A_i} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: S_i = مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر، A_i = مساحت آمین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی، n = تعداد رده‌های خطر.

در یک روش (نقشه) پهنه‌بندی، تراکم لغزش رده با $Dr = 1$ معادل با میانگین تراکم لغزش در کل منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) از دقت یا بیشترین مطلوبیت برخوردار است.

مقدار مجموع کیفیت (Qs) که توسط رابطه (۵) محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هرچه مقدار مجموع کیفیت (Qs) بیشتر باشد، روش از درستی یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت از رابطه (۵) بدست می‌آید (ایزدی، ۱۳۸۵؛ رهنما، ۱۳۸۳؛ علم‌محمدی، ۱۳۸۸؛ Gee, 1992).

$$Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr-1)^2 \times S) \quad \text{رابطه (۵)}$$

Qs = مجموع کیفیت، Dr = نسبت تراکم، S = نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه، n = تعداد کلاس خطر

۳-۳. دقت روش (P): عبارت است از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه‌ها (Jade & Sarkar, 1993) (رابطه ۶).

$$P = KS/S \quad \text{رابطه (۶)}$$

P = دقت روش در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد KS = مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد S = مساحت پهنه‌های خطر مربوطه.

جدول ۹ دقت روش P را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از داده‌های جدول ۹ بیانگر آن است که در هر دو روش، نسبت تراکمی (Dr) که در برخی منابع از آن به نام شاخص زمین‌لغزش (Landslide Index) یاد شده است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ 1997a, 1997b, 1996, Van Westen et al.)، ضمن تفکیک پذیری خوب، متناسب با افزایش خطر پهنه‌ها، افزایش یافته است. این موضوع نشانگر دقت خوب تفکیک‌پذیری پهنه‌های خطر در هر دو روش بوده که مؤید تحقیق شیرانی (۱۳۸۶) و شریعت‌جعفری (۱۳۷۵) نیز است (شریعت‌جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴).

همچنین همان‌گونه که در جدول ۹ آمده است، مقدار شاخص مجموع کیفیت (Qs) که بیانگر مقایسه و ارزیابی روش‌ها نسبت به یکدیگر است، در روش ارزش اطلاعات، بیشترین مقدار (۰/۶۵) را نسبت به تراکم سطح (۰/۵۶) کسب کرده است یا به عبارت دیگر مطلوبیت بهتری دارد. این در حالی است که دقت روش ارزش اطلاعات در پیش‌بینی خطر (P) برای پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، با مقدار ۰/۰۳۴ نسبت به روش تراکم سطح با مقدار ۰/۰۲۸ مناسب‌تر است.

۴ - نتیجه‌گیری

بر اساس روش‌های یادشده در بالا، مدل‌های آماری رگرسیونی و تحلیل سلسله مراتبی در منطقه اعمال شده و نتایج زیر از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بدست آمد.

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج فاطمی‌عقدا و همکاران (۱۳۸۲)، شیرانی و

با نقشه پراکنش لغزش‌ها در محیط ArcGIS تهیه شد. بر اساس جدول ۷ رده ۰ تا ۲۰۰ متر بیشترین پتانسیل لغزش را دارد. به‌طور کلی با افزایش فاصله از آبراهه میزان پتانسیل زمین‌لغزش کاهش می‌یابد.

کاربری زمین‌ها و پوشش گیاهی: از آنجا که نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین‌ها در رخدادهای پدیده زمین‌لغزش مؤثر است، بنابراین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و همچنین پیمایش صحرایی، نقشه پوشش گیاهی تهیه شد. در محدوده مطالعاتی، می‌توان پوشش‌های مختلفی را تعیین کرد. بخشی از زمین‌ها فاقد پوشش گیاهی هستند. این زمین‌ها به صورت صخره‌های سنگی رخنمون دارند و یا پوششی از رسوبات منفصل واریزه‌ای، آنها را فراگرفته و فاقد هرگونه رویش گیاهی هستند. نوع دیگری از پوشش گیاهی موجود در محدوده، زمین‌های مرتعی است. در نقشه تهیه‌شده بر اساس کاربری، مناطق کوهستانی و فاقد پوشش گیاهی و مناطق مرتعی و علفزار به عنوان یک واحد جداگانه در نظر گرفته شده است. بخش‌هایی از منطقه نیز دارای تراکم متوسطی از درخت و درختچه‌هایی هستند، که به علت قطع بی‌رویه برای مصارف سوخت، روبه نابودی می‌روند، این بخش‌ها در واقع جنگل‌هایی را تشکیل می‌دهند که تراکم کمی دارند. دیگر پوشش گیاهی موجود در منطقه درختان منفرد خودرو تا محدوده‌های درختکاری شده است. بخش دیگری نیز زمین‌های کشاورزی است، که شامل زمین‌های کشاورزی آبی می‌شود و بیشتر در پیرامون مناطق مسکونی دیده می‌شود. بر اساس جدول ۸ مناطق کشاورزی به دلیل اثرات ناشی از آبیاری و زهکشی و مرتع فقیر (poorrange) بیشترین پتانسیل را دارد. با توجه به این که منطقه از نظر زمین‌شناسی در زون زاگرس رورانده با شیب توپوگرافی زیاد قرار دارد و همچنین به دلیل وجود سازندهای سنگی سخت آهک‌های توده‌ای کرتاسه منطبق با شیب‌های تند، بنابراین این مناطق به‌رغم وجود شیب زیاد دارای پتانسیل لغزش کم هستند. مطابق جدول ۸، طبقه کاربری زمین‌های صخره‌ای (Rock) با کمترین مقدار تراکم زمین‌لغزش، مؤید این مطلب است.

در جداول ۱ تا ۸ مقادیر وزنی رده‌های هشت پارامتر مؤثر در رخدادهای زمین‌لغزش در دو روش تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی ارائه شده است. در شکل ۸ نقشه هشت پارامتر مؤثر در رخدادهای زمین‌لغزش آمده است.

۳ - بحث

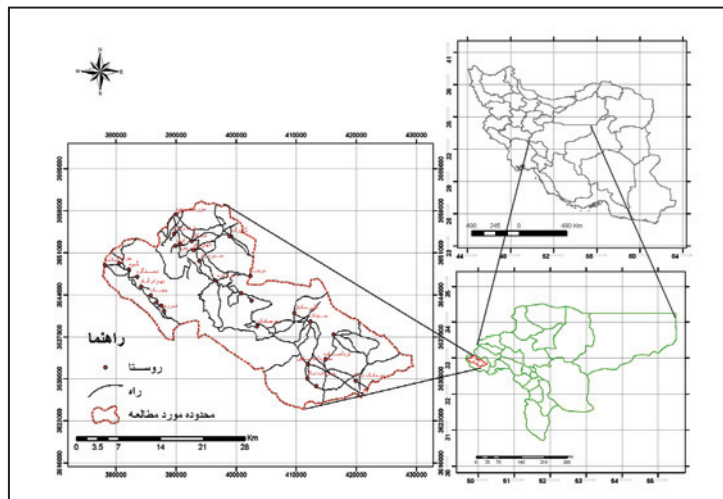
۳-۱. ارزیابی و مقایسه روش‌های آماری دو متغیره مورد استفاده: در این مرحله با تلافی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های آماری دو متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح، در محیط GIS، ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شد (شکل ۹ و ۱۰). لازم به یادآوری است که استفاده از شاخص‌های نسبت تراکمی (Dr) به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر (طبقات هر عامل) در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به همدیگر، کاربرد دارند.

به عبارت دیگر، شاخص مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P)، مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی و شاخص نسبت تراکم (Dr) دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند (ایزدی، ۱۳۸۵؛ رهنما، ۱۳۸۳؛ سفیدگری، ۱۳۸۱؛ شریعت‌جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷؛ شیرانی، ۱۳۸۲؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ فتاحی‌اردکانی و همکاران، ۱۳۸۲؛ Guzzetti et al., 2000; Ilwis applications Guide, 1997; VanWesten et al., 1996; Yin & Yan, 1997b 1988).

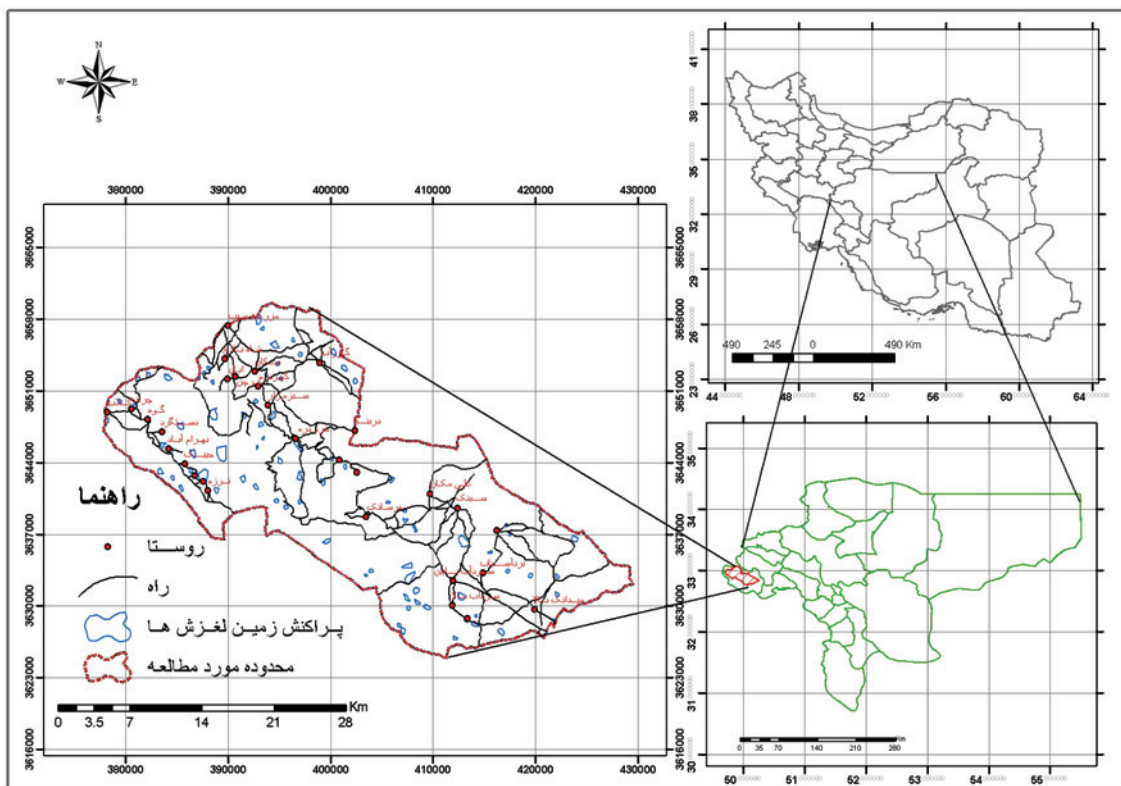
۳-۲. درستی یا مجموع کیفیت (Qs): برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه شود که در قالب رابطه (۴) محاسبه می‌شود (سعدالدین، ۱۳۷۳؛ علم‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Gee, 1992).

بدون بعد کرده (صفر برای بیشترین عدد منفی به عنوان پایدارترین رده و عدد یک برای بیشترین عدد مثبت به عنوان ناپایدارترین رده) و مقدار آنها را بر اساس نسبت صفر و یک محاسبه کنیم. سپس میانگین اعداد حاصل را در تفاضل برداری بین بیشترین عدد منفی و مثبت اوزان اولیه، به عنوان وزن هر عامل ضرب نماییم، آنگاه بر اساس مقادیر حاصل، به ترتیب عوامل سنگ شناسی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، مقدار شیب، فاصله از گسل، بارندگی سالانه، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده به ترتیب دارای بیشترین تأثیر در زمین لغزش هستند. با توجه به شاخص دقت (P)، روش ارزش اطلاعات در رده های بالا و بسیار بالا نسبت به روش تراکم سطح کارایی بهتری دارد.

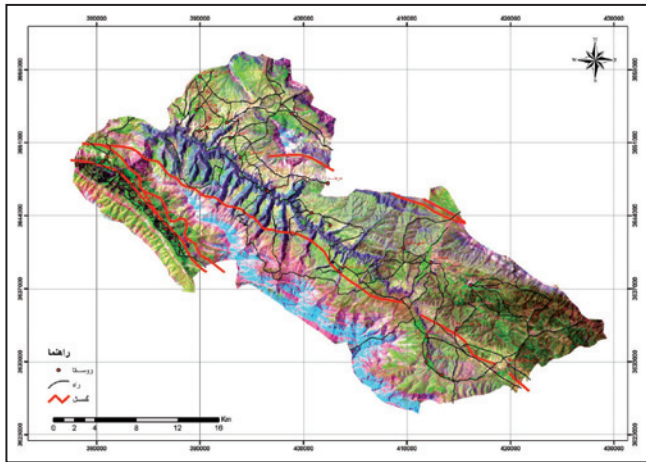
همکاران (۱۳۸۵)، شریعت جعفری و همکار (۱۳۸۷) و شادفر و همکاران، (۱۳۸۷) که روش ارزش اطلاعات را به عنوان یک روش مناسب و کارآمد در بیشتر شرایط می دانند، همخوانی دارد (شادفر و همکاران، ۱۳۸۷؛ شریعت جعفری و غومیان، ۱۳۸۷؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲). بر اساس شاخص های Quality Sum و percision، همان گونه که اشاره شد روش ارزش اطلاعات کارایی بهتری نسبت به روش تراکم سطح در منطقه مورد مطالعه داشته است. همان گونه که در شکل ۱ دیده می شود با توجه به شاخص نسبت تراکمی (Dr)، افزایش خطر رده های پایین به بالا در روش ارزش اطلاعات روند مناسب تری دارد. در صورتی که اوزان رده های هر عامل در جداول ۲ تا ۹ را به نسبت صفر و یک



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه پیشکوه فریدون شهر نسبت به مرز سیاسی استان اصفهان.



شکل ۲- نقشه پراکنش زمین لغزش ها در منطقه پیشکوه فریدون شهر



شکل ۷- ترکیب رنگی مجازی سنجنده 2002 ETM+ از باندهای ۷-۴-۱ محدوده مورد مطالعه همراه با گسل‌های مورد بررسی



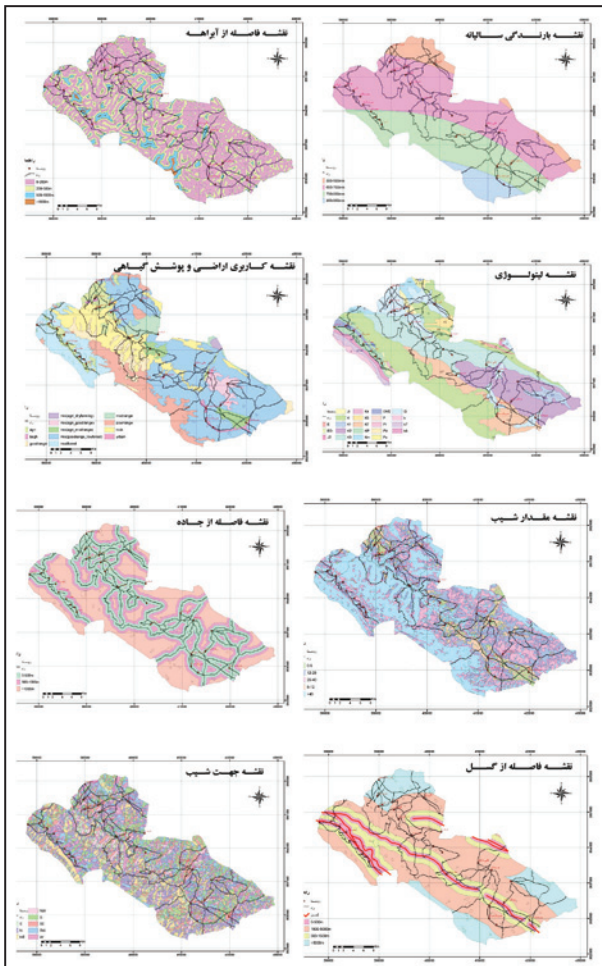
شکل ۳- لغزش خاکی در سازند شهبازان



شکل ۴- ریزش سنگی در کنگلومرای بختیاری



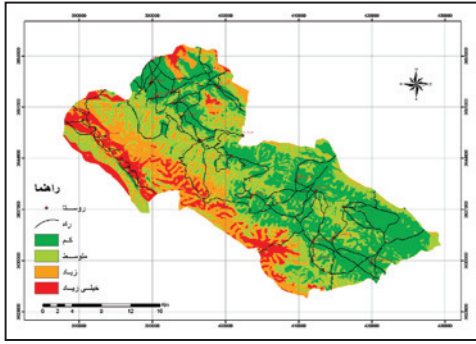
شکل ۵- رادیولاریت و کنگلومرا (سازند امیران و تارپور)



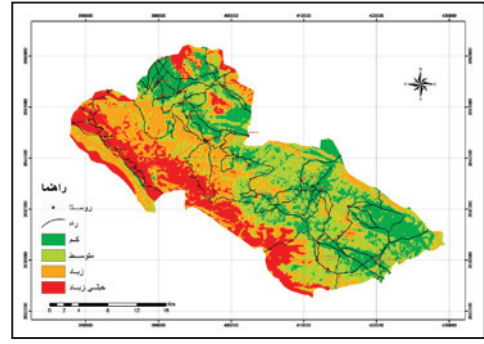
شکل ۸- نقشه هشت عامل مؤثر در زمین‌لغزش



شکل ۶- آهک نازک لایه رسی k3



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تراکم سطح



شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش ارزش اطلاعات

جدول ۱- رده‌های مختلف گرادایان شیب در منطقه مورد مطالعه

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از درصد شیب	مساحت هر طبقه از درصد شیب	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از درصد شیب (km ²)	طبقات درصد شیب
-۱۵/۵۵	-۱/۵۷	۰/۰۰۴	۶۲۱۲/۶۱	۲۵/۳۰	۰-۵٪
-۱۲/۷۱	-۱/۰۴	۰/۰۰۷	۲۶۳۸/۹۲	۱۸/۲۴	۵-۱۲٪
۱۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۰۳۰	۳۲۵۷۶/۷۹	۹۶۵/۳۰	۱۲-۲۵٪
-۷/۷۹	-۰/۵۱	۰/۰۱۲	۱۶۸۵۴/۸۷	۱۹۹/۴۵	۲۵-۴۰٪
-۳/۳۴	-۰/۱۹	۰/۰۱۶	۱۹۳۶۳/۷۰	۳۱۵/۲۷	>۴۰٪

جدول ۲- رده‌های مختلف جهت شیب در منطقه مورد مطالعه

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از جهت شیب	مساحت هر طبقه از جهت شیب (km ²)	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از جهت شیب (km ²)	نام طبقه	طبقه‌بندی جهت شیب
۴/۴۳	۰/۲۰	۰/۰۲۴	۷۴۴۱/۶۳	۱۷۹/۰۱	شمال	N
۳/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۲۳	۱۲۰۰۹/۴۳	۲۷۲/۹۶	شمال باختر	NW
۲/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۲۲	۹۰۲۹/۱۲	۱۹۶/۱۶	شمال خاور	NE
-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۲۰	۸۰۹۷/۶۷	۱۵۸/۶۳	باختر	W
-۰/۳۹	-۰/۰۲	۰/۰۱۹	۱۰۲۸۹/۵۴	۱۹۷/۸۸	خاور	E
-۱/۶۲	-۰/۰۹	۰/۰۱۸	۱۱۲۶۹/۱۸	۲۰۲/۹۰	جنوب باختر	SW
-۲/۸۴	-۰/۱۶	۰/۰۱۷	۱۰۶۹۰/۸۰	۱۷۹/۴۳	جنوب خاور	SE
-۴/۱۴	-۰/۲۴	۰/۰۱۵	۸۸۱۹/۵۲	۱۳۶/۵۸	جنوب	S

جدول ۳- واحدهای سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از سنگ‌شناسی	مساحت هر طبقه از سنگ‌شناسی (km ²)	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از سنگ‌شناسی (km ²)	نام طبقه	طبقات سنگ‌شناسی
۵۰/۲۶	۱/۲۷	۰/۰۶۹۹	۱۲۵۹/۳۹	۸۸/۰۱	آبرفت و پادگانه‌های قدیمی	Q
۴۸/۵۵	۱/۲۵	۰/۰۶۸۲	۲۲۴۳/۸۳	۱۵۲/۹۷	شیل و مارن با میان‌لایه‌های آهک مارنی	k8
۳۲/۶۱	۰/۹۸	۰/۰۵۲۲	۶۶۳/۷۳	۳۴/۶۶	آهک مارنی، رسی ماسه‌ای	K7
۲۰/۳۰	۰/۷۱	۰/۰۳۹۹	۴۱۹/۳۰	۱۶/۷۴	کنگومرا و ماسه سنگ سخت (سازند بختیاری)	PI
۶/۹۰	۰/۳۰	۰/۰۲۶۵	۲۱۱۵۸/۰۴	۵۶۱/۲۴	آهک مارنی و ماسه سنگی (سازند آسماری)	OM2
-۰/۲۳	-۰/۰۱	۰/۰۱۹۴	۱۴۰۰۱/۰۲	۲۷۱/۵۴	آهک سفید، مارنی و دولومیتی (سازند شهبازان، جهرم و آسماری)	EO
-۵/۵۹	-۰/۳۴	۰/۰۱۴۰	۱۲۹۴۷/۳۷	۱۸۱/۷۱	آهک نازک لایه رسی	K3
-۶/۱۳	-۰/۳۷	۰/۰۱۳۵	۷۶۶۱/۰۳	۱۰۳/۳۵	آهک ریفی با میان‌لایه‌های شیل	K2
-۶/۳۵	-۰/۳۹	۰/۰۱۳۳	۸۰۸/۳۵	۱۰/۷۲	آهک اوریتولین دار	K
-۸/۴۱	-۰/۵۶	۰/۰۱۱۲	۸۱۷۵/۲۲	۹۱/۶۳	آهک دولومیتی	JI
-۹/۷۴	-۰/۶۹	۰/۰۰۹۹	۱۰۸۵/۰۶	۱۰/۷۳	رادپولاریت و کنگومرا (سازند امیران و تارپور)	KP
-۱۷/۸۰	-۲/۳۸	۰/۰۰۱۸	۱۳۵/۸۹	۰/۲۵	آهک خاکستری صخره‌ساز (سازند تله زنگ)	Km

جدول ۴- طبقات بارندگی سالیانه

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از بارندگی	مساحت هر طبقه از بارندگی	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از بارندگی (km ²)	طبقات بارندگی
-۴/۴۳	-۰/۲۶	۰/۰۱۵	۶۹۳۶/۰۴	۱۰۵/۳۴	۵۵۰-۶۵۰mm
-۲/۳۹	-۰/۱۳	۰/۰۱۷	۳۹۹۳۵/۰۴	۶۸۸/۱۵	۶۵۰-۷۵۰mm
۲/۵۷	۰/۱۲	۰/۰۲۲	۲۵۲۰۳/۱۷	۵۵۹/۳۷	۷۵۰-۸۵۰mm
۱۱/۰۱	۰/۴۵	۰/۰۳۱	۵۵۷۲/۶۴	۱۷۰/۷۰	۸۵۰-۹۵۰mm

جدول ۵- طبقات فاصله از جاده

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از فاصله از جاده	مساحت هر طبقه از فاصله از جاده (m)	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از فاصله از جاده (m)	طبقات فاصله از جاده
۲/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۲۲	۱۷۴۷۲/۵۶	۳۷۸/۴۱	۰-۵۰۰m
-۰/۷۸	-۰/۰۴	۰/۰۱۹	۳۳۴۵۱/۰۶	۶۳۰/۳۵	۵۰۰-۱۰۰۰m
-۴/۱۰	-۰/۲۳	۰/۰۱۶	۲۶۷۲۳/۲۸	۴۱۴/۸۰	>۱۰۰۰m

جدول ۶- طبقات فاصله از گسل

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از فاصله از گسل (km ²)	مساحت هر طبقه از فاصله از گسل (km ²)	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از فاصله از گسل (km ²)	طبقات فاصله از گسل
۲۳/۵۹	۰/۷۹	۰/۰۴۳	۹۶۲۹/۹۰	۴۱۶/۰۸	۰-۵۰۰m
-۱/۲۶	-۰/۰۷	۰/۰۱۸	۳۷۸۸۳/۱۲	۶۹۵/۵۷	۱۵۰۰-۵۰۰۰m
-۵/۱۱	-۰/۳۰	۰/۰۱۵	۱۴۲۲۶/۳۷	۲۰۶/۳۸	۵۰۰-۱۵۰۰m
-۶/۷۰	-۰/۴۲	۰/۰۱۳	۱۵۹۰۷/۵۱	۲۰۵/۵۳	>۵۰۰۰m

جدول ۷- طبقات فاصله از آبراهه

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از آبراهه	مساحت هر طبقه از آبراهه	مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه از آبراهه (km ²)	طبقات آبراهه
۶/۹۱	۰/۳۰	۰/۰۲۷	۲۴۶۳/۳۹	۶۵۳/۴۸	۰-۲۰۰m
-۱/۰۹	-۰/۰۶	۰/۰۱۹	۵۴۹۳/۵۴	۱۰۱/۸۱	۲۰۰-۵۰۰m
-۳/۳۲	-۰/۱۹	۰/۰۱۶	۴۷۱۴/۰۳۹	۷۶۸/۲۸	۵۰۰-۱۰۰۰m

جدول ۸- رده‌های کاربری اراضی

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	وزن هر طبقه در روش ارزش اطلاعات	تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از کاربری اراضی	مساحت هر طبقه از کاربری اراضی (km ²)	مساحت زمین‌لغزش در هر کاربری اراضی (km ²)	نام کاربری اراضی	طبقات کاربری اراضی
-۱۲/۶۹	-۱/۰۴	۰/۰۰۷	۲۳۱۶/۸۰	۱۶/۰۶	صخره	rock
-۸/۱۴	-۰/۵۴	۰/۰۱۱	۴۲۹۱/۹۷	۴۹/۲۸	مرتع خوب	goodrange
-۷/۷۶	-۰/۵۰	۰/۰۱۲	۳۳۶۲۶/۹۲	۳۹۸/۸۶	جنگل متوسط	modforest
-۰/۱۱	-۰/۰۱	۰/۰۲۰	۱۰۵۳۴/۵۵	۲۰۵/۵۸	جنگل ضعیف و مرتع خوب	mix(goodrange_lowforest)
۸/۴۱	۰/۳۶	۰/۰۲۸	۶۹۹/۱۷	۱۹/۶۰	باغ	bagh
۱۲/۵۰	۰/۴۹	۰/۰۳۲	۳۴۵۰/۱۰	۱۱۰/۸۳	کشاورزی و مرتع خوب	mix(agri_goodrange)
۱۳/۳۳	۰/۵۲	۰/۰۳۳	۲۲۴۲/۳۲	۷۳/۸۸	کشاورزی و مرتع متوسط	mix(agri_modrange)
۱۴/۱۱	۰/۵۴	۰/۰۳۴	۸۲۰۳/۵۹	۲۷۶/۶۹	زمین کشاورزی	agri
۲۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۰۴۰	۹۳۰۱/۱۷	۳۷۲/۷۹	مرتع فقیر	poorange

جدول ۹- مقایسه درستی و دقت روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد بررسی

P	Qs	S	KS	%Area	DR	Si مساحت لغزش (Km ²)	Ai مساحت (Km ²)	حساسیت رده خطر	مدل پهنه بندی
۰/۰۲۸	۰/۶۵	۳۱۵۴۱/۴۸	۸۹۴/۸۰	۰/۲۶	۰/۶۲	۲۴۲/۳۸	۱۹۸۰۰/۴۸	کم	ارزش اطلاعات (Information Value)
				۰/۳۴	۰/۷۵	۳۸۶/۳۹	۲۶۳۰۴/۹۳	متوسط	
				۰/۳۱	۱/۰۱	۴۷۹/۱۸	۲۴۱۳۲/۰۹	زیاد	
				۰/۱۰	۲/۸۶	۴۱۵/۶۱	۷۴۰۹/۴۰	خیلی زیاد	
						۱۵۲۳/۵۶۴۳	۷۷۶۴۶/۸۹۴	جمع	
۰/۰۳۴	۰/۵۶	۳۴۶۳۲/۷۷	۱۱۶۲/۹۵	۰/۲۴	۰/۱۹	۶۹/۱۶	۱۸۵۱۱/۳۷	کم	تراکم سطح (Density Area)
				۰/۳۲	۰/۶۱	۲۹۱/۴۵	۲۴۵۰۲/۷۵	متوسط	
				۰/۲۷	۱/۲۹	۵۳۳/۰۸	۲۱۱۶۳/۵۶	زیاد	
				۰/۱۷	۲/۳۹	۶۲۹/۸۷	۱۳۴۶۹/۲۲	خیلی زیاد	
						۱۵۲۳/۵۶۴۳	۷۷۶۴۶/۸۹۴	جمع	

کتابنگاری

- اشقلى فراهانى، ع.، ۱۳۸۰- ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۴۲ ص.
- ایزدی، ز.، ۱۳۸۵- پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری (نمونه موردی حوضه رودخانه ماربر). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- بداغی، ب.، ۱۳۷۶- پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخشی از حوضه شاهرود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران، ۱۵۸ ص.
- بلورچی، م. و انصاری، ف.، ۱۳۷۸- بهمن سنگی روستای آبیکار- کارخانه علیا در استان چهارمحال و بختیاری. اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیطی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۵۹-۶۰.
- پژم، م.، ۱۳۷۵- پهنه بندی خطر حرکت های توده ای در حوضه آبخیز الموت رود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۰ ص.
- جلالی، ن.، ۱۳۸۱- ارزیابی روش های متداول پهنه بندی خطر حرکات توده ای و معرفی روش سازگار در اقلیم نیمه مرطوب حوضه آبخیز طالقان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۳۶۰، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- حائری، س. م. و سمعی، ا. ج.، ۱۳۷۶- روش جدید پهنه بندی مناطق شیب دار در برابر خطر زمین لغزش با تأکید بر پهنه های مازندران، فصلنامه علوم زمین، سال ششم، شماره ۲۳ و ۲۴، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله خیز، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.
- حق شناس، ا.، ۱۳۷۵- پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳ ص.
- رهنما، ح.، ۱۳۸۳- پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه پشتکوه شهرستان فریدون شهر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- زکی زاده، ح.، ۱۳۷۳- بررسی عوامل مؤثر در حرکت توده ای حوزه آبخیز دریاچه ولشت و نحوه پیشگیری و کنترل آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۴۰ ص.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۸- نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، شین چقاگر گبرگ 5956IV، دره ساری ورقه 5556II، چاله پره ورقه 5955IV، وهرگان شیت 5955I، فریدون شهر ورقه 6055IV
- سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۷۷- نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بر گه های گلپایگان و شهر کرد.
- سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۶- عکس های هوایی ۱:۴۰۰۰۰۰، منطقه پیشکوه فریدون شهر.
- سعدالدین، ا.، ۱۳۷۳- بررسی اثرات پارامترهای هیدروژئومورفیک بر حرکات توده ای در حوضه آبخیز چشم- خطیرکوه سمنان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تربیت مدرس ۱۲۳ ص.
- سفیدگری، ر.، ۱۳۸۱- ارزیابی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوضه دماوند). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.
- سیارپور، م.، ۱۳۷۸- پهنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال- استان اردبیل. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۳ ص.
- شادفر، ص.، قدوسی، ج.، خلخال، ع. و کلارستانی، ع.، ۱۳۸۷- بررسی و ارزیابی روش های آماری دو متغیره و LNRF در پهنه بندی خطر زمین لغزش مطالعه موردی: حوزه آبخیز جنت رودبار. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۸، ص ۵۶-۶۴.
- شریعت جعفری، م.، ۱۳۷۵- مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی، انتشارات سازه.
- شریعت جعفری، م. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۷- ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دو متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴، ص ۱۳۷-۱۴۳.

- شیرانی، ک.، چاوشی، س. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۵- بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه، دانشگاه اصفهان، صفحه ۲۳-۳۵.
- شیرانی، ک.، ۱۳۸۲- ارزیابی مهم‌ترین روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور انتخاب روش مناسبی بر ای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم در مسیر رودخانه ماربر. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۹۶۱، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- شیرانی، ک.، غیومیان، ج. و مختاری، ا.، ۱۳۸۴- بررسی و ارزیابی آماری دومتغیره و چندمتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نشریه آب و آبخیز، ج ۲، شماره ۲، ص ۳۶-۴۷.
- علیمحمدی، ص.، پاشای یاول، ع.، شتایی جویباری، ش. و پارسایی، ل.، ۱۳۸۸- ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیدکلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره اول، ص ۵۹-۷۸.
- علیمردی، م.، ۱۳۸۹- ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره و سلسله مراتبی (AHP) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی حوضه کارون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده جغرافیا دانشگاه اصفهان، ۱۵۹ ص.
- غلامی، م.، ۱۳۸۶- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مخزن سد بهشت‌آباد مرکز استان چهارمحال بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- فاطمی عقدا، م.، غیومیان، ج. و اشقلی‌فراهانی، ع.، ۱۳۸۲- ارزیابی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۴۷-۴۸، صفحه ۲۸-۴۷.
- فتاحی‌اردکانی، م.، ع.، ۱۳۷۹- بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز لتیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش عالی امام خمینی.
- فتاحی‌اردکانی، م.، ع.، غیومیان، ج. و جلالی، ن.، ۱۳۸۲- لغزش در حوضه آبخیز سد لتیان، مجله زمین‌شناسی مهندسی، جلد اول، شماره ۱.
- فرهادی‌نژاد، ط.، ۱۳۸۱- ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سرخاب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۷۰۱، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح. و صفایی، م.، ۱۳۸۳- بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله منابع طبیعی، ج. ۵۷، شماره ۱، صفحه ۳-۲۲.
- کهی‌میانی، ی.، ۱۳۷۷- تحلیل چند متغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۴ ص
- محمودی، ف.، ۱۳۸۰- ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ چهارم انتشارات دانشگاه تهران.
- نیک‌اندیش، ن.، ۱۳۷۸- بررسی نقش عوامل هیدرواقلم در وقوع حرکات توده‌ای با توجه به نقش رسوب‌زایی آنها در حوضه کارون. پایان‌نامه دکتری هیدرواقلم. دانشگاه اصفهان، ۱۸۱ ص.

References

- Carrara, A., Cardinali, M., Detti R, Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P., 1991- GIS techniques and statistic models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes Landforms*. 16: 427 – 455.
- Cornforth, D. H., 2005- *Landslides in Practice*, John Wiley & Sons Inc, 591 p.
- Ercanoglu, M. & Cokceglu, C., 2002- Assessment of landslide susceptibility for a landslide pron area north of Yenice, NW Turkey by fuzzy Approach. *Environmental geology*. 41: 720-730.
- Gee, M. D., 1992- Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability, Bell, Davi, H(Ed.), *Proceedings 6th International Symposium on Landslide*, 56-48..
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. & Carrara, A., 2000- comparing landslide map: A case study in the upper Tiber river basin, central Italy. *Environmental management*. 25: 247-263.
- Haeri, S. M. & Smaiee, A. H., 1995- Some Methods of Landslide Microzonation, 10th European Conf. on Earthquake Engineering, Duma(ed), Balkeme, Rotterdam.
- Ilwis applications Guide, 1997- International Institute for Aerospace Survey and Earth science (ITC). Ensched. Netherlands.
- Jade, S. & Sarkar, S., 1993- Statistical models for Slope Instability classifications *Engineering Geology*, 36, 91-98.
- Lee, S. & Kyungduck, M., 2001- Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea. *Environmental geology*. 40:1095-1113.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., Terline, M. T. J. & Soeters, R., 1997a- Predication of the occurrence of slope instability phenomena through GIS – based hazard zonation. *Geologisches Rundschau*. 86: 404-414.
- Van Westen, C. J., Van Duren, I., Kruse, H. M. G. & Tercien, M. T. G., 1993- GISSIZ, ITC Pub. Vol.15. 245pp.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., Terlien, M. T. J. & Soeters, R., 1996- prediction of the Occurrence of slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation, Revised 21 July. Accepted; 10 Janouvary. *Instability Zonation. Part1: Exercises*, ITC, and Publication Number 15.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., Terline, M. T. J. & Soeters, R., 1997b- Predication of the Occurrence of slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation. *Geologisches Rundschau* (1997)86:pp.404-414.
- Yin, K. J. & Yan, T. Z., 1988- Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks, *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, Switzerland, Vol. 2, 1269-1272.