نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، پاییز ۱۳۹۳، صفحات ۱۶۵-۱۳۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۰۴

پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلجه

موسی عابدینی[۱]
حسن ستایشی نِساز[۲]

چکیده

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از جمله روش‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان مناطق بحرانی را تعیین کرده و از نقشه‌های پهنه‌بندی شده در راستای برنامه‌ریزی محیطی جهت تقلیل خسارات ناشی از آن بهره گرفت. در تحقیق حاضر به بررسی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه گُلجه پرداخته شده است. با توجه به قرارگیری چندآبادی، مزارع و باغات در این محدوده که در شیب و بستر نامناسب قرار دارند و مورد تهدید مخاطرات طبیعی از جمله زمین لغزش می‌باشند. لذا پرداختن به پهنه‌بندی زمین لغزش هدف اصلی این پژوهش محسوب می‌شود. مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه مورد تحقیق، به ترتیب: زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، فاصله از رودخانه، جهت شیب، بارش و گسل شناسائی شدند. مواد و روش مورد استفاده، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در محیط GIS می‌باشد به این صورت که پس از تهیه لایه‌ها و وزن‌دار نمودن آن‌ها در محیط ArcGIS، نقشه نهایی تهیه شد. نتایج نهایی به‌دست آمده از تحقیق حاضر نشان داده که وزن معیارهای نُه‌گانه مذکور به‌ترتیب: ۰/۴۰۹۲، ۰/۲۴۸۵، ۰/۱۴۳۹، ۰/۰۷۸۶، ۰/۰۴۷۹، ۰/۰۳۰۹، ۰/۰۲۳، ۰/۰۱۸۱ است که عامل زمین‌شناسی بیشترین وزن (نقش) و عامل گسل کمترین وزن را داشته‌اند. در نهایت نقشه زمین لغزش در چهار گروه با خطر بسیار زیاد، با خطر زیاد، با خطر متوسط و کم خطر تهیه شد.

واژگان کلیدی: خطر زمین لغزش، پهنه‌بندی، GIS، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، حوضه گلجه.

۱ـ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی. Email:abedin@uma.ac.ir

۲ـ کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی.

مقدمه

زمین لغزش پدیده‌ای است که به عوامل مختلفی چون شیب، زمین‌شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی، زلزله و...، بستگی دارد (اگزالین لیو و همکاران[۳]، ۱۹۹۰: ۱۸). حرکات توده‌ای، از جمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به‌وقوع می‌پیوندد. یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست حوضه آبخیز می‌باشد (پارسایی، ۲۰۰۶: ۲۲۰).

از طرفی این حرکات نه تنها موجب تغییر مورفولوژی دامنه‌ها، بلکه در برخی موارد خطرات جانی و مالی نیز در پی دارند. با توجه به اینکه از بین انواع مخاطرات طبیعی، پدیده زمین لغزش مدیریت‌پذیرتر می‌باشد، لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن و همچنین برای ایجاد تأسیسات زیربنائی، با شناخت کامل از محیط و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن، تا حدودی می‌توان از تشدید ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش ممانعت نمود. شناسائی نواحی مستعد وقوع حرکت‌های توده‌ای یکی از اقدامات اولیه در مدیریت اولیه منابع طبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از این پدیده محسوب می‌شود (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۹۱ : ۶۳).

حوضه مورد مطالعه در یک منطقه کوهستانی واقع شده است و عوامل متنوعی نظیر شیب، زمین‌شناسی، لیتولوژی زیربری رودخانه، گسل، عوامل انسانی و... به‌صورت سیستماتیک در وقوع زمین لغزش‌های آن مؤثر می‌باشند. حوضه آبخیز گلجه پتانسیل بالایی برای وقوع زمین حرکات توده‌ای، به‌ویژه زمین لغزش دارد که این امر خطر بالقوه برای خطوط ارتباطی و آبادی‌های واقع شده در این حوضه محسوب می‌شود. جهت ارزیابی اثرات عوامل مختلف در وقوع زمین لغزش‌های حوضه مورد تحقیق و پهنه‌بندی مناطق مختلف آن به لحاظ پتانسیل آن‌ها برای وقوع زمین لغزش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد.

3- Xillinliu. et al

پهنه‌بندی زمین‌لغزش LHZ[4] به عنوان تقسیم‌بندی زمین به چند منطقه و طبقه‌بندی این مناطق بر حسب درجه خطر بالفعل یا بالقوه زمین‌لغزش و یا دیگر حرکات توده‌ای شیب‌ها می‌باشد (میرصانعی و مهدیفر، ۱۳۸۵: ۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (برتولینی و براگلیا[5]، ۲۰۰۶). یکی از مراحل مهم در فرایند برنامه‌ریزی و مکان‌یابی، مرحله ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه است. در این مرحله محاسن و معایب طرح‌ها نسبت به هم سنجیده و بهترین آن‌ها از نظر اقتصادی و اجتماعی برای اجرا انتخاب می‌شوند (پورمحمدی، ۱۳۸۴: ۱۰۵).

مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها و تسهیلات برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد (فرهادی، ۱۳۷۸: ۹۴). مکان‌یابی بهینه زمانی امکان‌پذیر است که محقق بتواند ارتباط علمی و منطقی مناسبی میان اطلاعات و داده‌های به‌دست آمده از کارشناسان مرتبط با موضوع مکان‌یابی را با توجه به اولویت‌ها برقرار سازد (رضویان، ۱۳۸۸: ۲۲۲). یکی از مدل‌ها در مکان‌یابی فرایند سلسله‌مراتبی (AHP) می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی شده است نقاط مختلف حوضه را به لحاظ پتانسیل و استعدادشان برای وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی و مناطق بحرانی تعیین گردد. لذا در صورت امکان از نتایج آن در برنامه‌ریزی محیطی به لحاظ ایجاد خطوط ارتباطی، مکان‌یابی و نحوه دخالت در شیب‌ها استفاده شود.

پیشینه تحقیق

بررسی آثار و منابع منتشره نشان داد که تا به حل هی‌چگونه تحقیقی در باره موضوع زمین لغزش حوضه مورد مطالعه به‌عمل نیآمده است. بنابراین خلأ تحقیقی با موضوع تحقیق

4- Landslide hazard zonation
5- Bertolini & Braglia

حاضر کاملاً محسوس بود. با وجود این تحقیقات زیادی در سال‌های اخیر در داخل کشورمان و خارج در زمینه پتانسیل مناطق به عامل زمین لغزش به‌ویژه در مورد پهنه‌بندی آن‌ها به‌عمل آمده است که به اجمال به آن‌ها در ذیل پرداخته‌ایم: محمدخان (۱۳۸۰: ۱۲۰) اقدام به پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای را برای حوضه آبخیز طالقان و با در نظر گرفتن عامل شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارندگی، جهت دامنه و کاربری اراضی و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) کرده‌اند و روش تلفیق وزنی را یکی از روش‌های مهم در تعیین مناطق به لحاظ استعداد برای وقوع حرکات توده‌ای عنوان نموده‌اند. احمدی (۱۳۸۴: ۱۴-۳) در مطالعات خود در مورد وقوع زمین لغزش در دره طالقان به این نتیجه رسیده است خطر حرکت‌های توده‌ای در دره طالقان با استفاده از ویژگی های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) در نتایج تحقیق تأکید بر ساخت مدل منطقه‌ای برای ارزیابی بهتر وقوع حرکات توده‌ای داشته است. به‌علاوه زمین لغزش‌های این منطقه بیشتر با جنس زمین (به علت رسوبات تبخیری نئوژن در این منطقه) در ارتباط است. علیمحمدی و همکاران (۱۳۸۸: ۷۷-۵۹) با ارزیابی کارایی مدل های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سیدکلاته رامیان به این نتیجه رسیده‌اند که بین مدل‌های تجربی، روش حائری- سمعی از روش‌های دیگر کارایی بهتری دارد. در ایران نیز مرادی و همکاران (۱۳۸۸: ۲۴۷-۲۳۴) با تـحلیل بـرآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش AHP در بخشی از جاده هراز به این نتیجه رسیدند که سه عامل واحدهای زمین‌شناسی، فاصله از جاده و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه داشته‌اند، در حالی که دو عامل گسل و بارش کمترین تآثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه به خود اختصاص داده است. عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۷: ۸۷-۷۱) با ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز اهر چای به این نتیجه رسیدند که عامل زمین‌شناسی بیشترین وزن (نقش) و عامل انسانی کاهش وزن را داشته‌اند.

به‌علاوه عواملی نظیر سنگ‌شناسی، شیب، گسل، جهت دامنه‌ها، ارتفاع، نوع کاربری، و فاصله از جاده‌ها به‌ترتیب اولویت به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در پهنه‌بندی لغزش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. سپس نقشه خطر زمین‌لغزش در سه کلاس زیاد، متوسط و کم تهیه

شد. امیراحمدی و همکاران (۱۳۸۹: ۲۰۳-۱۸۱) در مورد پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در حوضه آبخیز چلاو آمل کارکرده‌اند. ایشان در نظر گرفتن عوامل زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، عناصرخطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع به این نتیجه رسیدند که وضعیت زمین‌شناسی بالاترین اثر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشته است. سرور و همکاران (۱۳۹۱) در مورد پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در منطقه نیر- سراب با استفاده از مدل (LNRF) نمودند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که ۷۵ ٪ زمین لغزش‌های منطقه در سازندهای سازندهای سنگی (Mt و گدازه‌های پیروکسن آندریتی و آبرفت‌های جوان) رخ داده است. پس از آن عامل شیب، گسل‌ها و میزان بارندگی ۶۰۰۰ میلی‌متر و ارتفاعات بیشتر از ۱۸۰۰ متری در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مؤثر بوده‌اند.

عابدینی (۱۳۹۱: ۷۷) اقدام به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه گیوی‌چای با استفاده تحلیل سلسله‌مراتبی AHP نموده و در نهایت بعد از تلفیق وزنی ۹ عامل موثر کل حوضه را به چهار قسمت با خطر وقوع بسیار بالا، بالا، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی نمودند که در آن عامل شیب و لیتولوژی به ترتیب بشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند. بیدار (۱۳۹۱: ۱۳۶) اقدام به پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در مسیر جاده مشگین شهر- مویل با بهره‌مندی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نموده است. ایشان با تلفیق لایه‌های ۹گانه از این حوضه را به چهار بخش با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم خطرطبقه‌بندی کرده است. محققان خارجی نیز نظیر یاکلین[6] (۲۰۰۸: ۱۲-۱) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با توجه به ویژگی سازندهای زمین‌شناسی در ترکیه پرداخته نموده و به این نتیجه رسیده است که در منطقه مورد مطالعه ۹۸٪ از لغزش‌های رخ داده در واحدهایی با سازندهای زمین‌شناسی حساس به هوازدگی، زمین بدون پوشش و شیب بالا رخ داده است.

به‌علاوه در باره اثرات بارندگی‌های بر گسیختگی‌های دامنه‌های کم‌عمق به روش تجربی (چانگ و همکاران[7]، ۲۰۱۰: ۳۳۸-۳۲۶) تحقیق نموده‌اند و آنان به این نتیجه رسیدند

6- Yalcin
7- Chung et al

که با پیدایش هر گونه گسیختگی در پای دامنه تحت هر عاملی گسیختگی‌های متوالی به بخش بالا دست دامنه سرایت می‌کند و ارتباط تنگاتنگی بین عوامل درونی و بیرونی در شکل‌گیری گسیختگی‌های دامنه‌ای و زمین لغزش‌ها وجود دارد. از جمله (هونگ‌وو و چین چن[8]، ۲۰۰۹: ۳۳۸-۳۲۶) در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در مرکز تایوان به این نتیجه رسیدند که بارش، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، جاده و ریزش تاریخی کوه مهم‌ترین عوامل ایجاد زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند. همچنین یالسین[9] و همکاران (۲۰۱۱: ۲۷۵-۸۵) به ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS در ترابزون ترکیه به این نتیجه رسیدند که زمین‌شناسی، ارتفاع، فاصله از جاده و تغییر کاربری اراضی به‌عنوان پارامترهای مهم وقوع زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند.

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

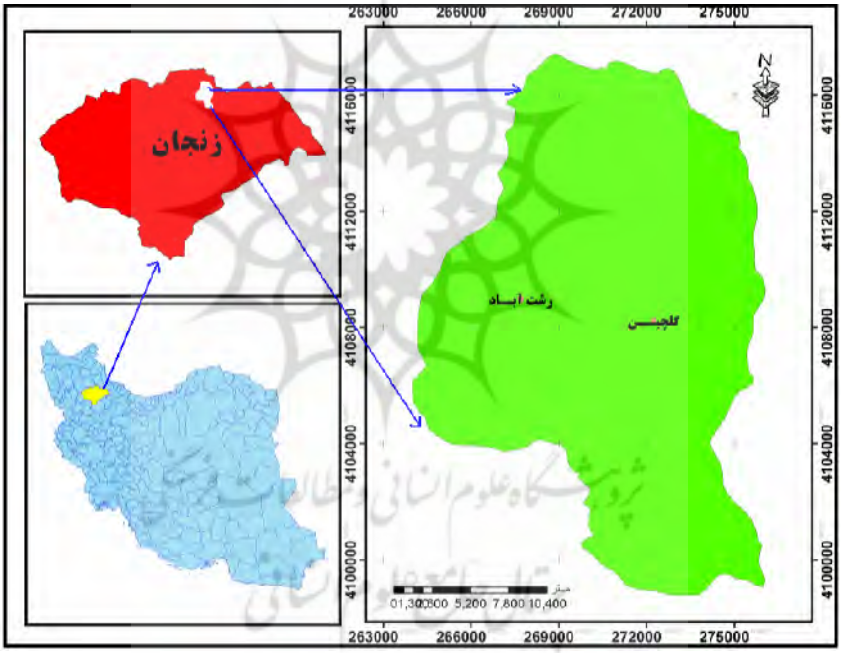
حوضه آبخیز گُلجه با مساحت۱۴۶/۸۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط حوضه ۱۹۰۰متر از سطح دریاست در شمال استان زنجان و در محدوده جغرافیایی، ″۴۲ ′۲۰ °۴۸ تا ″۴۷ ′۲۸ °۴۸ طول شرقی و ″۲۹ ′۰ °۳۷ تا ″۲۸ ′۱۰ °۳۷ عرض شمالی قرار دارد. بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک این منطقه، بارش متوسط حوضه ۵۲۱ میلی متر و دمای متوسط حوضه۱۱/۰۲درجه سانتی گراد است.

اقلیم حوضه به روش دومارتن ($\frac{p}{T+10}$) نیمه‌مرطوب، که در آن p و T به‌ترتیب متوسط بارش و دما است و به روش آمبرژه ($\frac{2000\ p}{M^2-m^2}$) مرطوب سرد است که در آن p، M و m هر کدام به ترتیب متوسط بارش، متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه و متوسط حداقل دما در سردترین ماه می‌باشد. با استناد به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، مشخص می‌شود که بخش اعظم سازندهای منطقه، مربوط به دوران پالوزوئیک و نئوژن

8- Hung wu & chin chen
9- Yalcin

می‌باشد و بیشتر تشکیلات، توف شیشه‌ای- سنگی و توف بازیک با درون لایه‌های تراکی بازالت می‌باشد و از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی، این حوضه در زون ایران غربی (آذربایجان، کردستان شمالی) قرار دارد (طالقانی، ۱۳۸۲ :۶۷).

از نظر پوشش گیاهی بیشتر جنگل‌های پراکنده و بوته زارها را در برمی‌گیرد. مهم‌ترین مراکز جمعیتی این منطقه روستاهای کَلَجین و رشت‌آباد می‌باشد. کوه‌های چیله خان داغی و سرداب داغی به‌ترتیب در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی حوضه کشیده شده است. در زیر موقعیت حوضه در کشور و استان مربوطه آورده شده است (شکل ۱).



شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه، مأخذ: نگارندگان ۱۳۹۰

مواد و روش‌ها

هدف نهایی این تحقیق پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه گلجه با استفاده از مدل AHP (روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها) می‌باشد. در این مدل برای پهنه‌بندی از

سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شده است که این قسمت شامل وارد کردن داده‌ها به محیط ArcGIS تجزیه و تحلیل و تولید لایه‌های اطلاعاتی است[۱۰].

ابتدا با وزن‌دهی به تک تک عوامل موثر در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی و سپس امتیازدهی به هر کدام از کلاس‌های مربوط به هر یک عوامل، ضرایبی به‌دست می‌آورد که بر اساس آن‌ها مدل نهایی را ارائه می‌نماید. بدین منظور در بررسی حاضر از نرم‌افزار GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ :۱ و زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰ :۱منطقه استفاده شده است. از داده‌های سینوپتیک سی ساله میانگین سالانه دما و بارش دوره آماری منطقه می نیز استفاده شد (www.irimo.ac.ir). به‌صورت اجمال در طی فرایند تحقیق نقشه‌های زیر تهیه شد:

ـ نقشه پراکنش و تراکم زمین لغزش‌های محدوده. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی و منطقه و با بازدیدهای منطقه‌ای و بررسی‌های میدانی و ثبت مشخصات (طول، عرض، موقعیت، مساحت) هر یک از زمین‌لغزش‌ها با بهره‌گیری از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و استفاده از GIS جهت رقومی کردن آن‌ها نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به عنوان یک لایه جهت تلفیق با لایه‌های دیگر آماده شد (شکل ۲).

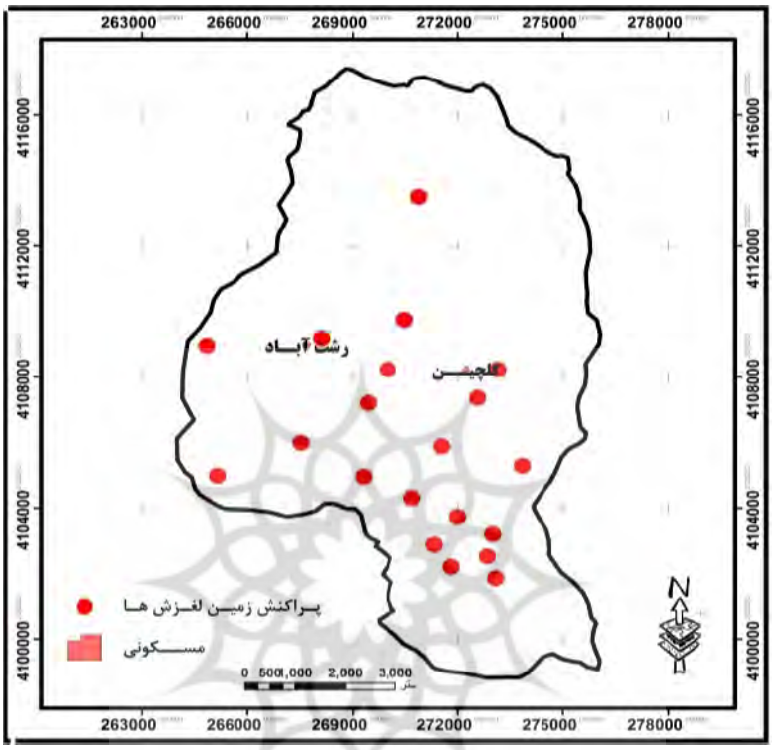
ـ نقشه‌های طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهات شیب، فاصله از رودخانه از مدل رقومی نقشه توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط ArcGIS.

ـ نقشه همباران ازطریق واسطه‌یابی ایستگاه‌های مجاور به کمک نرم‌افزار ArcGIS.

ـ نقشه لیتولوژی، فاصله از گسل حاصل از نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی.

ـ نقشه اطلاعاتی پوشش گیاهی، کاربری اراضی.

۱۰ـ در فرایند پهنه‌بندی منطقه بایستی معیارهای مختلفی مدنظر باشند، لذا به کار گیری روش‌هایی که قادر به تامین معیارهای مورد نظر باشد، ضروری می‌باشد (پناهنده و همکارا ن، ۱۳۸۸: ۲۷۶).



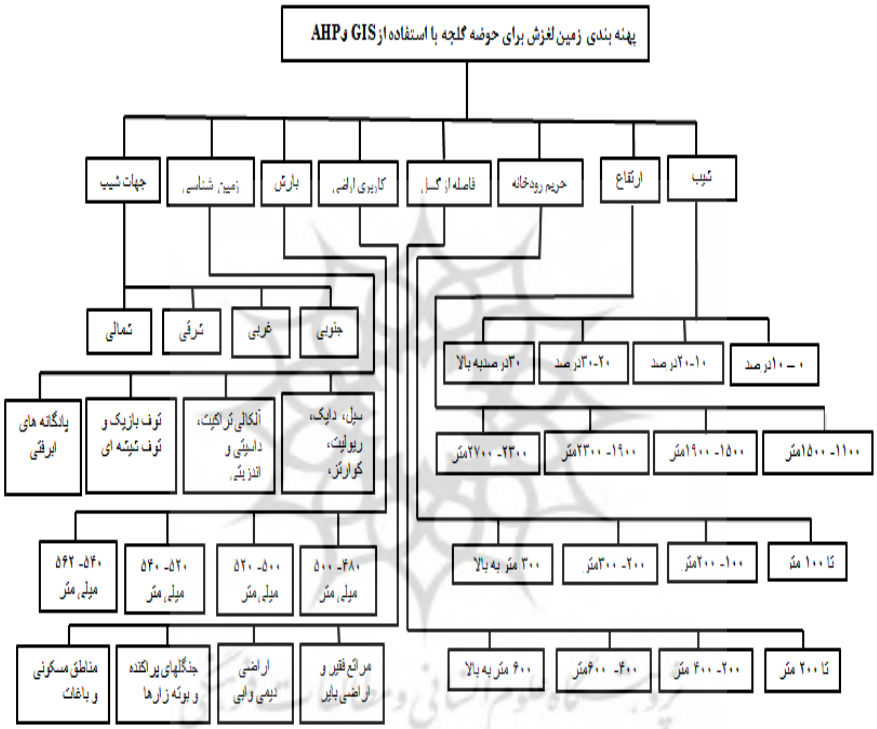
شکل (۲) نقشه پراکندگی زمین لغزش محدوده

یافته‌ها و بحث

– بررسی و تلفیق وزنی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه

شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی خطرات ناشی از آن در مناطق مختلف از نیازهای اساسی و بسیار مهمی است که برنامه‌ریزان به آن محتاج می‌باشند (رنجبر، ۱۳۸۸: ۲۲و۸۸). در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ابتدا به‌منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسان) استفاده می‌شود.

به‌طوری که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت جدول (۱) در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید (قدسی‌پور، ۱۳۸۸: ۱۳و۱۴).



شکل (۳) فلو چارت فرایند کار

واضح است که محدوده اعداد کمی شده صرفاً براساس نظر کارشناسی بوده و متخصص مربوطه می‌تواند محدوده اعداد کمی را به‌صورت تجربی و با بررسی کارهای مشابه تعین نماید که در اینجا مقادیر کمی ۱ الی ۹ در نظر گرفته شده است. مقایسه زوجی به‌عنوان اساس فرآیند سلسله‌مراتبی شناخته می‌شود (Ulengin et al, 2001: 366). مقایسه زوج‌ها با استفاده از اوزانی که در جدول (شماره ۱) آمده انجام شده است. در شکل ۲- فلوچارت فرایند کار نشان داه شد.

جدول (۱) مقایسه ۹ کمیتی توماس ال ساعتی دو دویی گزینه‌ها

امتیاز (شدت ارجحیت)	تعریف
۱	ترجیح یکسان (referred Equally)
۳	کمی مرجح (referred Moderately)
۵	ترجیح بیشتر (referred Strongly)
۷	ترجیح خیلی بیشتر (Very Strongly)
۹	کاملاً مرجح (Extermely Strongly)
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بینابین (وقتی حالت‌های میانه وجود دارد)

اولویت‌بندی عوامل موثر

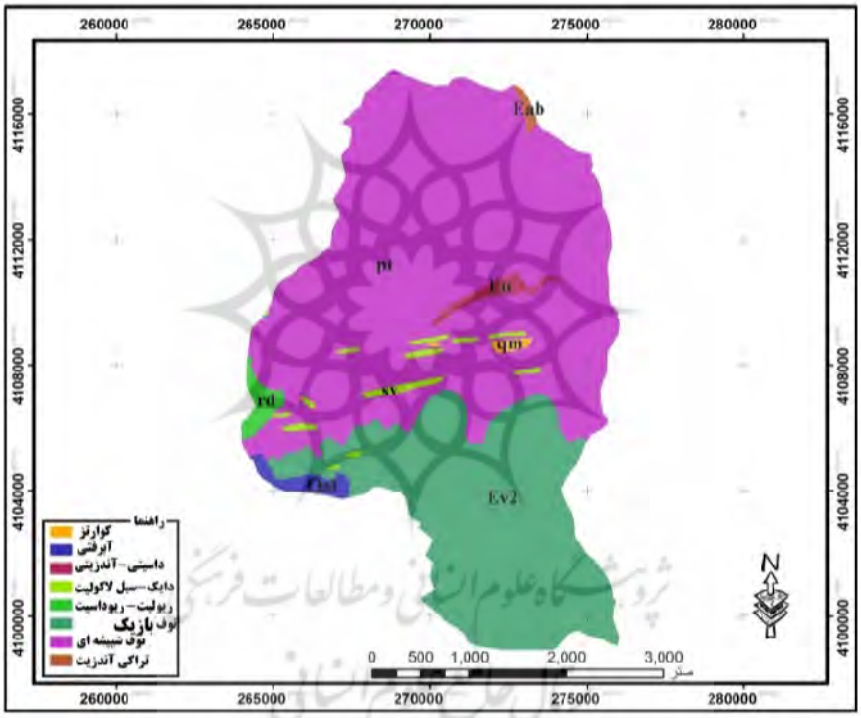
روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها بر پایه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه استوار می‌باشد (قدسی‌پور، ۱۳۷۹). چون درجه اهمیت عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر متفاوت است، بنابراین شناسائی و اولویت‌بندی آن‌ها الزامی است که این اولویت‌بندی بر اساس قضاوت‌های کارشناسان متخصص و خبره مشخصات فیزیکی حوضه و مقایسه تک‌تک عوامل با یکدیگر انجام گردیده است که اولویت‌بندی عوامل موثر در وقوع پدیده فوق به‌صورت لایه‌های اطلاعی تهیه شده است: ۱- لایه زمین‌شناسی ۲- لایه شیب زمین ۳- لایه کاربری اراضی ۴- لایه ارتفاع ۵- لایه فاصله از رودخانه ۶- لایه جهت شیب ۷- بارش ۸- لایه فاصله از گسل.

همان‌طوری که ذکر شد بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق گرفته که بالاترین احتمال خطر زمین لغزش را در منطقه دارد و کمترین وزن نیز شامل قسمت‌هایی است که از نظر استعداد زمین لغزش، پایین‌ترین خطر را دارا می‌باشد (شکل‌های ۴ تا ۱۱).

زمین شناسی

رخنمون واحدهای سنگی یا لیتولوژی یک منطقه، نقش بسزایی در وقوع زمین لغزش و ناپایداری دامنه‌های آن خواهد داشت. براساس تهیه لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی، مربوط به حساسیت واحدهای سنگی در برابر وقوع زمین لغزش، ابتدا نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

هشجین که محدوده مورد مطالعه در این شیت قرار دارد، تهیه و در محیط ArcGIS رقومی شد (شکل ۴). همان‌طور که نقشه گویاست بیشترمساحت محدوده شامل pt و Ev2 می‌باشد که سازند توف را شامل می‌شود و بیشتر زمین لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه در این نوع سازنـدها به‌وقوع پـیوسته است. سایر سازنـدها که شامل qm، Eu، sv، rd و... می‌باشند، به‌صورت رگه‌ای در منطقه رخنمون دارند که تأثیر چندانی در منطقه ندارند.

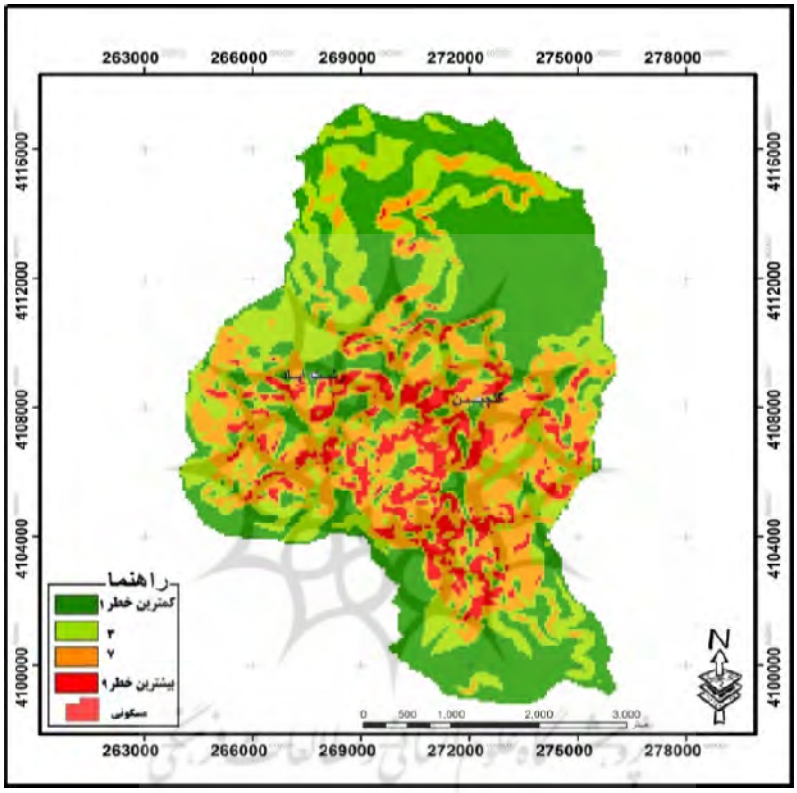


شکل (٤) نقشه زمین‌شناسی حوضه

ـ شیب

شیب حوضه مورد مطالعه در چهار طبقه تقسیم‌بندی شده است. بیشترین زمین لغزش‌ها در طبقات شیب بالاتر از ۳۰٪ اتفاق افتاده است که به لحاظ خطرپذیری بالاترین خطر را شامل

می‌شود. طبقات شیب ۲۰–۳۰ درصد، ۱۰–۲۰درصد و ۰–۱۰درصد، به ترتیب تأثیر با خطر بالا، متوسط و با خطر بسار کم را برای ایجاد زمین لغزش در منطقه دارند (شکل ۵).

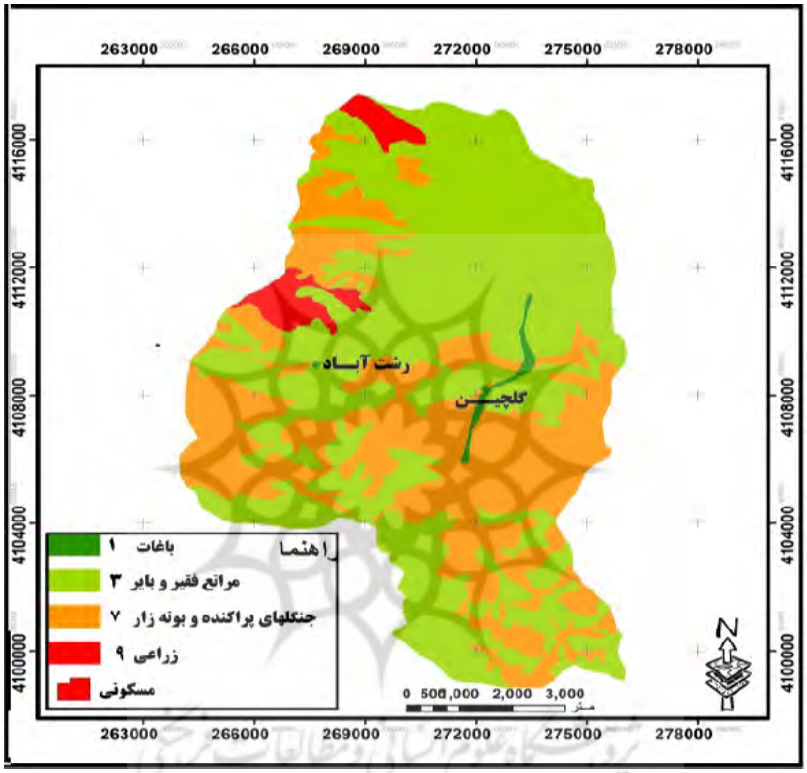


شکل (۵) نقشه شیب حوضه

ـ کاربری اراضی

بر اساس داده‌های جمع آوری شده ۶ نوع پوشش کاربری در منطقه مورد مطالعه شناسایی گردید که در چهار طبقه تقسیم‌بندی شده است که از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ گلجه اسخراج گردیده است (شکل ۶). بالاترین خطر زمین لغزش شامل زمین‌های زراعی می‌باشد. کاربری‌های

جنگل‌های پراکنده و بوته‌زارها، مراتع فقیر و بوته‌زارها و باغات و مناطق مسکونی به لحاظ خطرپذیری و مستعد زمین لغزش در درجات بعدی قرار دارند.

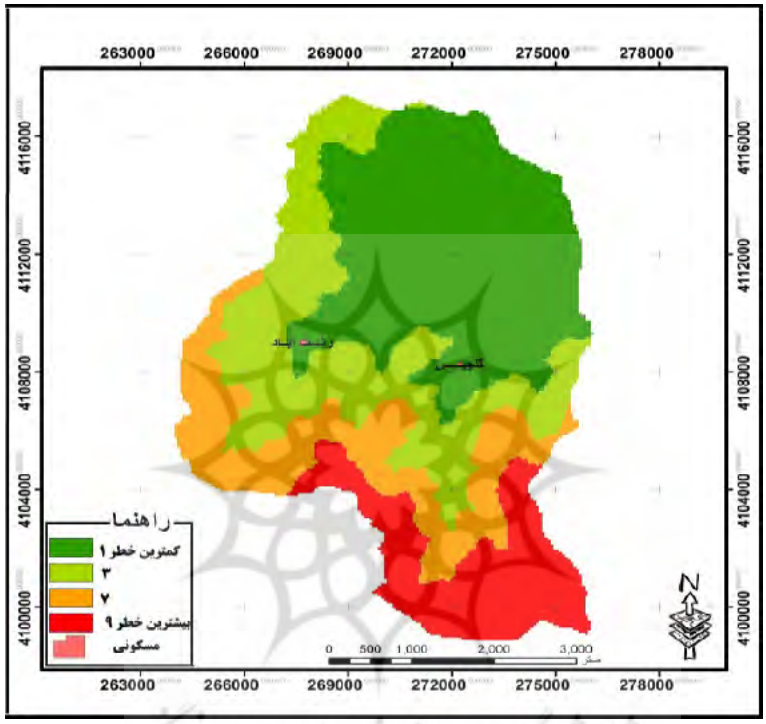


شکل (٦) نقشه کاربری اراضی حوضه

- ارتفاع

در مطالعات ژئومورفولوژی محاسبه توپوگرافی برای مقاصد مختلف محاسبه می‌گردد. واحد توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در چهار طبقه تقسیم‌بندی گردیده است. به لحاظ ناپایداری، بیشترین خطر زمین لغزش در ارتفاعات بالاتر قرار دارد که ارتفاع ۲۳۰۰–۲۷۰۰ متر محدوده را شامل می‌شود که در جنوب محدوده مورد مطالعه قرار دارد چرا که در ارتفاعات بالاتر به دلیل دریافت بارش و انرژی بالا، بیشتر مستعد زمین لغزش می‌باشند. ارتفاعات ۱۹۰۰–

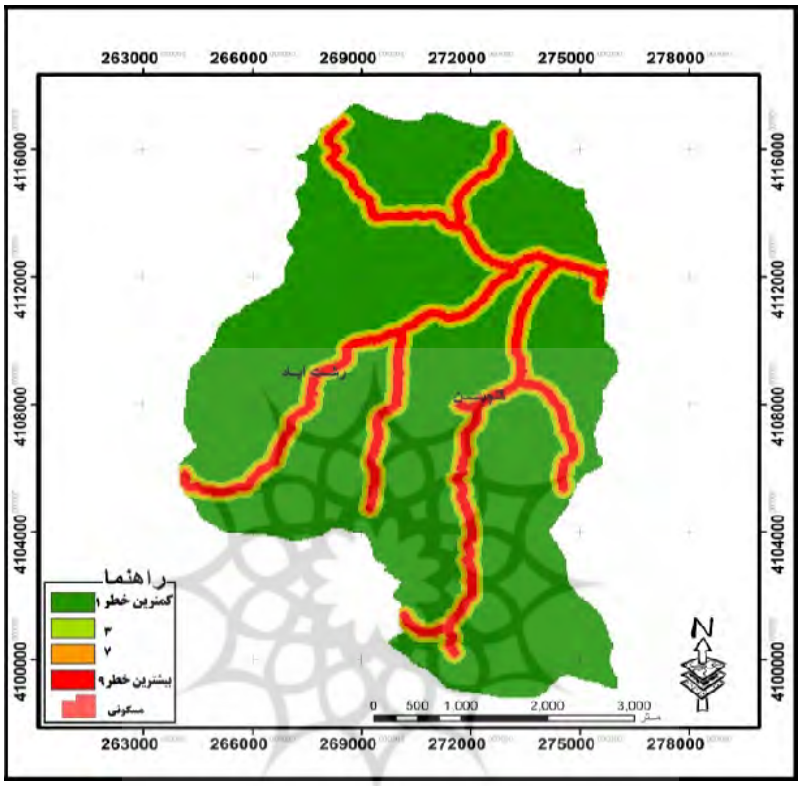
۲۳۰۰ متر، ۱۵۰۰–۱۹۰۰ و۱۱۰۰–۱۵۰۰ به لحاظ حساسیت خطرپذیری زمین لغزش در مرتبه بعد قرار دارد (شکل ۷).



شکل (۷) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه

– فاصله از رودخانه

شبکه‌های هیدروگرافی با زیربری دامنه‌ها یکی از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در حوضه می‌باشند. فاصله از رودخانه در چهار طبقه برای محدوده مورد مطالعه تهیه گردیده است که فاصله تا ۱۰۰ متری بیشتر مستعد زمین لغزش می‌باشد که به لحاظ خطرپذیری بالاترین خطر را شامل می‌شود و فاصله بالاتر از۳۰۰ متر کمترین خطر برای شکل‌گیری زمین لغزش می‌باشد (شکل ۸).

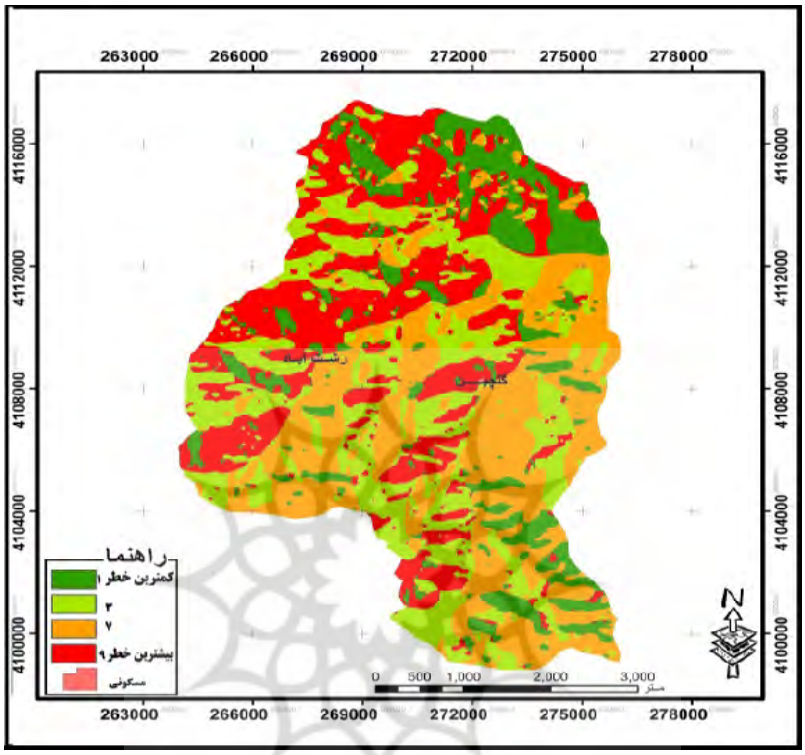


شکل (۸) نقشه فاصله از رودخانه حوضه

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

- جهات شیب

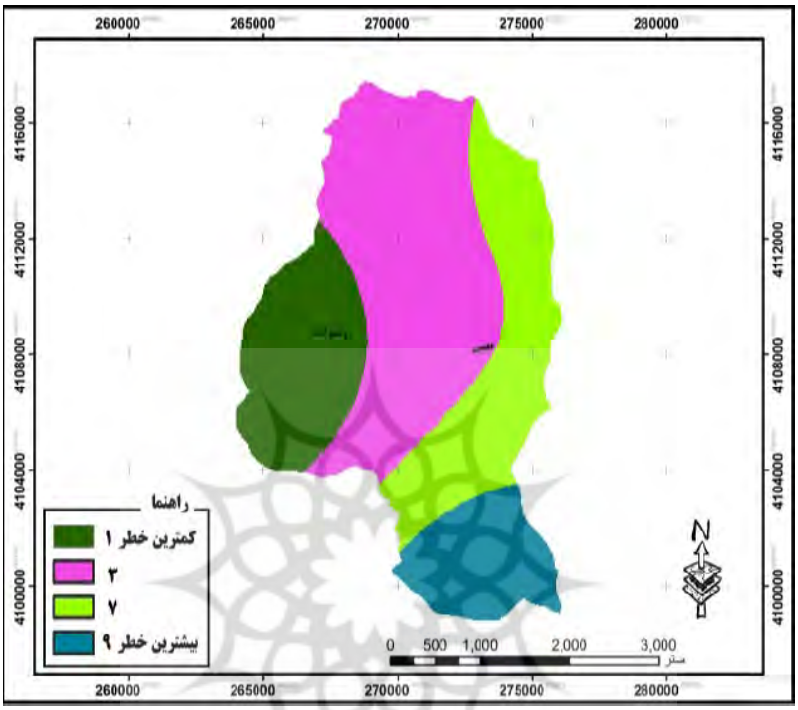
طبق بررسی‌های به‌عمل آمده در منطقه مورد مطالعه، بیشترین وزن به دامنه‌های جنوبی تعلق دارد. دامنه‌های جنوبی شرقی و جنوب غربی نیز وزن بالاتری را به خود اختصاص می‌دهند. علت وقوع زمین لغزش در دامنه‌های جنوبی که انرژی بیشتری را دریافت می‌کنند می‌توان هوازدگی دانست. در این دامنه‌ها رطوبت بالای دامنه‌ها به همراه دریافت انرژی ناشی از آفتاب، شرایط مناسب برای هوازدگی شیمیایی را فراهم می‌کند. شدت هوازدگی رابطه معکوسی با مقدار چسبندگی مواد دارد که این، زمینه را برای وقوع زمین لغزش فراهم می‌کند. دامنه‌های غربی، شرقی و جنوبی به لحاظ خطرپذیری در درجات بعدی قرار دارد (شکل۹).



شکل (۹) نقشه جهت شیب حوضه

– بارش

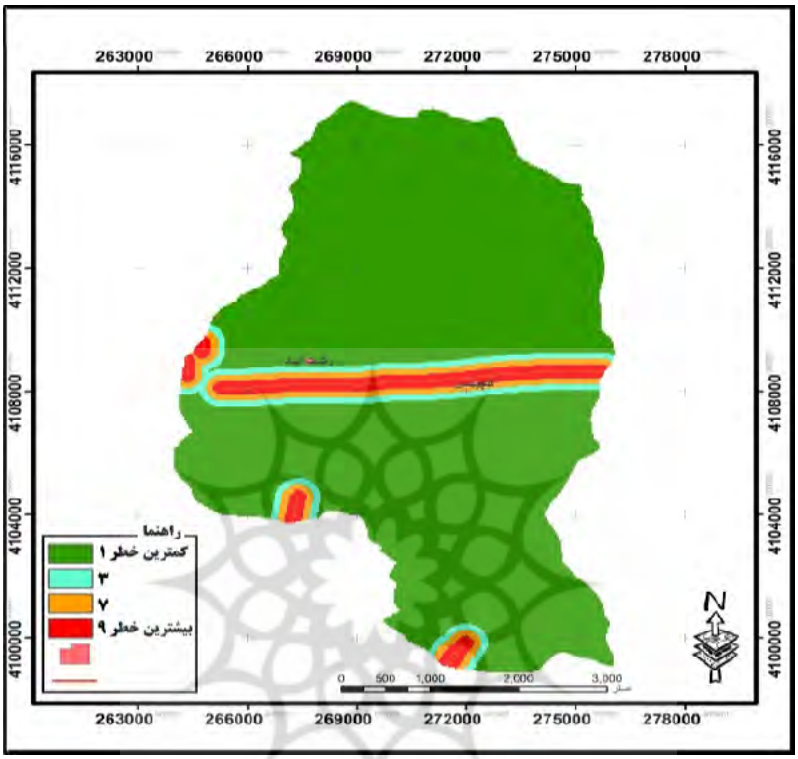
بارش منطقه مورد مطالعه به ۴ طبقه تقسیم بندی شده است. برای محدوده بارندگی بین ۴۸۰ تا ۵۰۷ میلی‌متر بارندگی که ارزش ۱ به این طبقه اختصاص داده شده است و نشان‌دهنده وقوع کم زمین لغزش در این محدوده می‌باشد و قسمت غربی محدوده را شامل می‌شود و برای بارندگی بین ۵۶۲ تا ۵۸۹ میلی‌متر نشان‌دهنده وقوع زمین لغزش زیاد می‌باشد که بالاترین خطر زمین لغزش را شامل می‌شد که قسمت‌های جنوبی محدوده را شامل می‌شود و بالاترین وزن یعنی ۹ به این طبقه اتفاق افتاده است (شکل۱۰).



شکل (۱۰) نقشه بارش حوضه

– فاصله از گسل

در محدوده مورد مطالعه گسل اصلی وجود ندارد ولی گسل‌های فرعی موجود در محدوده می‌تواند به‌عنوان محرک مواد روی دامنه‌ها عمل نماید. فاصله از گسل در محدوده مورد مطالعه به ۴ طبقه تقسیم‌بندی شده است که فاصله تا ۱۰۰ متری گسل، به‌عنوان محدوده با خطر بسیار بالا با ارزش ۹ در نظر گرفته شده است، فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر با خطر بالا، فاصله ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر با خطر متوسط و فاصله ۳۰۰ متری به بالا با خطرپذیری کم با ارزش ۱ می‌باشد (شکل۱۱).



شکل (۱۱) نقشه فاصله از گسل

تعیین وزن لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله بعد از تهیه تمام لایه‌های موثر در زمین لغزش حوضه و با توجه به درجه اهمیت آن‌ها بر اساس روش AHP تعیین گردید. بیشترین وزن به لایه‌هایی تعلق می‌گیرد که نـقش بیشتری در وقوع زمین لغزش داشته است. مـقدار وزن لایه‌ها از ۱ تا ۹ متغیر می‌باشد یعنی برای عامل بسیار ضعیف وزن ۱ و برای عامل بسیار مؤثر وزن ۹ تعلق می‌گیرد. پس از وزن‌دهی و نهایی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی که به‌صورت لایه‌های وزنی در آمده است برای تلفیق، کلیه لایه‌های وکتوری را در محیط ArcGIS به لایه‌های رستری تبدیل

نموده و در قسمت AHP فراخوانی مـی‌کنیم که در نهایت ماتریس لایه‌ها و وزن نهایی آن‌ها و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین لغزش به‌دست می‌آید.

جدول (۲) اولویت بندی معیارها بر اساس مقایسات زوجی و وزن نهایی به‌دست آمده از آن‌ها

معیارها	زمین‌شناسی	شیب	کاربری	ارتفاع	رودخانه	جهت شیب	بارش	گسل	وزن نهایی
زمین‌شناسی	۱	۴	۵	۷	۸	۸	۹	۹	۰/۴۰۹۲
شیب	۱/۴	۱	۴	۶	۶	۷	۸	۸	۰/۲۴۸۵
کاربری	۱/۵	۱/۴	۱	۴	۵	۶	۶	۷	۰/۱۴۳۹
ارتفاع	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱	۳	۴	۵	۶	۰/۰۷۸۶
رودخانه	۱/۸۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱	۳	۳	۴	۰/۰۴۷۹
جهت شیب	۱/۸	۱/۷	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۲	۳	۰/۰۳۰۹
بارش	۱/۹	۱/۸	۱/۶	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۰/۰۲۳
گسل	۱/۹	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱	۰/۰۱۸۱
جمع									۱/۰۰۰

مأخذ: مطالعات نگارندگان: ۱۳۹۰

– نسبت توافق (CR)

یکی از مزیت‌های AHP، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت شاخص و زیرشاخص‌ها است. ساز و کاری که این مدل برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر می‌گیرد، محاسبه ضریبی به نام «ضریب ناسازگاری» است که از تقسیم «شاخص ناسازگاری» به «شاخص سازگاری» حاصل می‌شود. چنانکه مقدار $CR \leq 0.1$ باشد، نشان‌دهنده این است که سازگاری لازم در قضاوت‌ها رعایت شده، در غیر این صورت می‌بایستی تجدیدنظر در قضاوت‌ها صورت گیرد. به‌عبارت دیگر ماتریس مقایسه‌ای دودویی شاخص‌ها باید مجدداً تشکیل شود. شاخص ناسازگاری از فرمول زیر به‌دست می‌آید (فتحی، ۱۳۸۵: ۴۸ و ۵۰).

- شاخص ناسازگاری

رابطه ۱:
$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} = \frac{8.213 - 8}{8-1} = \frac{0.213}{7} = 0.030$$

همچنین می‌توان "نسبت توافق" (CR) را به طریق زیر حساب کرد:

رابطه ۲:
$$CI = \frac{CI}{RI} = \frac{0.030}{1.41} = 0.021$$

جدول (۲) شاخص تصادفی بودن

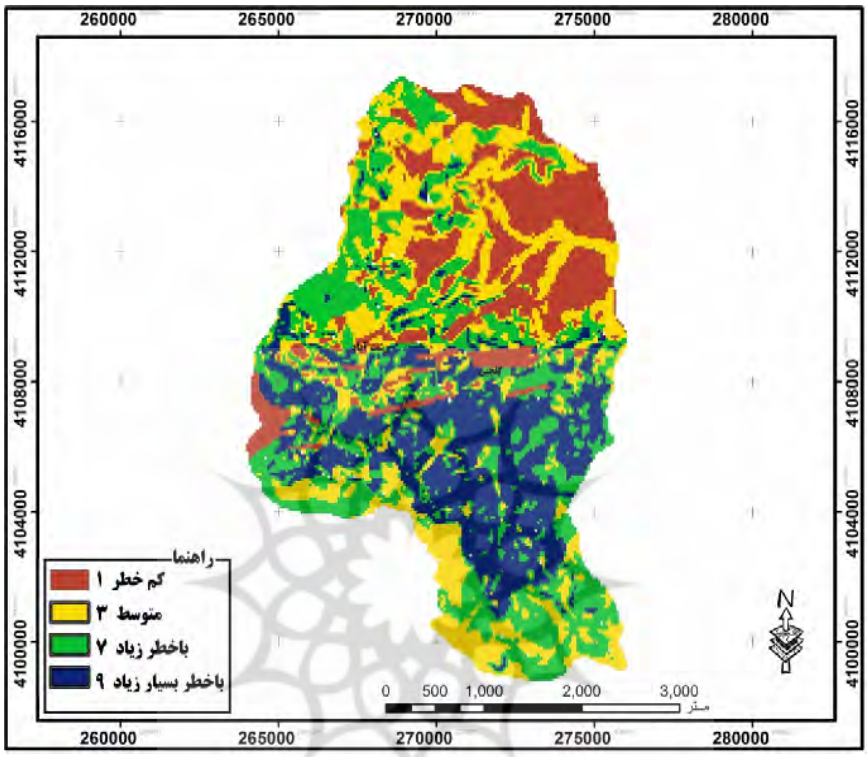
n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰،۵۸	۰،۹	۱،۱۲	۱،۲۴	۱،۳۲	۱،۴۱	۱،۴۵	۱،۴۹	۱،۵۱	۱،۴۸	۱،۵۶	۱،۵۷	۱،۵۹

مأخذ: زبردست، ۱۳۸۰

که در آن RI شاخص تصادفی بودن است که برای مقادیر مختلف تعداد معیارها (n) از طریق (جدول۲) به‌دست می‌آید (زبردست، ۱۳۸۰: ۴۲، ۳۷). در فرایند پهنه‌بندی زمین لغزش این نسبت ۰/۰۱۵ به‌دست آمده است که از درصد خطای بسیار پایین برخوردار است.

- مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در ArcGIS

ابتدا تمام لایه‌های موثر در زمین لغزش حوضه مورد مطالعه تهیه شده سپس به صورت رقومی در آورده و تبدیل به لایه‌های رستری شده است. AHP را در محیط ArcGIS فراخوانی کرده و لایه‌های رستری تهیه شده در مرحله قبل را از کم‌اهمیت‌ترین لایه تا پراهمیت‌ترین لایه فراخوانی کرده آنگاه ارزش‌های در نظر گرفته از قبل را به ماتریس ایجاد شده از عوامل موثر در زمین لغزش حوضه وارد شده است. در نهایت نقشه ایجاد شده از تلفیق لایه‌ها در چهار کلاس طبقه‌بندی شده با مناطق کم‌خطر، مناطق با خطر متوسط، مناطق با خطر زیاد و مناطق باخطر بسیار زیاد به زمین لغزش به‌دست آمده است (شکل ۱۱).



شکل (۱۱) نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

بحث

در انجام تحقیق در روی عوامل طبیعی، روش نگرش سیستی و بررسی اثرات متقابل عوامل محیطی متنوع بر شکل‌گیری تغییرات و یا وقوع یک پدیده امری ضروری است. یکی از روش‌های مورد ترکیبی یا تلفیق وزنی روش سلسله‌مراتبی (AHP) که در تحقیق خطر زمین لغزش حوضه گلجه زنجان استفاده شد. این مدل تقریباً در برگیرنده کلیه عواملی است که در وقوع زمین لغزش حوضه مورد مطالعه نقش داشته است. در این روش ابتدا تمام نقشه‌های پایه را بدون توجه به‌ترتیب و اولویت‌بندی که شامل (نقشه بارش، توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب و...) تهیه گردید. بنابراین شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی خطرات ناشی از آن در مناطق مختلف از نیازهای اساسی و بسیار مهمی است که برنامه‌ریزان

به آن محتاج می‌باشند. سپس طبق نظر کارشناسی هر یک از لایه‌ها ابتدا اولویت‌بندی شدند و در مرحله بعد به هر کدام از لایه‌ها به ترتیب اثرگذاری در زمین لغزش به‌طرز سیستمی وزن‌دهی شده است. در پهنه‌بندی زمین لغزش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است، یعنی یک مسئله پیچیده که به‌طور سیستمی عمل می‌کند، به‌طوری‌که همه اجزا و لایه‌ها در ارتباط باهم هستند و به‌صورت ساختار سلسله‌مراتبی به اجزایی تقسیم می‌شود و سپس به هر اجزا به‌صورت منطقی وزن داده شد..

تجزیه و تحلیل عوامل در چهار سطح صورت گرفت که از سطح اول تا سطح سوم پارامترها به زیرمجموعه‌هایی تقسیم می‌شوند و در سطح چهارم پهنه‌بندی زمین لغزش به صورت معیارهای مورد نظر انجام گرفت.

نتیجه‌گیری

یکی از مراحل مدیریت و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و محیطی پهنه‌بندی یک ناحیه در برابر مخاطرات طبیعی است. برای این منظور روش‌های متفاوتی وجود دارد. که یکی از منطقی‌ترین روش‌ها استفاده از مدل AHP است که در این پژوهش از این مدل استفاده شده است. یکی از امتیازات مدل فرایند سلسله‌مراتبی این است که در آن تمام عناصر را در ارتباط با هم در نظر گرفته می‌شود. که میزان اثرگذاری هر یک از لایه‌ها مشخص می شود. عوامل مختلف تأثیرگذار در زمین لغزش منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب اولویت به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده: لایه زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، رودخانه، جهت شیب، یارش، گسل، که عامل زمین‌شناسی با بیشترین وزن (۴۰۹۲/.) و عامل گسل با کمترین وزن (۰۱۸۱/.) را به خود اختصاص داده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه گُلجه از لحاظ حساسیت به زمین لغزش در چهار کلاس از کم‌خطر تا خطر بسیار زیاد در نقشه نهایی ممیزی شدند (شکل ۱۱). همچنین مناطق مختلف حوضه به تفکیک خطرپذیری و وسعت هر یک از آن‌ها محاسبه و نمودار مربوطه استخراج و رسم گردید. بر این اساس از کل مساحت حوضه مورد مطالعه حدود ۲۹/۹ کیلومتر مربع (۲۰/۴٪) مناطق با خطر بسیار زیاد، حدود ۳۷/۱ کیلومترمربع (۲۵/۳٪) مناطق با خطر زیاد، حدود ۴۱/۲ کیلومتر مربع

(۲۸/۱٪) مناطق با خطر متوسط و حدود ۳۸/۶ کیلومترمربع (۲۶/۳٪) از منطقه مورد مطالعه با خطر پذیری کم برای ایجاد زمین لغزش را در برمی‌گیرد (جدول ۳). هم چنانکه در نقشه نهایی (نقشه پهنه‌بندی) نشان داده شده است، خطر وقوع زمین لغزش در مناطق روستائی منطقه(روستای رشت آباد و گلچین و خطوط ارتباطی آن‌ها با خطر بسیار بالاست.

جدول (۳) مساحت پهنه‌های مختلف حوضه به لحاظ خطر زمین لغزش

پهنه بندی خطر	مساحت به کیلومترمربع	درصد
کم خطر	۳۸/۶	۲۶/۳
باخطرمتوسط	۴۱/۲	۲۸/۱
باخطر زیاد	۳۷/۱	۲۵/۳
باخطرخیلی زیاد	۲۹/۹	۲۰/۴

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱ـ احمدی، حسن (۱۳۸۴)، «***ژئومورفولوژی کاربردی***»، جلد اول (فرسایش آبی)، تهران، دانشگاه تهران.

۲- احمدی، حسن (۱۳۸۴)، «ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان، ***مجله منابع طبیعی ایران***، ۵۸ : ۳-۱۴.

۳- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ کامرانی دلیر، حمید و صادقی، محسن (۱۳۸۹)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو آمل»، ***فصلنامه انجمن جغرافیای ایران***، شماره ۲۷، صص۲۰۳-۱۸۱.

۴- امیراحمدی، ابوالقاسم، (۱۳۸۵)، «ژئومورفولوژی کاربردی؛ بررسی نقش اقلیم در حرکت دامنه‌ای در ارتفاعات شمال خراسان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت کنترل بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن»، پایان‌نامه دکترا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۵- پناهنده، محمد؛ ارسطو، بهروز؛ قویدل، آریامن و قنبری، فاطمه (۱۳۸۸). «مکان‌یابی جایگاه دفن پسماند شهر سمنان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)»، ***سالنامه انجمن علمی بهداشت محیط ایران***، دوره دوم،شماره چهارم، زمستان.

۶- بیدار، زینب (۱۳۹۱) «پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در مسیر جاده مشگین شهر–مویل با استفاده‌مندی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی محقق اردبیلی.

۷- پورطاهری، مهدی (۱۳۸۹)، «***کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در جغرافیا***»، تهران، انتشارات سمت.

۸- پورمحمدی، محمدرضا ((۱۳۸۲)، «***برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری***»، تهران، انتشارات سمت.

۹- رنجبر، محسن، روغنی، پریسا، (۱۳۸۸)، «ژئومورفولوژی کاربردی، پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP»، ***فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس***، سال اول، شماره ۲، صص ۸۸-۲۲.

۱۰- رضویان، محمدتقی (۱۳۸۸)، ***«برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری»***، نشر منشی.

۱۱- زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰)، «کاربرد تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، ***مجله هنرهای زیبا***، شماره۱۰، صص ۱۳ و ۴۲- ۳۷ .

۱۲- عابدینی، موسی (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های حوضه گیوی چای بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP»)، طرح پژوهشی گروه جغرافیای دانشگاه محقق اردبیلی.

۱۳- علائی طالقانی، محمود (۱۳۸۲)، «ژئومورفولوژی ایران»، انتشارات قومس.

۱۴- علیمحمدی، صفیه؛ پاشایی اول، عباس؛ شتایی جویباری، شعبان و پارسایی، لطف‌الله (۱۳۸۸)، «ارزیابی کارایی مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سیدکلاته رامیان»، ***مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک***، جلد شانزدهم، شماره اول، صص ۵۹- ۷۷.

۱۵-عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق، حسن؛ دلال اوغلی، علی و ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۷)، «ارزیابی نتایج مدلAHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مطالعه موردی‌حوضه آبخیز اهرچای»، ***مجله فضای جغرافیایی***، سال نهم، شماره۲۶، صص۷۱-۸۷

۱۶- فرهادی، رودابه (۱۳۷۸)، «بررسی حرکت‌های توده‌ای (زمین‌لغزش) به منظور ارائه مدل منطقه‌ای پهنه‌بندی خطر در حوضه آبخیز لاجیم رود، تجزیه و تحلیل توزیع مکانی و مکان‌یابی مدارس در منطقه ۶ تهران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۱۷- فتحی، حمید (۱۳۸۵)، «برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، شناسایی و تدوین روابط بین برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای و مدیریت ریسک زلزله»، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی.

۱۸- قدسی‌پور،حسن (۱۳۸۴)، ***«فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، تهران»***، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۹-قدسی‌پور، حسن (۱۳۸۸)، ***«فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP»***، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲۰- مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۸)، «تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی جاده هراز»، ***مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا***، ش(۲)۱۴، ۱۳۸۸ صص ۲۴۷- ۲۳۴.

۲۱- میرصانعی، رضا و مهدیفر، محمدرضا (۱۳۸۵)، «روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش»، پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۸۵، صص ۲۷۷- ۱.

۲۲- محمدخان، ش. (۱۳۸۰)، «برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

23- Bertolini, M.M., Braglia (2006), "Application of the AHP Methodology in Making a Proposal for a Public, Work Contract", 17 January.

24- Ching, C.H She-C Y. (2010), "Experimental Investigation of Rainfall Criteria for Shallow Slope Failures", ***Geomorphology,*** Vol. pp 326-338.

25- Yalcin, A. Reis, S. Aydinoglu, AA. 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, ***Geomorphology***, Vol. 85, PP. 274-2.

26- Saaty TL. (1980), "***The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation***", New York/London: McGraw-Hill International Book Co.

27- Ülengin, Burç. Füsun Ülengin, ÜmitGüvenç (2001), "A Multidimensional Approach to Urban Quality of Life: The Case of Istanbul, ***European Journal of Operational Research*** 130 (2001) 361- 374.

28- Xilinliuand et all: "Influence of Geologic Factor on Landslides in Zaotong China", ***Enr. Geol. Water Sc***", Vol. 19, No. 1, 17-20 pp.

29- Yalcin, A. (2008), "GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey)", Volume 72, Issue 1, 1 January 2008, Pages 1-12.

30- www.irimo.ac.ir.