

پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آماری دو متغیره وزنی AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه زرنند)

علیرضا عرب عامری*

دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امیرحسین حلییان

استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، اصفهان - ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۱

چکیده

هدف از این پژوهش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه زرنند با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. برای این هدف با به کار گیری روش تحلیل سلسله مراتبی عوامل مورد بررسی به صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آنها است محاسبه شده است. با توجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از لایه های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه های زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبه های لازم و ارایه نتایج به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش است. نتایج نشان داد که در مدل تحلیل سلسله مراتبی حدود ۲۵ درصد حوضه در پهنه های با خطر بالا قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: پهنه بندی، زمین لغزش، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، حوضه زرنند.

مقدمه

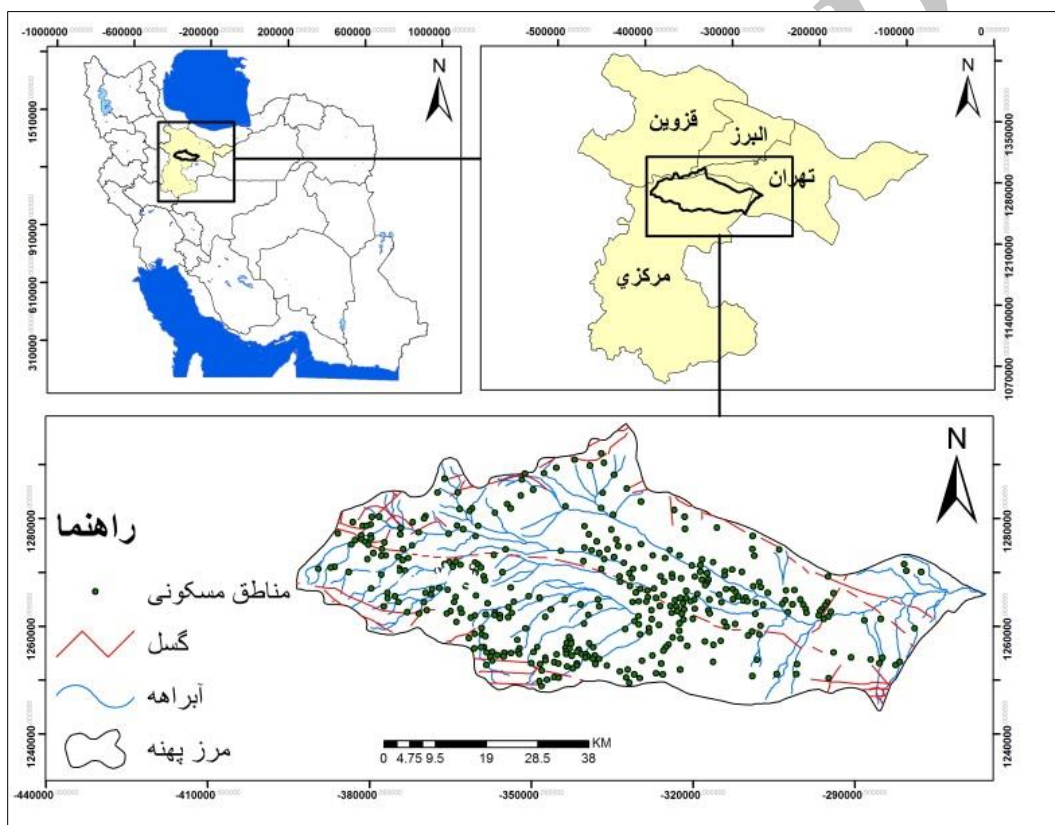
لغزش عبارت است از پایین افتادن و حرکت یک پارچه و نسبتاً سریع مواد در طول دامنه ها با حضور آب می باشد (محمودی، ۱۳۸۸). ایران با توپوگرافی کوهستانی در بخش های وسیعی، فعالیت های زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط بسیار متنوع اقلیمی و زمین ساختی شرایط مساعد برای بروز این پدیده را دارد و اهمیت آن در مناطق نزدیک به سکونتگاه ها و تأسیسات انسانی بیشتر احساس می شود. بر اساس یک برآورد سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال آسیب های مالی از طریق لغزش ها بر کشور تحمیل می گردد و آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی

نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت‌های توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ خانه، ایجاد آسیب‌های مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شد (صالحی پور، ۱۳۸۰: ۴). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوع‌های زمین شناسی محیطی از پیچیده‌ترین مسایل است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌ها است. وجود عدم قطعیت که ناشی از کامل نبودن و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین شناسی، هیدرولوژی، بارندگی و نوسان‌های درجه حرارت و ... در بروز ناپایداری دامنه‌ای هستند که این عوامل لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقی می‌کنند (fatemi et al, 2006). شناخت نواحی مستعد زمین لغزش یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه و عمرانی است. زمین لغزش‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند که ارزیابی تأثیر هر یک از این عوامل، نقش بسزایی در پیش بینی احتمال وقوع و پهنه بندی خطر آنها دارد (کرم و محمودی، ۱۳۸۴) شناسایی عوامل مؤثر در وقوع این پدیده و پتانسیل آن در مدیریت منابع طبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از آن بسیار مهم می‌باشد (کورکی نژاد و همکاران، ۱۳۸۴). تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی کرده و نتایج این گونه مطالعه‌ها می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیران و برنامه ریزی محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pradhan, 2011). در نهایت با شناسایی مکان‌هایی با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آنها می‌توان از خطرهای احتمالی جلوگیری کرد. مطالعه‌های زیادی در خصوص پهنه بندی خطر زمین لغزش صورت گرفته است که در این زمینه می‌توان به مطالعه‌های حافظی مقدس (۱۳۷۲)، فرهنگ فر و همکاران (۱۳۷۳)، حق شناس (۱۳۷۵)، گتمیری (۱۳۷۵)، سعدالدین (۱۳۷۳)، شریعت جعفری (۱۳۷۶)، کهیمیانچی (۱۳۷۷)، سیارپور (۱۳۷۸)، فرزاد مجو میاندھی (۱۳۷۸)، ایزدی (۱۳۸۵)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۵)، عنایتی مقدم (۱۳۸۶)، گرابی و همکاران (۱۳۸۸)، مصفاپی و همکاران (۱۳۸۸)، فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳)، شادفر و همکاران (۱۳۸۶)، جوکارسرهنگی و همکاران (۱۳۸۶)، علیجانی و همکاران (۱۳۸۶)، عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸)، Mohammady و همکاران (2010)، Gharahi و همکاران (2011)، Pourghasemi و همکاران (2012) در ایران و به مطالع‌های Komac (2006)، Yalcin (2008)، Nefeslioglu و همکاران (2008)، Yoshimatsu and، Abe (2006)، Ercanoglu و همکاران (2008)، Yalcin و همکاران (2011)، Mezughi و همکاران (2012)، Bulut و همکاران (2000)، Chowd Hury (1995)، Sandir (2002)، Saro Lee (2001)، Soeters (1996)، Van Westen (1996)، Varnes (1978) در سایر نقاط جهان اشاره کرد. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه زرنند ساوه با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS می‌باشد. بنابراین، انتخاب معیارها و استانداردها، تهیه لایه‌های رقومی عوامل، تعیین وزن نسبی و نهایی، هم پوشانی لایه‌ها و تهیه نقشه پهنه بندی از محورهای اصلی این پژوهش بوده تا مناطق حساسی که بیشترین احتمال خطر وقوع زمین لغزش در آنها وجود دارد تعیین شود.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ساوه در شمال استان مرکزی بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است و از شمال به استان قزوین، از جنوب به شهرستان تفرش و استان قم، از شرق به استان تهران و قم و از غرب به استان همدان محدود می‌شود. این شهرستان در ارتفاع ۱۲۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد و مساحت آن ۱۰۲۷۹ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت ریاضی منطقه مورد مطالعه

داده و روش پژوهش

ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت و تعیین حدود شد. سپس با توجه به ویژگی‌های زمین شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی، عوامل انسانی و زیست محیطی منطقه و با استفاده از مطالعات تطبیقی، ۵ معیار، ۱۲ زیر معیار و ۶۳ کلاس جهت تدوین هدف طراحی گردید. تهیه لایه‌های مورد نیاز برای پهنه بندی در محیط نرم افزار Arc

GIS 9.3 به صورت موارد زیر انجام گرفت. نخست مدل ارتفاع رقومی منطقه از مدل ارتفاع رقومی ایران جدا و بر اساس شکست‌های طبیعی که در ارتفاع‌های منطقه وجود دارد به ۵ کلاس ارتفاعی طبقه بندی شد. لایه‌های شیب و جهت شیب از روی مدل ارتفاعی رقومی منطقه تهیه گردید. لایه‌های فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، تراکم گسل، شیب، جهت شیب و تراکم مناطق سکونتگاهی از طریق رقومی کردن لایه آبراهه‌های اصلی و فرعی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، رقومی شدن گسل‌های اصلی و فرعی با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رقومی کردن لایه سکونتگاه‌های شهری و روستایی تهیه گردید. لایه‌های سنگ شناسی و کاربری اراضی به ترتیب از رقومی شدن جنس مواد در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه کاربری اراضی تهیه گردید. لایه دما و بارش از طریق رابطه دما- بارش و بارش- ارتفاع و میان‌بایی به روش کریجینگ به علت زمین آماری بودن و استفاده از مدل‌های آماری خود همبستگی صورت گرفت. نهایتاً با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به تجزیه و تحلیل کمی معیارها و گزینه‌ها، تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نسبت به ارایه مدل و پهنه بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ وقوع رخداد زمین لغزش مبادرت گردید.

در واقع، اولین قدم در پهنه بندی خطر زمین لغزش ایجاد پایگاه داده و جمع آوری داده‌های مورد نیاز است. در این پژوهش به بررسی ۱۲ عامل مؤثر در زمین لغزش در منطقه پرداخته شده است. این عوامل عبارتند از: طبقه‌های ارتفاعی، شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل، فاصله از گسل، دما، بارندگی، رخساره‌های ارضی منطقه، تراکم مسکونی و کاربری اراضی، در زیر به بررسی هر یک از این عوامل در منطقه و نقش آن در زمین لغزش پرداخته شده است.

– طبقه‌های ارتفاعی: برخی از پژوهشگران از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین لغزش‌ها استفاده می‌کنند (Yilmaz, 2010: 822). تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای محسوب می‌شود. این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک (به عنوان عامل مؤثر در حرکت‌های توده‌ای) و میزان شیب دامنه‌ها تأثیر بسزایی دارد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹). در حوضه زرنده ساوه جهت تهیه نقشه طبقه‌های ارتفاعی، مدل رقومی ارتفاع حوضه بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌ها به ۵ طبقه کلاس بندی شد (شکل ۲).

– طبقه‌های بارش و دما: بارندگی به سبب بالا بردن سطح ایستابی آب‌های زیر زمینی که این افزایش به نوبه خود موجب افزایش فشار ایستاتیکی و فشار آب حفره‌ای در مصالح دامنه‌ای می‌شود، نقش بسزایی در زمین لغزش ایفا می‌کند (معماریان، ۱۳۷۴). نقشه طبقه‌های بارش با استفاده از معادله گرادیان بارش (دوره ۱۵ ساله) و مدل رقومی ارتفاع منطقه و محاسبه میزان بارش برای هر پیکسل تهیه و به ۵ کلاس طبقه بندی گردید (شکل ۳).

$$p = 0.176h + 209.5 \quad (۱)$$

بر اساس فرمول ضریب همبستگی برای معادله گرادیان بارش منطقه $0/91$ می باشد. در رابطه فوق H : ارتفاع متوسط از سطح دریا به مترو P متوسط بارش سالیانه به میلی‌متر می باشد. میزان درجه حرارت با توجه به تأثیری که بر میزان تبخیر در منطقه دارد نیز در زمین لغزش مؤثر می باشد. نقشه همدمای برای منطقه مطالعاتی تهیه شده است (شکل ۸).

– **سنگ شناسی:** عامل اصلی حرکت‌های توده‌های لغزنده، لایه‌های سازند سست مارنی می باشد. در صورتی که دانه بندی دانه‌ها را رس تشکل می دهد، رس باعث می شود که این لایه‌ها نزولات آسمانی را جذب کرده و پس از انبساط و اشباع حالت لغزنده‌ای پیدا نمایند (رفاهی، ۱۳۷۹). در حوضه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین شناسی، نقشه سنگ شناسی تهیه و پس از تلفیق با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها حساسیت واحدهای متفاوت سنگی نسبت به پدیده زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴).

– **جهت شیب:** جهت دامنه یکی از عوامل تعیین کننده در حرکت‌های توده‌های سازندهای مارنی به شمار می رود. در دامنه‌های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از رطوبت بیشتر، مقدار زمین لغزش بیشتر بوده و در دامنه‌های شرقی و جنوبی به دلیل حداکثر جذب انرژی و حداقل آب‌باقی مانده در خاک، کمترین حرکت توده‌ای مشاهده می شود (احمدی و فیض نیا، ۱۳۷۸). با توجه به اهمیت این موضوع در پدیده لغزش، منطقه مورد مطالعه به ۹ گروه شمال، شمال غربی، غرب، جنوب غربی، جنوب، جنوب شرقی، شرق، هموار و شمال شرقی تقسیم شدند (شکل ۹).

– **شیب:** از نظر تئوری، با فرض یکسان بودن سایر عوامل احتمال خطر لغزش در مناطقی که شیب بیشتری داشته باشد، بیشتر است و به عنوان یک پیش فرض، در شیب‌های کمتر از ۵ درجه لغزش اتفاق نخواهد افتاد (Gomez et al. 2002). بررسی وضعیت شیب از آن جهت با اهمیت است که مکانیسم بسیاری از جابه جایی‌ها مربوط به مواد سطحی و فرآیندهای حمل، تابع میزان شیب است. در این رابطه می توان گفت که با توجه به دامنه ارتفاعی بسیار زیاد، بخش‌های مرتفع بسیار جوان و پرشیب بوده لذا دارای سیمای فرسایشی شدید و قابل توجهی هستند. بنابراین بیشترین و مؤثرترین عوامل دینامیکی را باید در محورهای کوهستانی جستجو کرد (زمردیان، ۱۳۸۳). با توجه به نقش شیب در زمین لغزش، نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس تهیه شد (شکل ۷).

– **کاربری اراضی:** با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری زمین‌های این ناحیه، منطقه به ۵ ناحیه تقسیم شد که مبنای آن بر اساس مطالعات سازمان زمین شناسی می باشد. کلاس A شامل جنگل متراکم و جنگل نیمه متراکم، کلاس B شامل مخلوط جنگل و باغ و مجتمع درختان، کلاس C شامل دیهم، مخلوط مرتع و دیهم و اراضی مرتعی متراکم و کلاس D شامل اراضی زراعی آبی، اراضی مرتعی نیمه متراکم و کم متراکم می باشد.

– **فاصله از گسل، تراکم گسل:** برای عامل گسل آثار مختلفی را در بروز لغزش‌ها در دامنه‌ها می‌توان متصور شد. خرد شدگی و برشی شدن در منطقه گسلی، نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه‌ها، بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله آثاری است که می‌توان به آن اشاره کرد. حرکت گسل می‌تواند مؤید شروع لغزش در منطقه باشد. بروز تعداد زیادی زمین لغزش بعد از زلزله مؤید نقش آن در زمین لغزش می‌باشد. درحقیقت حرکت گسل‌ها موجب رسیدن به حد آستانه حرکت در دامنه می‌شود. حرکت‌های زمین ساختی و تکتونیکی نقش تشدید و تسریع کننده‌ای در وقوع پدیده زمین لغزش دارند. جهت بررسی ارتباط زمین لغزش‌ها با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل و تراکم گسل تهیه شد و همان گونه که مشخص است آستانه تأثیر گسل‌ها غالباً تا شعاع ۲ کیلومتر می‌باشد به گونه‌ای که در حدود ۹۰ درصد از زمین لغزش‌ها در این حدود قرار گرفته‌اند (حق شناس، ۱۳۷۴). نقشه‌های فاصله از گسل و تراکم گسل از روی DEM منطقه در ۵ کلاس تهیه شد (اشکال ۵ و ۶).

– **فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه:** عامل بسیاری از پدیده‌های لغزشی، فرسایش و زیرشویی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به وسیله جریان‌های پر سرعت سیلابی یا رواناب‌های سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای است. فرسایش پای شیب به مرور زمان و توسط جریان‌های آبی و عمدتاً سیلابی، باعث به هم خوردن نیروهای متعادل کننده شیب دامنه می‌شود. این عمل تأثیر نیروهای برشی مخرب را افزایش داده و در نهایت ناپایداری شیب را باعث می‌شود. شروع ناپایداری معمولاً با بروز یک مجموعه ترک‌های کششی در بالای دامنه آغاز می‌شود و به مرور زمان به سقوط یا لغزش بخشی از دامنه منتهی می‌گردد (شریعت جعفری، ۱۳۷۶). نقشه آبراهه‌های حوضه آبخیز زرنند ساوه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و لایه‌های رقومی کل کشور (پایگاه داده‌های علوم زمین) تهیه و جهت آنالیزهای بعدی رقومی شد. کلاس‌های لایه فاصله از آبراهه نیز مانند لایه‌های فاصله از گسل و رده‌های شیب از نمودار فراوانی پیکسل‌ها در محیط GIS استخراج و نقشه آنها ترسیم گردید شکل (۱۲). نقشه تراکم آبراهه نیز در محیط GIS تهیه شد شکل (۱۱).

– **تراکم سکونتگاهی:** فعالیت‌های انسانی همیشه نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات محیطی ایفا می‌کند. در بسیاری از موارد، مکان‌گزینی این کاربری‌ها به اندازه‌ای نامناسب بوده که باعث ایجاد نابسامانی‌ها و اختلال در اکوسیستم طبیعی می‌شود (کلارستاقی و همکاران، ۱۳۸۶). لایه فاصله از سکونتگاه منطقه مورد نظر در نرم افزار ArcGIS تهیه شده است شکل (۱۰).

بحث

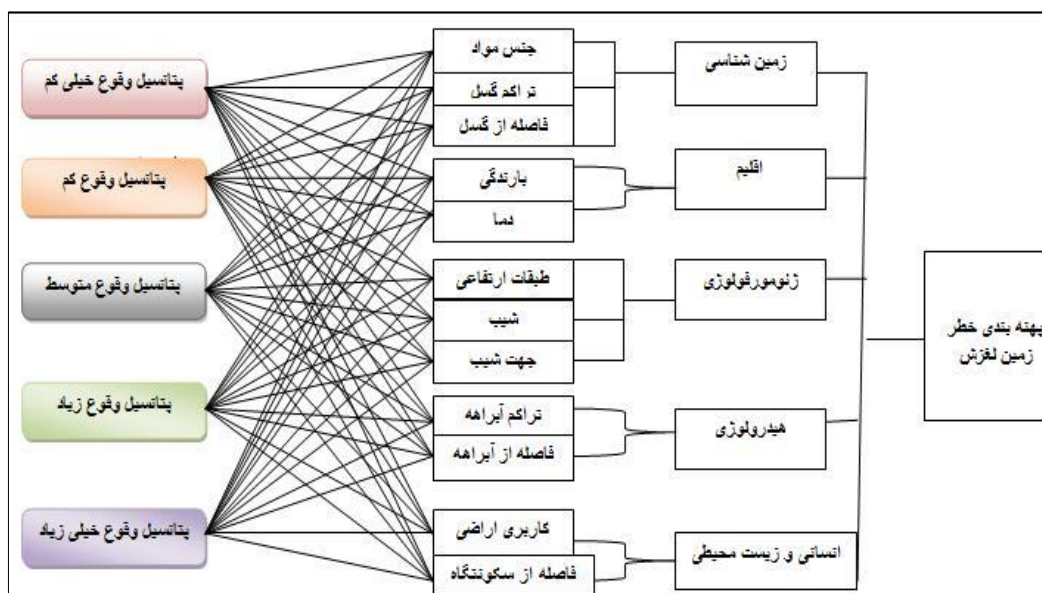
زمین لغزش پدیده‌ای است که به علت از بین رفتن تعادل بین نیروهای مقاوم در برابر نیروهای محرک زمین لغزش، در شبها و دامنه‌ها اتفاق می‌افتد (معماریان، ۱۳۷۴). پدیده زمین لغزش یکی از سوانح طبیعی است که همه ساله موجب آسیب‌های مالی و جانی فراوان در مناطق مختلف جهان می‌شود (IFRC 2000, CRED 2000). پهنه بندی خطر زمین لغزش به خصوص در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از پژوهشگران و مهندسين علوم زمین را به خود مشغول کرده است. نقشه‌های پهنه بندی کمک شایانی به طراحان در زمینه انتخاب مکان مناسب برای اجرای طرح‌های عمرانی است (شریعت جعفری، ۱۳۷۶، کمک پناه و منتظرالقائم، ۱۳۷۳). علاوه بر آن افزایش آگاهی از اهمیت اقتصادی - اجتماعی زمین لغزش‌ها و افزایش تراکم حاصل از توسعه و شهر سازی تهیه نقشه‌های پهنه بندی را انکار ناپذیر می‌سازد (Aleotti & Chawdhury 1999). در اکثر مناطق فعالیت‌های انسانی موجب بهم خوردن تعادل طبیعی می‌شود. افزایش آسیب‌ها و تلفات ناشی از زمین لغزش‌ها شاید نتیجه همین فعالیت‌ها باشد (CRED 2000). این پژوهش قصد دارد تا با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه زرنند ساوه بپردازد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، همانند تئوری تصمیم‌گیری و تحلیل ناسازگاری^۱، اندازه‌گیری را بر روی معیارهای با قابلیت کمی شدن و غیر عینی انجام می‌دهد (Vargas, 1990). روش تحلیل سلسله مراتبی یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که استفاده کننده را برای رسیدن به یک مقیاس ترجیحی از مجموعه‌ای از متغیرها توانا می‌سازد. این روش کاربرد زیادی در انتخاب سایت، ساده سازی تحلیل‌ها و تحلیل حساسیت به زمین لغزش دارد (Ayalew et al., 2005). مزایای استفاده از این روش از دیدگاه بنیان گذار منطق فازی (ساعتی، ۱۹۹۰) عبارتند از: یگانگی^۲، پیچیدگی^۳، همبستگی متقابل^۴، ساختار سلسله مراتبی^۵، اندازه‌گیری^۶، سازگاری^۷، تلفیق^۸، تعادل^۹، قضاوت گروهی^{۱۰} و تکرار^{۱۱}. مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور پهنه بندی زمین لغزش در حوزه زرنند ساوه طبق مراحل زیر می‌باشد.

- ساختن سلسله مراتب

در اولین اقدام، ساختار سلسله مراتبی مربوط به موضوع مورد بررسی را ترسیم می‌کنیم (شکل ۱۳). در این شکل ما با یک سلسله مراتب ۴ سطحی شامل هدف، معیار، زیر معیار و گزینه مواجه هستیم. تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی مهمترین قسمت تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود، زیرا در این قسمت با تجزیه مسایل مشکل و

- 1- Conflict Resolution
- 2- Unity
- 3- Complexity
- 4- Interdependency
- 5- Hierarchy Structure
- 6- Measurement
- 7- Consistency
- 8- Synthesis
- 9- Tradeoff
- 10- Judgment & Consensus
- 11- Repetition

پیچیده فرایند تحلیل سلسله مراتبی آن را به شکل ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، فرایند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله مراتب به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی مشخص است به شکل ساده‌تر در می‌آید.



شکل ۱۳: فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ساختن سلسله مراتب برای پهنه بندی زمین لغزش

– تبیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیر معیارها را به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. برای مثال برای هدف این مسئله که پهنه بندی است، معیار جنس مواد از اهمیت بیشتری برخوردار است. مبنای قضاوت در این امر مقایسه‌ای جدول کمیته زیر است (جدول ۱) که بر اساس آن و با توجه به هدف بررسی شدت برتری معیار i نسبت به معیار j ، a_{ij} تعیین می‌شود. تمامی معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند در فرایند تحلیل سلسله مراتب بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزن دهی به هر واحد اطلاعاتی نیز براساس بیشترین نقشی است که در داخل آن لایه ایفا می‌کند (لوپز و زینک^{۱۲}، ۱۹۹۱). برای برآورد اوزان هر یک از پارامترها و نشان دادن میزان تأثیر هر یک از عوامل بر لغزش زمین کمیته‌های متشکل از کارشناسان خیره زمین شناسی، آبخیزداری، خاک‌شناسی و حفاظت خاک تشکیل شد و با توجه به جدول وزن دهی و ارجحیت ارایه شده توسط قدسی پور اهمیت هر عامل و ارجحیت آن نسبت به عوامل دیگر تعیین گردید.

¹²- Lopez & Zink (1991)

جدول ۱: وزن دهی به عوامل بر اساس ارجحیت به صورت مقایسه زوجی (قدسی پور، ۱۳۸۷، ۱۴)

مقدار عددی	ترجیحا" (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب
۷	Very strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب
۱	Equally preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸۶،۴،۲	ترجیحا" بین فواصل قوی	

– تهیه ماتریس های مقایسه های زوجی و نرمالیزه فاکتورها

از طریق روش وزن دهی به عوامل مؤثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش و تنظیم آنها بر اساس اهمیت، ماتریس مقایسه زوجی و نرمالیزه با مرتبه ۲۵ برای معیارها و مرتبه ۱۴۴ برای زیر معیارها شکل گرفت. در مرحله بعد مقادیر هر یک از ستون های ماتریس مقایسه زوجی را با هم جمع و هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی را به جمع ستون خودش تقسیم شد تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه شود (رابطه ۲). سپس میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه را محاسبه کرده که در نتیجه آن بردار وزن ایجاد می شود (رابطه ۳).

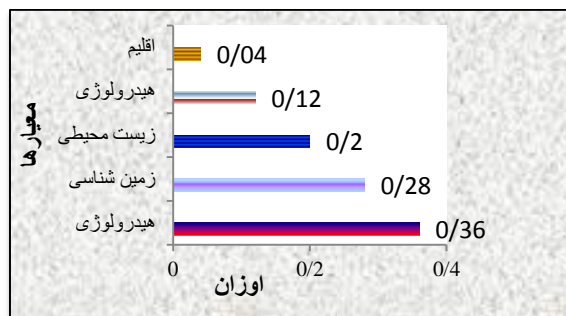
$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (۲)$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad (۳)$$

در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر، a_{ij} : درایه های ماتریس مقایسه زوجی و \bar{a}_{ij} : درایه های ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه i ام و شاخص W_i : وزن گزینه i ام می باشد. پس از تشخیص عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، وزن دهی به فاکتورها برای اولویت بندی عوامل نسبت به یکدیگر با در نظر گرفتن رخداد زمین لغزش منطقه صورت گرفت و ماتریس های مقایسه زوجی بر اساس ویژگی های منطقه و مطالعات تطبیقی برای عوامل و زیر عامل ها شکل گرفت. پس از تشکیل ماتریس های مقایسه زوجی، با استفاده از روش تقریبی میانگین گری حسابی، وزن نسبی معیارها محاسبه شد. نتایج حاصل از وزن دهی، ماتریس های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل مؤثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به صورت جداول (۲) تا (۵) و شکل های (۱۴) تا (۲۷) می باشد.

جدول ۲: مقایسه های زوجی معیارها

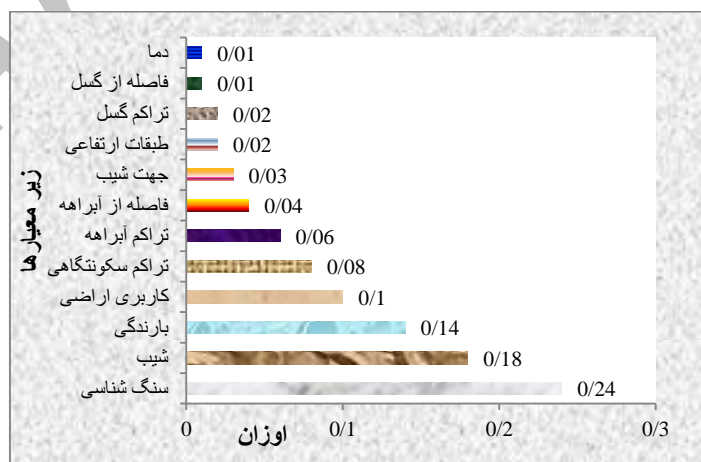
مقایسه معیارها	هیدرولوژی	زمین شناسی	زیست محیطی	هیدرولوژی	اقلیم	Wij
هیدرولوژی	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۳۶
زمین شناسی	۰/۳۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۸
زیست محیطی	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۲
هیدرولوژی	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۲
اقلیم	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۰/۰۴
جمع	۱/۷۸	۴/۶۷	۹/۵۳	۱۶/۳۳	۲۵	۱



شکل ۱۴: وزن نسبی هر یک از معیارها

جدول ۳: مقایسه‌های زوجی زیر معیارها

Wij	دما	فاصله از گسل	تراکم گسل	طبقات ارتفاعی	جهت شیب	فاصله از آبراهه	تراکم آبراهه	تراکم سکونتگاهی	کاربری اراضی	بارندگی	شیب	جنس مواد	زیر معیارها
-/۲۴	۹	۸	۸	۷	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	جنس مواد
-/۱۸	۸	۸	۷	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵۰	شیب
-/۱۴	۸	۷	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵۰	۰/۳۳	بارندگی
-/۱۰	۷	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۲۵	کاربری اراضی
-/۰۸	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	تراکم سکونتگاهی
-/۰۶	۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	تراکم آبراهه
-/۰۴	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۶	فاصله از آبراهه
-/۰۳	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴	جهت شیب
-/۰۲	۴	۳	۳	۲	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	طبقات ارتفاعی
-/۰۲	۳	۲	۲	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۲	تراکم گسل
-/۰۱	۲	۱	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۲	فاصله از گسل
-/۰۱	۱	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۱	دما
۱	۶۶	۵۷/۵	۴۹/۸	۴۲	۳۵/۲	۲۸/۴۵	۲۲/۶۱	۱۶/۷۶	۱۱/۹۰	۸/۰۲	۵/۱۵	۳/۲۶	جمع



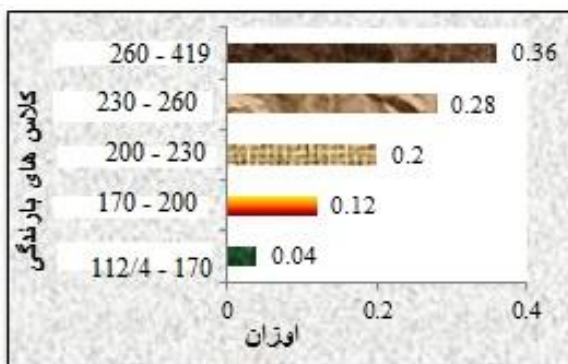
شکل ۱۵: وزن نسبی زیر معیارها

وزن نسبی زیر معیارها (جدول ۳) نشان می‌دهد که در میان عوامل بررسی شده، عوامل جنس مواد، شیب و بارندگی به ترتیب با اوزان ۰/۲۴، ۰/۱۸ و ۰/۱۴ دارای تأثیر بالا و عوامل دما، فاصله از گسل و تراکم گسل با ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲ تأثیر کمی در پدیده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته اند. میزان تأثیر سایر عوامل در جدول ۳ نشان داده شده است.

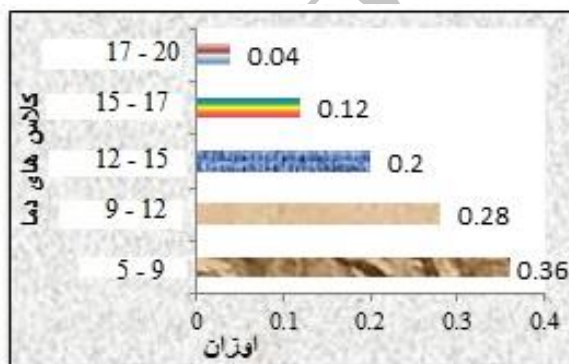
جدول ۴: کلاس‌های زیر معیارها و وزن آنها

Wij	کلاس زیر معیار	زیر معیار	Wij	کلاس زیر معیار	زیر معیار
۰/۳۶	۵-۹	دما	۰/۰۴	۱۱۲/۶۴-۱۷۰	بارندگی
۰/۲۸	۹-۱۲		۰/۱۲	۱۷۰-۲۰۰	
۰/۲	۱۲-۱۵		۰/۲	۲۰۰-۲۳۰	
۰/۱۲	۱۵-۱۷		۰/۲۸	۲۳۰-۲۶۰	
۰/۰۴	۱۷-۲۰		۰/۳۶	۲۶۰-۴۱۹	
۰/۳۶	۳۰-۶۰۰	فاصله از آبراهه	۰/۰۴	۰-۰/۱	
۰/۲۸	۶۰۰-۱۵۰۰		۰/۱۲	۰/۱-۰/۳	
۰/۲	۱۵۰۰-۲۷۰۰		۰/۲	۰/۳-۰/۴	
۰/۱۲	۲۷۰۰-۵۰۰۰		۰/۲۸	۰/۴-۰/۶	
۰/۰۴	۵۰۰۰-۱۳۰۰۰		۰/۳۶	۰/۶-۱/۵	
۰/۳۶	۰-۲۰۰۰	فاصله از گسل	۰/۰۴	۰-۰/۰۵	تراکم گسل
۰/۲۸	۲۰۰۰-۴۰۰۰		۰/۱۲	۰/۰۵-۰/۱	
۰/۲	۴۰۰۰-۷۰۰۰		۰/۲	۰/۱-۰/۲	
۰/۲۸	۷۰۰۰-۱۰۰۰۰		۰/۲۸	۰/۲-۰/۴	
۰/۰۴	۱۰۰۰۰-۱۴۰۰۰		۰/۳۶	۰/۴-۱/۶	
۰/۳۶	۰-۲۰۰۰	فاصله از سکونتگاه	۰/۰۴	۰-۸	شیب
۰/۲۸	۲۰۰۰-۴۰۰۰		۰/۱۲	۸-۲۰	
۰/۲	۴۰۰۰-۶۰۰۰		۰/۲	۲۰-۴۰	
۰/۱۲	۶۰۰۰-۸۰۰۰		۰/۲۸	۴۰-۶۰	
۰/۰۴	۸۰۰۰-۲۵۰۰۰		۰/۳۶	۶۰-۱۰۰	
۰/۵۳	کلاس A	کاربر معیارهای اراضی	۰/۳	شمال	جهت شیب
۰/۲۵	کلاس B		۰/۲	شمال شرق	
۰/۱۱	کلاس C		۰/۱۶	غرب	
۰/۰۵۴	کلاس D		۰/۱۰	شمال غرب	
۰/۲۸	۸۰۰-۱۰۰۰	طبقه‌های ارتفاعی	۰/۰۷	شرق	
۰/۳۶	۱۰۰۰-۱۳۰۰		۰/۰۵	جنوب شرق	
۰/۱۲	۱۳۰۰-۱۶۰۰		۰/۰۳	جنوب	
۰/۲	۱۶۰۰-۲۲۰۰		۰/۰۲	جنوب غرب	
۰/۴	۲۲۰۰-۳۰۰۰		۰/۰۱	هموار	

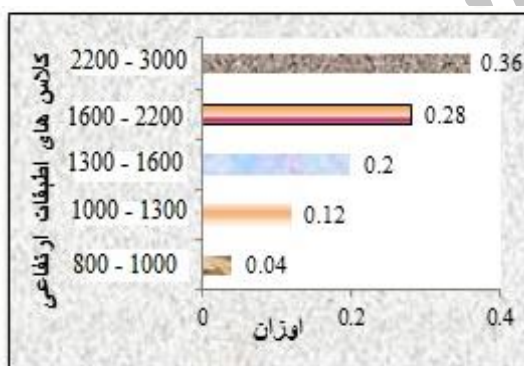
۰/۰۳۷	ریوداسیت و داسیت	لیتولوژی	۰/۱۸۸	مارن ژیبس دار	لیتولوژی
۰/۰۳۰	سنگ‌های کرتاسه		۰/۱۵۴	مارن با آهک	
۰/۰۲۴	گدازه های آندزیتی		۰/۱۲۷	شیل، مارن و ماسه سنگ	
۰/۰۱۹	گدازه های آندزیتی بازالتی		۰/۱۰۴	سنگ آهک ریفی	
۰/۰۱۶	گدازه‌های داسیتی		۰/۰۸۶	سنگ آهک توده‌ای	
۰/۰۱۳	گدازه‌های داسیتی تا آندزیتی		۰/۰۷۰	سازند قرمز بالایی	
۰/۰۱۱	کنگلومرای پلی ژنیک		۰/۰۵۷	ذخایر تراسی کم ارتفاع	
۰/۰۰۹	کنگلومرای قرمز		۰/۰۴۶	ذخایر تراسی مرتفع	



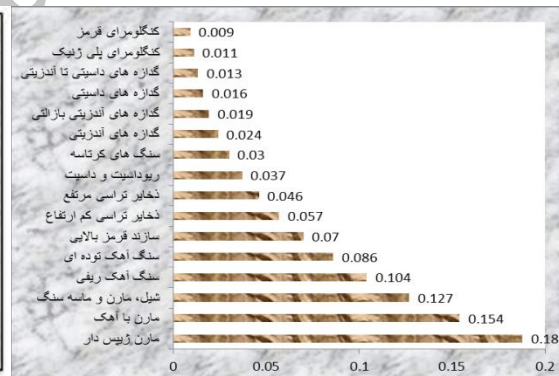
شکل ۱۷: وزن نسبی کلاس‌های بارندگی



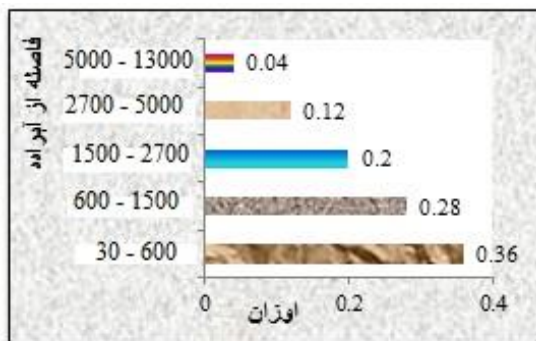
شکل ۱۶: وزن نسبی کلاس‌های دما



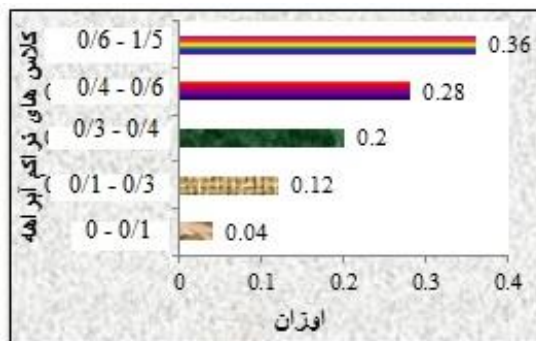
شکل ۱۹: وزن نسبی کلاس‌های طبقه‌های ارتفاع



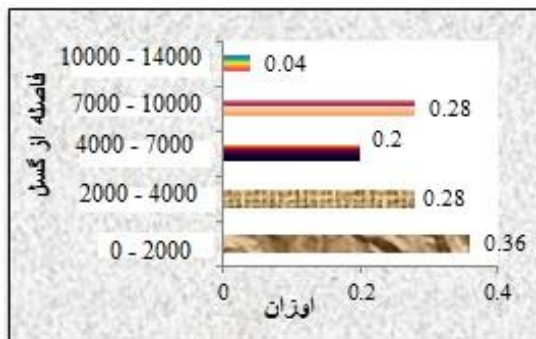
شکل ۱۸: وزن نسبی کلاس‌های جنس مواد



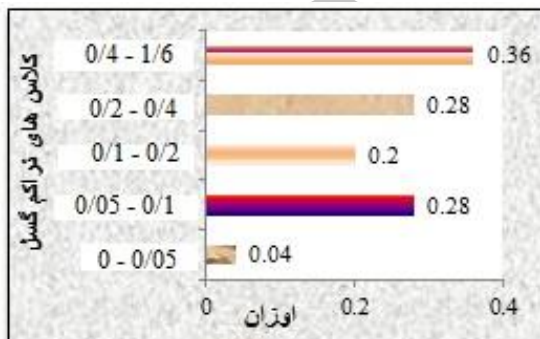
شکل ۲۱: وزن نسبی کلاس‌های فاصله از آبراهه



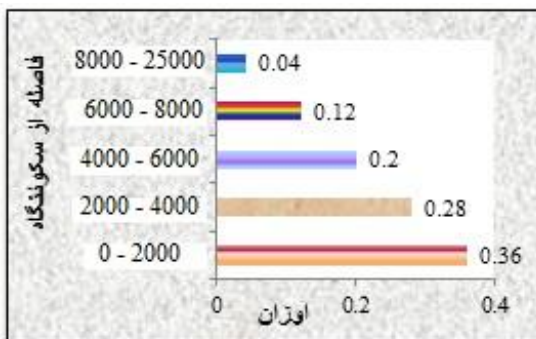
شکل ۲۰: وزن نسبی کلاس‌های تراکم آبراهه



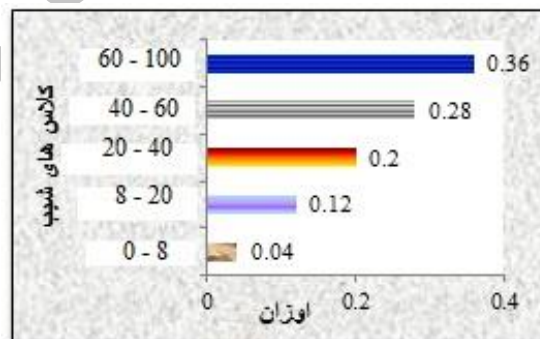
شکل ۲۳: وزن نسبی کلاس‌های فاصله از گسل



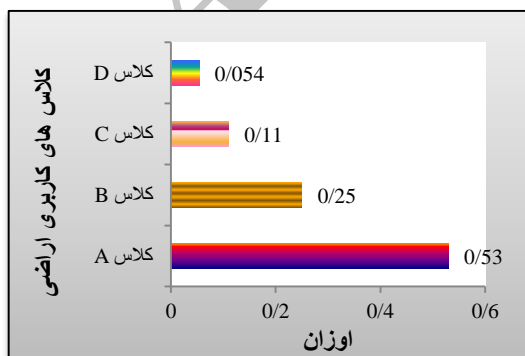
شکل ۲۲: وزن نسبی کلاس‌های تراکم گسل



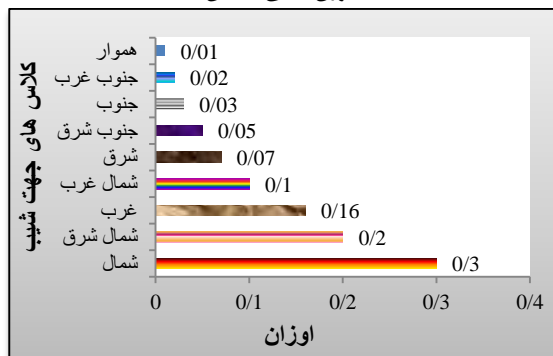
شکل ۲۵: وزن نسبی کلاس‌های فاصله از سکونتگاه



شکل ۲۴: وزن نسبی کلاس‌های شیب



شکل ۲۷: وزن نسبی کلاس‌های کاربری اراضی



شکل ۲۶: وزن نسبی کلاس‌های جهت شیب

– تعیین امتیاز نهایی عوامل (اولویت و ارجحیت‌ها):

در این مرحله، از تلفیق ضرایب مزبور امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده می‌گردد (مورینیو جیمینز و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۵؛ برتولینی و براگیلیا^{۱۴}، ۲۰۰۶). به عبارت دیگر امتیاز نهایی هر یک از راه‌های پیشگیری از حاصل جمع تلفیق ضرایب گزینه‌ها و معیارها تعیین می‌شود (رابطه ۴).

$$V_H = \sum_{k=1}^n W_k (g_{ij}) \quad (4)$$

در این رابطه V_H : امتیاز نهایی گزینه Z ، W_K : وزن هر معیار و g_{ij} : وزن گزینه‌ها در ارتباط با معیارها می‌باشد.

وزن نهایی پهنه‌های مواجهه با زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه از مجموع حاصل ضرب لایه معیارها در وزنشان و همچنین لایه معیارها از مجموع حاصل ضرب لایه زیر معیارها در وزنشان بدست می‌آید. نتایج حاصل از محاسبه وزن نهایی پهنه‌های خطر به صورت روابط زیر می‌باشد:

$$Hy = (0.04 St) + (0.06 Std) \quad (5)$$

$$GI = (0.02 Fa) + (0.02 Dfa) + (0.024 LI) \quad (6)$$

$$Ma = (0.08 Ha) + (0.10 La) \quad (7)$$

$$CI = (0.14 P) + (0.1 T) \quad (8)$$

$$Gml = (0.18 SI) + (0.03 AS) + (0.02 EL) \quad (9)$$

$$LHZ = (0.1 Hy) + (0.04 GI) + (0.18 Ma) + (0.15 CI) + (0.23 GMI) \quad (10)$$

در این روابط Hy : عامل هیدرولوژی؛ GI : عامل زمین شناسی؛ Ma : عامل انسانی؛ CI : عامل اقلیمی؛ GMI : عامل ژئومورفولوژی؛ St : فاصله از آبراهه؛ Std : تراکم آبراهه؛ Fa : فاصله از گسل؛ Li : سنگ شناسی؛ Dfa : تراکم گسل؛ Ha : تراکم سکونتگاهی؛ La : کاربری اراضی؛ T : هم دما؛ P : هم بارش؛ SI : شیب؛ AS : جهت شیب؛ EL : طبقه‌های ارتفاعی؛ LHZ : لایه نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

– محاسبه سازگاری و ناسازگازی سیستم

برای محاسبه نرخ سازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردد تا تخمین مناسبی از $\lambda_{max} W$ بدست آید به عبارتی $A \times W = \lambda_{max} W$ باشد. با تقسیم مقدار $\lambda_{max} W$ بر W مربوطه مقدار λ_{max} محاسبه می‌شود. سپس مقدار شاخص ناسازگاری از طریق رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد (قدسی پور، ۱۳۸۷، ۷۱ تا ۷۳):

¹³- Moreno - Jimenez et al (2005)

¹⁴- Bertolini & Braglia (2006)

$$I.I. = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \quad (11)$$

نرخ ناسازگاری نیز از طریق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \quad (12)$$

که در آن مقدار I.I.R. نیز از جدول (۵) استخراج می‌شود.

جدول ۵: مقادیر I.I.R. ماتریس‌های تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	...
I.I.R.	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	...

اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (دی و رامچاران^{۱۵}، ۲۰۰۰). به طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی داری ماتریس-های مقایسه زوجی که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد. به این منظور نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر با استفاده از روش تقریبی میانگین گیری حسابی محاسبه شد که به صورت جدول (۶) می‌باشد. نتایج بیانگر سازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر در پهنه بندی می‌باشد.

جدول (۶): نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر در زمین لغزش

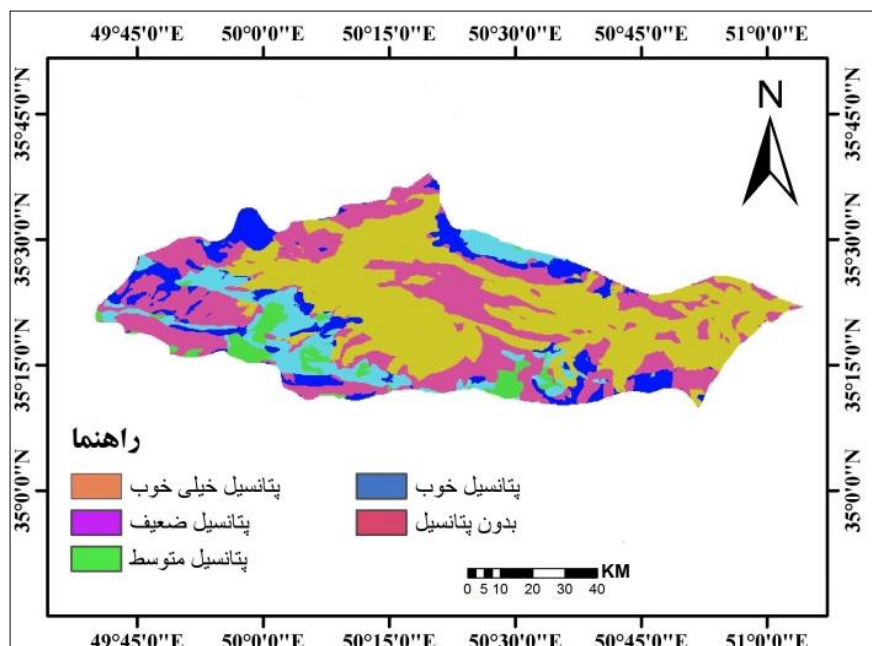
معیارها	زیر معیارها	جنس مواد	شیب	بارندگی	کاربری اراضی	تراکم سکونتگاهی	تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه	جهت شیب	طبقات ارتقاعی	تراکم گسل	فاصله از گسل	دم
۰/۰۰۴	۰/۰۴۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳

- تهیه نقشه نهایی زمین لغزش

از آنجایی که پیش بینی دقیق زمان وقوع زمین لغزش مشکل است از این رو شناسایی مناطق حساس به این پدیده و پهنه بندی آنها بر اساس پتانسیل وقوع، دارای اهمیت است (مصفايي و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۴). پهنه بندی خطر زمین لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجه‌های بالفعل و یا بالقوه خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند (رامشت، ۱۳۷۵: ۴۵). نتایج نقشه‌های پهنه بندی زمین لغزش می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد (Pradhan, 2011). پس از تأیید معنی داری

¹⁵- Dey & Ramcharen (2000)

ماتریس‌های عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش، وزن نهایی معیارها جهت تهیه نقشه پهنه بندی منطقه به لایه‌های متناظر اعمال شد. جهت اعمال صحیح اوزان به دست آمده در محیط Arc GIS از روش Raster Calculator و جهت ارایه مدل نهایی از روش Weighted Sum به دلیل دقت بیشتر بهره گرفته شده است. نتیجه حاصله به صورت شکل (۲۸) و جدول (۷) بوده که نقشه پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش حوضه زرنند ساوه را نشان می‌دهد.



شکل ۲۸: نقشه نهایی خطر وقوع زمین لغزش

جدول ۷: درصد وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی

درصد زمین لغزش	وسعت زمین لغزش (KM)	وسعت زمین لغزش (Ha)	رده
۵ درصد	۵۱۳/۹۵	۵۱۳۹۵	پتانسیل وقوع خیلی کم
۴۰ درصد	۴۱۱۱/۶	۴۱۱۱۶۰	پتانسیل وقوع کم
۳۰ درصد	۳۰۸۳/۷	۳۰۸۳۷۰	پتانسیل وقوع متوسط
۱۰ درصد	۱۰۲۷/۹	۱۰۲۷۹۰	پتانسیل وقوع زیاد
۱۵ درصد	۱۵۴۱/۸۵	۱۵۴۱۸۵	پتانسیل وقوع خیلی زیاد

نتیجه گیری

یکی از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن، عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش، از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین لغزش، اولویت بندی 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 مختلفی را در

رخداد پدیده‌های ژئومورفولوژی، زمین شناسی و مانند آن دخالت داد، از این رو این روش می‌تواند روش جامع‌تر و کامل‌تری در مقایسه با سایر روش‌های متداول به ویژه در رابطه با پهنه بندی خطر زمین لغزش باشد. به این دلایل مدل AHP توسط برنامه‌ریزان برای حل معضله‌های پیچیده‌ای که در امر مدیریت با آن مواجه هستند، به کار گرفته می‌شود، علاوه بر این، تکنیک GIS، به علت توانایی آن در مدیریت حجم زیادی از اطلاعات فضایی، ابزاری نیرومند برای این نوع مطالعه‌های اولیه به شمار می‌رود. بنابراین تلفیق تکنیک GIS و مدل AHP برای برنامه‌ریزان این امکان را فراهم می‌سازد که با استفاده از توابع تجزیه و تحلیل معیارها و رتبه بندی آنالیزها، مناسب‌ترین گزینه را که در این پژوهش پهنه بندی خطر زمین لغزش است، انتخاب نمایند. منطقه مورد مطالعه بر اساس عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی پهنه بندی شد و نهایتاً وقوع پهنه‌های زمین لغزشی از پتانسیل وقوع بسیار زیاد تا خیلی کم شناسایی گردید. در بین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، زیر معیارهای جنس مواد، شیب، بارندگی و کاربری اراضی به ترتیب با اوزان (۰/۳۴، ۰/۱۸، ۰/۱۴، ۰/۱۰، ۰/۰) به عنوان مهمترین عوامل در ایجاد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. نقش دیگر عوامل به نسبت تأثیرشان به شرح جدول (۵) می‌باشد. از کل حوضه مورد مطالعه ۱۵ درصد (۱۵۴۱/۸۵ کیلومتر مربع) از آن دارای پتانسیل بسیار زیاد وقوع زمین لغزش می‌باشد و ۱۰ درصد (۱۰۲۷/۹ کیلومتر مربع) از کل حوضه دارای پتانسیل زیاد وقوع زمین لغزش می‌باشد. در مجموع می‌توان بیان کرد که یک چهارم (۲۵۶۹/۷۵ کیلومتر مربع) از حوضه دارای پتانسیل وقوع زمین لغزش بالا می‌باشد که بیان‌گر خطر جدی زمین لغزش برای تأسیسات موجود در منطقه می‌باشد و حوضه مورد نظر نیازمند مدیریت صحیح جهت مقابله با وقوع زمین لغزش می‌باشد.

منابع

- ۱- احمدی، حو فیض نیا، س. (۱۳۷۸): سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربرد آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- ایزدی، ز. (۱۳۸۵): پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (نمونه موردی: حوضه رودخانه ماربر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا.
- ۴- سرهنگی، س. امیر احمدی، ع. سلیمان. ا (۱۳۸۶): پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، (۹)، ۷۹-۹۳.
- ۵- حافظی مقدس، ن. (۱۳۷۲): پهنه بندی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله خیز (مطالعه موردی زمین لغزش‌های تخری کشته در زلزله خرداد ۱۳۶۹ منجیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- حق شناس، ا. (۱۳۷۵): پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- رامشت، م. (۱۳۷۵): کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی ملی، منطقه‌ای و اقتصادی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- ۸- رفاهی، ج. (۱۳۷۹): فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.

- ۹- زمریدیان، م. ج. (۱۳۸۳): ژئومورفولوژی ایران، فرآیندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم.
- ۱۰- سعد الدین. (۱۳۷۳): بررسی اثرات پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک بر حرکات توده‌های مواد دامنه‌ای در حوضه آبخیز چاشم- خطیر کوهسمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۱- سیاریور. م. (۱۳۷۸): پهنه بندی پتانسیل خطرزمین لغزش در جنوب خلخال (استان اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۱۲- شادفر. صمد. یمانی. مجتبی، قدوسی. غیومیان. ج. (۱۳۸۶): پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکروند تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، (۷۵)، ۱۲۶-۱۱۷.
- ۱۳- شریعت جعفری. م. (۱۳۷۶): گزارش نهایی طرح ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در شیب‌های طبیعی در حوضه میانی طالقان، طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۱۴- شریعت جعفری، م. (۱۳۷۶): زمین لغزش (اصول و پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه.
- ۱۵- شیرانی. ک. چاوشی‌بروجنی. س. غیومیان. ج. (۱۳۸۵): بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه، دانشگاه اصفهان، صص: ۳۸-۲۲.
- ۱۶- صالحی پور. ع (۱۳۸۰): بررسی پارامترهای هیدرومورفیک مؤثر در حرکات دامنه‌ای حوضه آبریز قوری چای با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۱۷- عظیم پور. ع. صدوقی. ح. دلال اوغلی. ع. ثروتی. م. ر. (۱۳۸۸): ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه بندی خطر زمین لغزه * مطالعه موردی: حوضه آبریز اهر چای)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۶، صص ۷۸-۷۱.
- ۱۸- علیجانی. ب. قهرودی. م. امیر احمدی. ا. (۱۳۸۶): پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، (۸۴)، ۱۳۱-۱۱۶.
- ۱۹- عنایتی مقدم. ع. (۱۳۸۶): ارزیابی عوامل ایجاد زمین لغزش‌های جاده‌ای در منطقه پادانای سمیرم و ارایه راهکارهای مناسب جهت تثبیت آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی گرایش مهندسی، دانشگاه اصفهان.
- ۲۰- فرهنگ فر. کمک پناهی. ع. (۱۳۷۳): پهنه بندی ناپایداری شیب‌های سنگی در مناطق زلزله خیز، اولین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت‌های آن.
- ۲۱- فرزاد مجومیاندهی. ا. (۱۳۷۸): تحلیل ساختاری لرزه‌ای در پهنه بندی ناپایداری شیب‌های طبیعی در گستره وانه-جاده هراز (البرز مرکزی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۲- فیض نیا. س. کلارستاقی. ع. احمدی. ح. صفایی. م. (۱۳۸۳): بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین رود سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، (۱)، ۲۳-۲۰.
- ۲۳- قدسی پور. ح. (۱۳۸۸): فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
- ۲۴- کلارستاقی. ع. حبیب نژاد. م. احمدی. ح. (۱۳۸۶): مطالعه وقوع زمین لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده سازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تجن-ساری)، پژوهش‌های جغرافیایی، (۶۲)، ۹-۷.
- ۲۵- کریم، ع. محمودی. ف. (۱۳۸۴): مدل سازی کمی و پهنه بندی زمین لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخون در چهارمحال و بختیاری)، پژوهش‌های جغرافیایی، (۵۱)، ۱۴-۱.
- ۲۶- کورکی نژاد. م. اوقن. م. اسلامی. م. کبیر. ا. (۱۳۸۴): پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سیاه رودبار گلستان، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، (۱)، ۳۸۶-۳۶۱.
- ۲۷- کمک پناه. ع. منتظرالقائم. س. (۱۳۷۳): مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارت زمین لغزه در کشور، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

- ۲۸- میانجی. ک. (۱۳۷۷): تحلیل چند متغیره احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۹- گتمیری. ب. (۱۳۷۵): بررسی خطر رانش زمین در استان آذربایجان شرقی و پهنه بندی خطر رانش در استان، طرح مطالعات مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه های زمین.
- ۳۰- گرای. پ. سلیمانی. ک. موسوی. ر. کاویان. ع. (۱۳۸۸): مدل سازی منطقه ای خطر زمین-لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره در حوضه آبخیز لاجیم رود ساری، مجله علوم زمین، سال نوزدهم، ۳۳، ۳۶-۲۹.
- ۳۱- محمودی. ف. (۱۳۸۸): تألیف روژه کک، ژئومورفولوژی دینامیک-دینامیک درونی و دینامیک بیرونی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۵.
- ۳۲- مصفایی. ج. اونق. م. مصدقی. م. شریعت جعفری. م. (۱۳۸۸): مقایسه کارایی مدل های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ۴، ۶۱-۴۳.
- ۳۳- معماریان. ح. (۱۳۷۴): زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.

- 34- Aleotti, P. Chawdhury R. (1999): Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. Bull. Eng. Geol. Environ.
- 35- Ayalew, L. Yamagishi, H. Marui, H. & 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 81, 432-445.
- 36- Bulut, F. Boynukalin. S. Tarhan. F. Ataoglu, E. (2000) Reliability of Landslide Isopleth Maps, Bull. Eng. Geol. Env, 58: 95-98.
- 37- Chowd Hury, R. Flentije, P (2003): Role of Slope Reliability Analysis in Landslide Risk Management, Bull. Eng. Geol. Env. 62:41-46
- 38- CRED (Centre for Research in The Epidemiology of Disasters) 2000: <http://www.cred.be/emdat/intro.html>.
- 39- Dey, P.K., & Ramcharan, E. K., (2000): Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados, Journal of Environmental Management: 88, 1384-1395.
- 40- Ercanoglu, M. Kasmer, O. Temiz, N. (2008): Adaptation and Comparison of Expert Opinion to Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping. Bull. Eng. Geol. Environ., 67: 565-578
- 41- Fatemi Aghda, M. Ghiomian, J. Eshgheli Farahani, A. (2006): Investigation Landslide hazard Using Fuzzy Logic (Case Study: Roudbar area), J, Science Tehran U university, 31, 64-43
- 42- Gharahi, H. Bohlooli, B. Sayyar, A. Shariat jafari, M. (2011): Landslide Susceptibility Mapping in The Reservoir of Alborz Dam Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics. Geosciences Scientific Quarterly Journal, 81: 93-100.
- 43- Hosseinzadeh, M. Servati, M. R., and Mansouri, A. (2009): Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model. IRAN Geology Quarterly, 3 (11): 27-37.
- 44- IFRC (International Federation of Red Crescent Societies) 2000: World Disasters, Report 2000. <http://www.ifrc.org>
- 45- Komac, M. (2006): A Landslide Susceptibility Model Using The Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Per alpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17-28
- 46- Lopez H.J. & Zink J.A. (1991) GIS-Assisted modelling of Soil-Induced Mass Movement Hazards: a Case Study of The Upper Coelloriver Basin, Tolima, Colombia. ITC Journal: 4, Pp. 202-220.

- 47- Mezughi, T.H. Akhir, J.M. Rafek, A.G. Abdullah, I. (2012): Analytical Hierarchy Process Method for Mapping Landslide Susceptibility to an Area Along the E-W Highway (Gerik-Jeli), Malaysia. *Asian Journal of Earth Sciences*, 5: 13-24.
- 48- Mohammady, M. Morady, H. R. Feiznia, S. Pourghasemi, H.R. (2010): Prioritization of Landslide Effective Factors and it's Hazard Mapping Using Information Value and AHP Models (Case Study: A Part of Haraz- Watershed). *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 74: 27
- 49- Nefeslioglu, H. A. Duman, T.Y. Durmaz, S.(2008): Landslide Susceptibility Mapping for a Part of Tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey).*Journal of Geomorphology*, 94 (3-4), Pp. 401-418.
- 50- Pradhan, B. (2011): An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for The Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Journal of Data Science*, 9, 65-81.
- 51- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B. Gokceoglu, C. (2012): Application of fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) to Landslide Susceptibility Mapping at Haraz Watershed, Iran. *Natural Hazards*, DOI: 10. 1007/s11069-012-0217-2.
- 52- Sandir, H. Yilmaz, I. (2002): Structural, Geomorphological and Geotechnical Aspects of The Koyulhisar Landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey), *Environmental Geology*, 42: 52-60.
- 53- Saro Lee, Kyungduck M. (2001): Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Youngling, Korea, *Environmental Geology*, 40: 1095-1113
- 54- Soeters, R. And Van Westen, C. J. (1996): Slope Instbility Recognition, Analysis and Zonation in: Turner, A.K. and Schuster, R.I. (Eds). *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Reserch Board, National Reserch Council, Special Report 247, National Academy Press Washington D.C., U.S.A., 129-177.
- 55- Van Westen, C.J. (2000): The Modeling of Landslide Hazard Using GIS. *Surveys in Geophysics* 21(2-3): 241-255.
- 56- Vargas, L. G. (1990): An Overview of The Analytic Hierarchy Process and Its Application's. *European Journal of Operational Research* 48, 2-8.
- 57- Yalcin, A. (2008): GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey). *Comparisons of Results and Confirmations, Catena*, 72: 1-12.
- 58- Yalcin, A. Reis, S. Aydinoglu, A.C. Yomralioglu T. (2011): A GIS-Based Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics and Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping in Trabzon. NE Turkey, *Catena*, 85: 274-287.
- 59- Yilmaz, I. (2009): Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study From Kat Landslides (Tokat-Turkey), *Computers and Geosciences* 35: 1125-1138.
- 60- Yoshimatsu, H. Abe, S. (2006): A Review of Landslide Hazards in Japan and Assessment of Their Susceptibility Using an Analytical Hierarchic Process (AHP) Method. *Journal of Landslides*, 3, 149-158.