

مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰
وصول: ۱۳۸۹/۲/۸ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۲۸
صص ۵۳-۷۲

شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی

محمود علایی طالقانی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران *
زهرا رحیم‌زاده: استادیار ژئومورفولوژی، مرکز تربیت معلم کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

در این تحقیق با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فرآیندها (AHP) مبادرت به پهنه بندی خطر لغزش (به مفهوم عام) در حوضه آبخیز جوانرود واقع در شمال غرب زاگرس چین خورده (در محدوده استان کرمانشاه) شده است. برای این منظور ۳۱ نقطه لغزشی در سطح حوضه مورد مطالعه از طریق پیمایش زمینی شناسایی شد و با انتقال آنها بر روی نقشه پایه، لایه پراکنش نقاط لغزشی حوضه تهیه گردید. سپس با توجه به این نقشه و تحقیقات صورت گرفته، ۷ عامل تأثیر گذار بر حرکت های توده ای منطقه مورد مطالعه انتخاب و آنگاه به منظور مقایسه زوجی در جدول ماتریس، بر اساس میزان ارجحیت (سلسله مراتب) در وقوع پدیده مورد نظر رده بندی گردیدند. این لایه‌ها شامل لیتولوژی، شیب، فاصله از زهکش، فاصله از جاده، فاصله از روستا، جهت گیری دامنه، کاربری اراضی بوده اند که در تهیه آنها از نقشه های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ / ۱، تصویر ماهواره ای ETM استفاده شده است. در مرحله آخر به کمک نرم افزار ArcGIS عملیات وزن دهی و همپوشانی از لایه های انتخابی صورت گرفت و با توجه به ضرایب حاصل، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در ۴ پهنه خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد به دست آمد. مقدار عددی ضریب نهایی از جمع اعداد حاصل از ضرب وزن هر معیار در شاخص آن در هر نقطه بین صفر تا ۱۰۰ تعریف گردید که در آن هر چه ضریب حاصله به سمت ۱۰۰ میل کرده باشد نشان دهنده پر خطر بودن وقوع زمین لغزش است و هر چه این ضریب به صفر نزدیک تر شده باشد نشان دهنده کم خطر و یا نهایتاً بی خطر بودن وقوع آن است. نتایج مشخص کرده است که ۵۸ درصد از سطح حوضه جوانرود از نظر وقوع لغزش جزو منطقه بسیار پر خطر و پر خطر است. این مناطق منطبق بر گسترش سازندهای گورپی و رادیولاریتی است که شرایط اقلیمی نیمه مرطوب سرد حاکم بر منطقه باعث تشکیل قشر ضخیمی از مواد رگولیتی و خاک بر سطح آنها شده است. شکل این عوارض به صورت تپه ماهورهای مدور با شیب کمتر از ۱۶ درصد است اما هنگامی که پای آنها توسط زهکش‌ها و یا احداث جاده زیربری شود، جایجائی ناگهانی مواد هوازده بر سطح آنها در قالب لغزش اجتناب ناپذیر خواهد بود که به کمک مدل AHP نیز این نتایج حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: جوانرود، مدل AHP، لغزش، سلسله مراتب فرآیندها

۱- مقدمه

اشکال حرکات ثقلی مواد مانند: اسلاید، سیلان و ... به کار برده می‌شود - در سطح آن امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. به لحاظ نظری، دامنه‌های پر شیب متشکل از مواد سست و منفصل (مانند خاک، رگولیت) چنان چه رطوبت

وقتی دامنه‌ای در معرض ناپایداری قرار داشته باشد، وقوع لغزش - منظور از لغزش در این تحقیق، لنداسلاید (landslide) است که در واقع یک اصطلاح کلی و غیر فنی برای همه

همکاران، ۱۳۸۷، ۲۳-۳۸) و مدل AHP نیز از جمله مدل‌هایی است که از دو، سه دهه گذشته برای نیل به این هدف مورد استفاده قرار گرفته است (پراکاش^۶، ۲۰۰۳؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶؛ ۱۱۸-۱۲۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۴، ۳-۱۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۲، ۳۲۳-۳۳۵؛ ساتی^۷، ۱۹۸۰).

مدل AHP^۸ یا "روش تحلیل سلسله مراتبی از فاکتورها" یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. در مدل AHP با ایجاد یک ماتریس نسبت به مقایسه دو به دو عوامل (فاکتورها) پرداخته می‌شود و بنا به ادعای محققین دارای دو خصوصیت مهم است: یکی در نظر گرفتن فاکتورهای کمی و کیفی متعدد در حل مساله و دیگری قابلیت تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده از طریق سلسله مراتبی فاکتورها (ساتی، ۱۹۸۰؛ قدسی پور، ۱۳۸۴؛ مهدی پور، ۱۳۸۳؛ بای، ۱۳۸۶). از آنجا که در وقوع لغزش عوامل متعددی ممکن است دخالت داشته باشند، به کمک این مدل می‌توان متغیرهای مختلف کمی و کیفی تاثیر گذار بر وقوع لغزش در یک منطقه را در معادله وارد کرد و تجزیه و تحلیل را تا رسیدن به نتایج نهایی ادامه داد. از مزایای دیگر روش تحلیل سلسله مراتبی، انجام آن با

یا آب کافی (منطقه مرطوب و نیمه مرطوب) دریافت کنند، مستعد لغزش هستند (تاربوک و لوتکن^۱، ۱۲۵، ۱۹۸۹-۱۳۰؛ محمودی، ۱۳۸۲، ۴۴؛ کوک و دور کمپ^۲، ۲۰۱، ۱۳۷۷-۲۰۶؛ آتکین و جانسون^۳، ۱۹۸۸، ۱۴۷-۱۶۱).

در این میان کافی است یک یا چند عامل ثانوی دخالت کند تا وقوع آن عملی گردد. بارشهای سنگین، حرکت گسلها، لرزش زمین، زیربری دامنه و ... در زمره این دسته از عوامل هستند (جباری، ۱۳۸۴، ۷۶؛ دی و لی^۴، ۲۰۰۲، ۲۱۴؛ تاربوک و لوتکین، ۱۹۸۹، ۱۲۸). با توجه به این اطلاعات، احتمال رویداد لغزش در یک منطقه در صورت وجود شرایط وقوع آن دور از انتظار نیست. در این صورت پس از محقق شدن آن شرایط، پیش بینی وقوع آن نیز قابل محاسبه است (شریعت جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷، ۱۳۹). با این توضیح که چون شرایط تحقق آن در سطح همه دامنه‌ها (در یک منطقه ویژه) یکسان نیست، احتمال وقوع آن هم تنها براساس شدت و ضعف قابل پیش بینی است. پهنه بندی خطر وقوع لغزش بر حسب شدت و ضعف از جمله اقدامات رایجی است که در این خصوص صورت می‌گیرد (آنبالاگان^۵، ۱۹۹۲، ۲۶۹-۲۷۷؛ هاشمی طباطبایی، ۱۳۷۸، ۲۱-۲۵؛ شیرانی و

¹ - Tarbook, ; Loutkan

² - Cooke, R.U ;Doornkamp,J.C

³ - Atkin,B.C ; Johnson,J.A

⁴ -Dai,F.C ; Lee,C.F

⁵ - Anbalagan,R

⁶ -Prakash,T.N

⁷ -Saaty,T.L

8 - Analytic Hierarchy Process

درجه گسترده شده است (امینی، ۱۳، ۱۳۸۵-۱۴). با این حال حدود ۵۰ سکونتگاه روستایی و یک سکونتگاه شهری (جوانرود) در آن یافت می‌شود. این سکونتگاه‌ها در سطح دشت‌های فرسایشی کم وسعت و یا در سطوح کم شیب تر دامنه‌ها و تراس‌ها استقرار یافته‌اند. دامداری و کشاورزی و در سال‌های اخیر نیز تجارت مرزی از عمده فعالیت‌های ساکنین این سکونتگاه‌هاست. همه این فعالیت‌ها بر روی سطوح شیب دار دامنه‌ها صورت می‌گیرد.

ساختمان منطقه چین خورده است. چین‌ها حاصل خمش لایه‌های رسوبی متشکل از آهک، مارن، شیل و سیلیس کرتاسه است. این لایه‌ها از نظر چینه‌شناسی متعلق به سازند‌های به ترتیب از قدیم به جدید: سروک (آهک رسی و مارن)، گرو (آهک و شیل)، گورپی (شیل و مارن) و رادیولاریت (چرت، شیل، آهک سیلیسی و توده‌های بازالتی) هستند. عکس‌العمل متفاوت این لایه‌ها در مقابل چین خوردگی اشکال متنوعی پدید آورده که عوامل فرسایش بر تنوع آن افزوده است. کوه‌های بلندتر شکل هوگ بک (تیغه یا هم شیب) دارند (لایه‌های آهک سروک و گرو) و لایه‌های گورپی و رادیولاریت نیز اراضی تپه ماهوری و یا کوه‌های کم ارتفاع گنبدی پدید آورده‌اند.

کوهستانی بودن و قرار گرفتن در مسیر ورودی سیکلون‌های مدیترانه موجب شده تا

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۲، ۳۲۴؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۱۹).

وجود شرایط وقوع لغزش در حوضه آبخیز جوانرود، وقوع لغزش‌های متعدد در گذشته، دخالت انسان در دامنه‌ها به منظور کشاورزی، راه سازی، خانه سازی و ... به لحاظ تراکم جمعیت در سطح این حوضه، لزوم تهیه نقشه حساسیت دامنه‌ها را از نظر احتمال وقوع آن در آینده ضروری می‌نماید که در این تحقیق برای دستیابی به این هدف از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده می‌شود.

موقعیت و ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز جوانرود

حوضه جوانرود در شمالغرب استان کرمانشاه^۱ و در بخش زاگرس چین خورده واقع شده است. زهکش اصلی آن لیل‌ه نام دارد که آبهای سطحی حدود ۳۷۳ کیلومتر مربع از اراضی اطراف شهر جوانرود را به سمت رودخانه سیروان زهکشی می‌کند (شکل ۱).

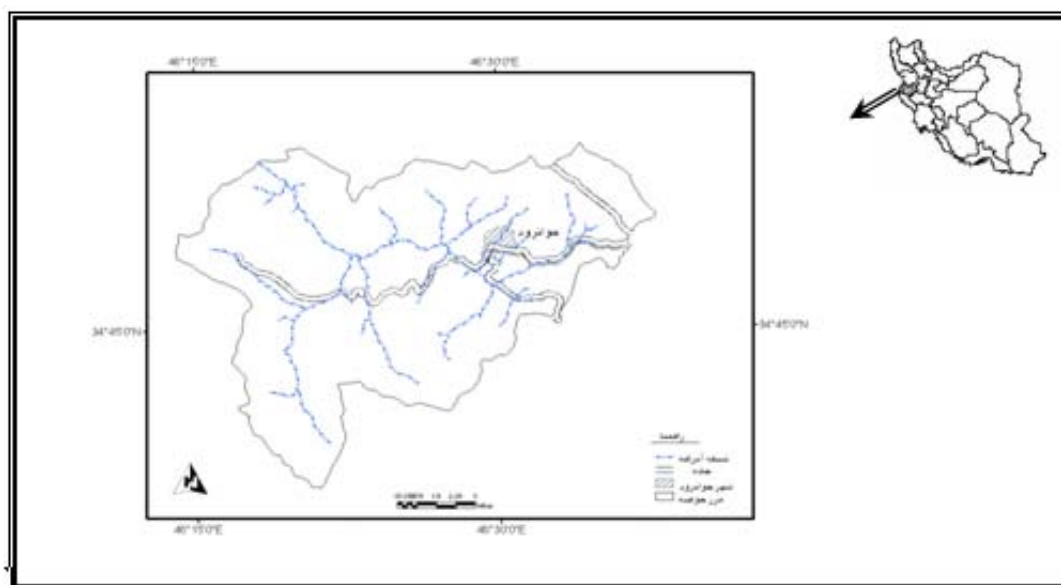
حوضه جوانرود منطقه‌ای کوهستانی است. نوسان ارتفاعی آن بین ۲۷۰۸ متر (کوه شاهو) تا ۱۰۰۰ متر (نقطه خروجی) متغیر است. بیش از ۵۰ درصد مساحت حوضه در سطوح ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر با شیبی بین ۱۲ تا ۳۰

^۱ - فاصله جاده‌ای جوانرود از کرمانشاه حدود ۴۲ کیلومتر است.

این مواد تا ۲ متر هم می‌رسد که لای و رس در میان آنها زیاد است. به دلیل وجود این مواد همراه با بارش نسبتاً زیاد، جنگل تنک بلوط را در روی این اراضی می‌توان مشاهده کرد. باز به دلیل حاکمیت همین شرایط، تقریباً تمام دامنه‌ها و تپه‌ها با شبکه نسبتاً متراکمی از آبراهه بریده شده‌اند. عمق آبراهه‌ها در میان رسوبات گورپی و رادیولاریتی نسبتاً زیاد است. در کف بعضی از این آبراهه‌ها، چشمه دیده می‌شود. با این حال تنها زهکش اصلی یا همان رودخانه ليله است که تقریباً در تمام طول سال آب دارد.

منطقه جانورود از شرایط آب و هوای نیمه مرطوب سرد برخوردار گردد. متوسط بارش سالانه حوضه بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است که در سطوح ارتفاعی بالاتر تا ۶۵۰ میلی‌متر نیز می‌رسد (امینی، ۱۳۸۵، ۱۷).

اثر اقلیم منطقه بر توپوگرافی آن نیز منعکس شده است. تقریباً سطح تمام دامنه‌ها با قشر نسبتاً ضخیمی از مواد هوازده (رگولیت) پوشیده شده است که به سمت پای دامنه‌ها و سطوح کم شیب‌تر بر ضخامت آن افزوده می‌شود. در سطح اراضی تپه ماهوری ضخامت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز جانورود ترسیم: نگارندگان

عددی حاصل از مقایسه کیفی آنها نسبت به همدیگر نیز از طریق قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد. فرآیند کار نیز در محیط GIS صورت می‌گیرد. بنابراین مقایسه دو به دو متغیرهای تاثیر گذار در وقوع لغزش در منطقه مورد مطالعه

روش کار

مطابق با موضوع مورد مطالعه، روش بکار رفته در این تحقیق روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از متغیرهاست. اساس این روش مقایسه زوجی متغیرها در جدول ماتریس است. ارزش

است. ضمناً لغزش‌های منطقه همگی از نوع سطحی بوده‌اند و عمدتاً خاک و مواد رگولیتی^۵ را تحت تاثیر قرار داده‌اند.

به هر حال در استفاده از این روش و به منظور رسیدن به نتیجه نهایی، مراحل کار به شرح ذیل دنبال گردید:

- استخراج لایه‌های اطلاعاتی از متغیرهای مورد نظر: به منظور تلفیق داده‌های ورودی در محیط تجزیه و تحلیل، نخستین اقدام در روش AHP مطابق با همه روش‌های آماری، تهیه لایه‌های اطلاعاتی از متغیرهاست که در آن باید هر متغیر به صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده‌ها (GIS) نشان داده شود (پرهیزکار و غفاری گیلاننده، ۱۳۸۵، ۲۰۴-۲۰۷؛ ون وستن و همکار^۶، ۱۹۹۸). به این منظور ۸ لایه اطلاعاتی شامل: لیتولوژی، شیب، جهت گیری دامنه، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از زهکش، فاصله از سکونتگاه و شکل دامنه (مورفولوژی) از منابع داده‌ها و به نحو زیر استخراج گردید.

ورودی این سیستم در نظر گرفته می‌شود و وزن‌های نسبی حاصل نیز خروجی سیستم خواهد بود (بای، ۱۳۸۶، ۲۳؛ قدسی پور، ۱۳۷۹). بدیهی است در فرآیند قضاوت کارشناسی (شفاهی)، شرایط محیطی حاکم بر توده‌های لغزشی گذشته منطقه نقش اساسی دارد و اصولاً بر پایه موقعیت توده‌های لغزشی استوار است (فرهنگ فر و کمک پناه، ۱۳۷۳، آبرامسون^۱، ۱۹۹۵). به این منظور ابتدا ۳۱ توده لغزشی موجود در سطح حوضه مشخص و موقعیت و ابعاد آنها بوسیله GPS و متر دستی اندازه‌گیری شده و سپس با انتقال آنها بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ پایه، نقشه پراکنش لغزش‌های حوضه جواترود تهیه گردید (شکل ۲). این لغزش‌ها آنهایی بوده‌اند که دسترس به آنها جهت تعیین موقعیت و شناسایی شکل‌شان امکان پذیر بوده است. اطلاعات به دست آمده از این طریق نشان داد که حدود ۵۸٫۸ درصد از لغزش‌های به وقوع پیوسته در سطح حوضه مورد مطالعه از نوع چرخشی^۲، ۲۵/۸ درصد از نوع جریان^۳ و ۱۹/۳ درصد آن نیز از نوع مرکب^۴ (ترکیبی از لغزش‌های چرخشی و روانه) بوده‌اند. ابعاد کوچکترین و بزرگترین توده‌های لغزشی نیز به ترتیب ۱۰۰ و ۴۵۰۰ متر مربع بوده

¹ - Abramson, lee

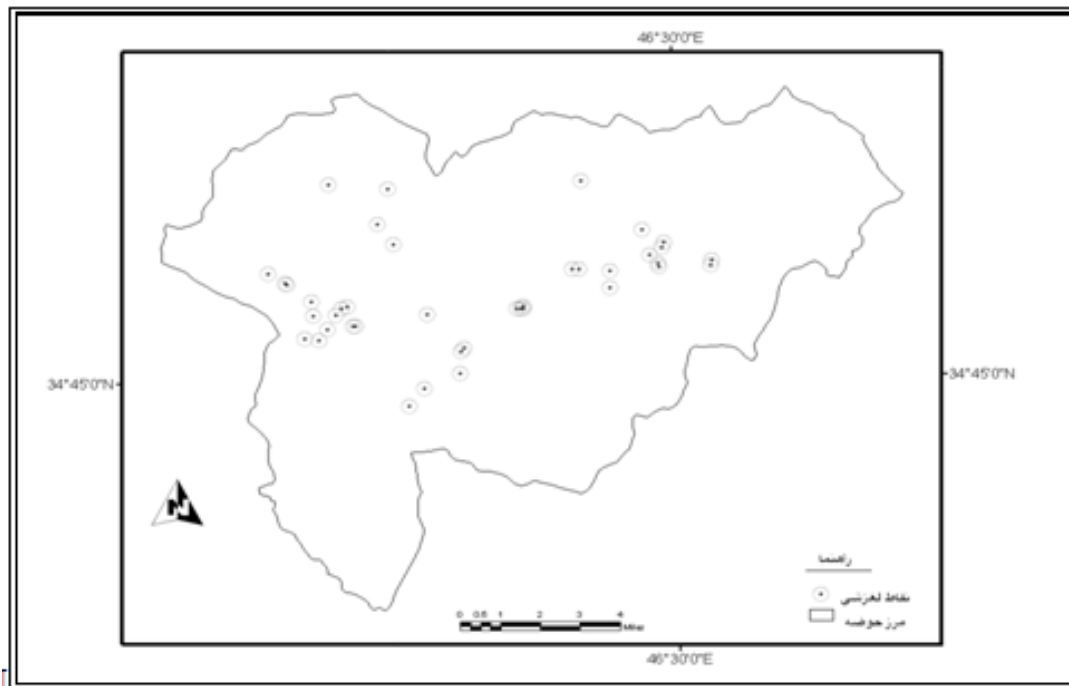
² debris slide

³ - debris flow

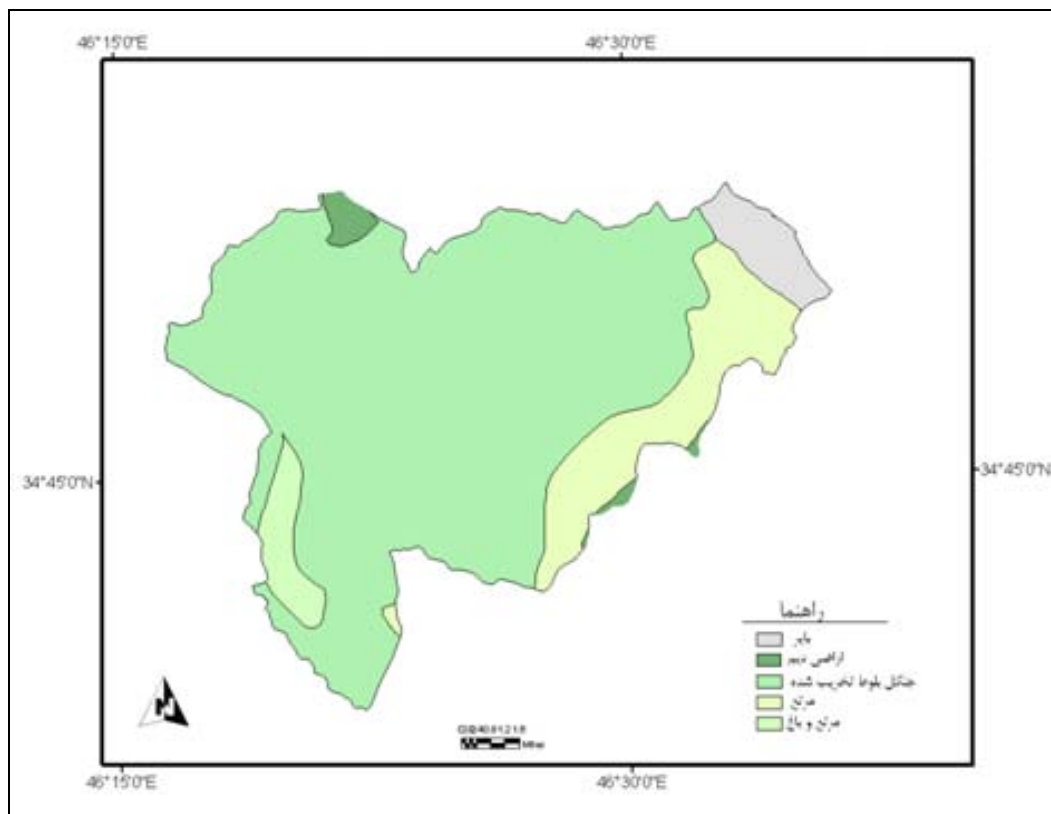
⁴ - debris slide-flow

⁵ -Regolith

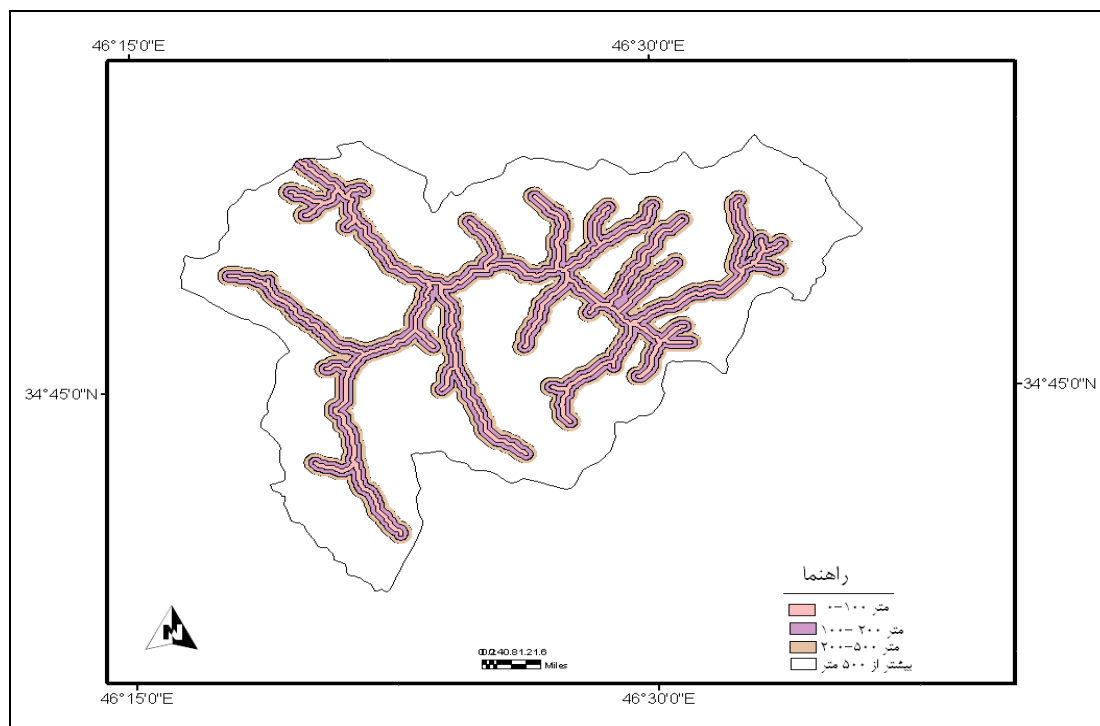
⁶ - Ven Westen, C - . J ; R . Socters



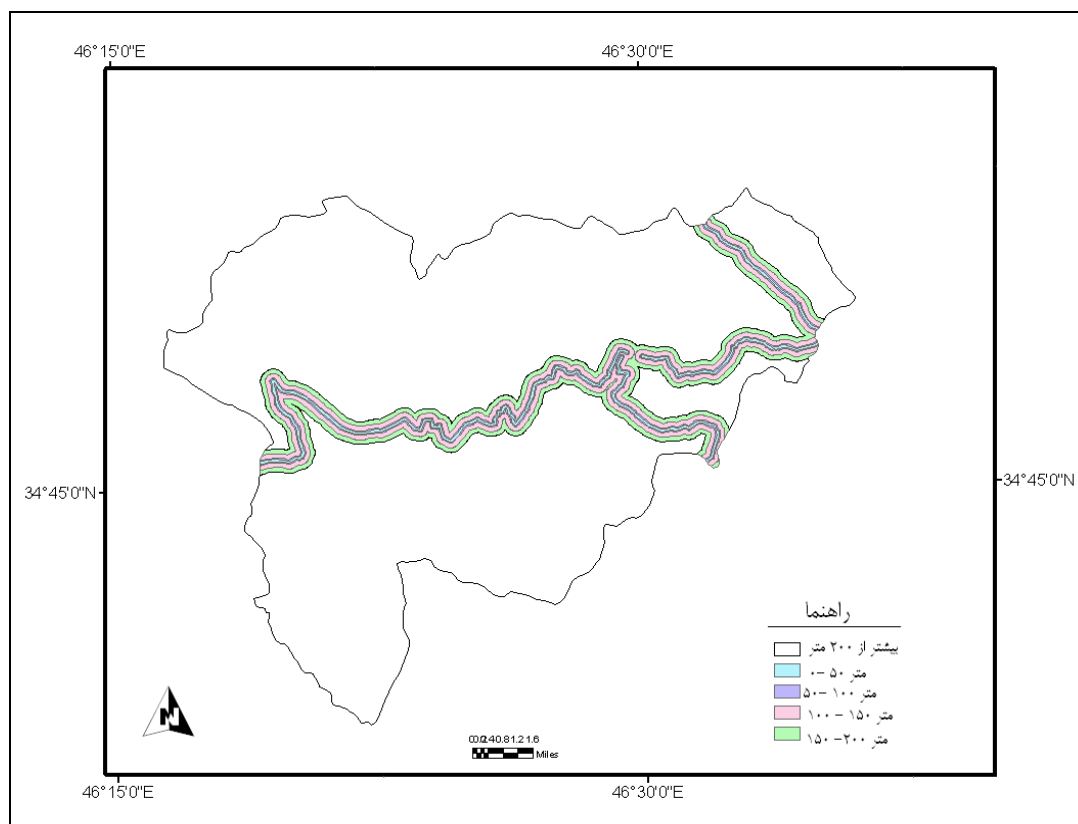
شکل ۲- نقشه پراکنش لغزش در سطح حوضه آبخیز جوانرود ترسیم: نگارندگان



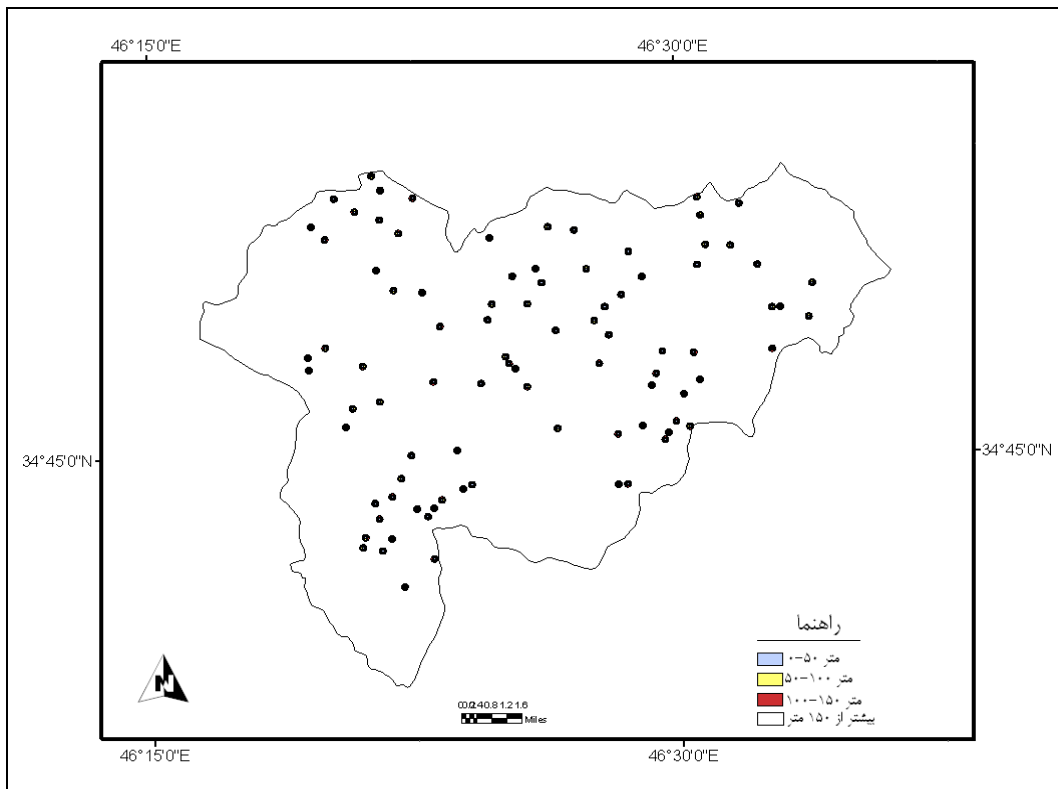
شکل ۳- نقشه کاربری ارضی حوضه جوانرود ترسیم: نگارندگان



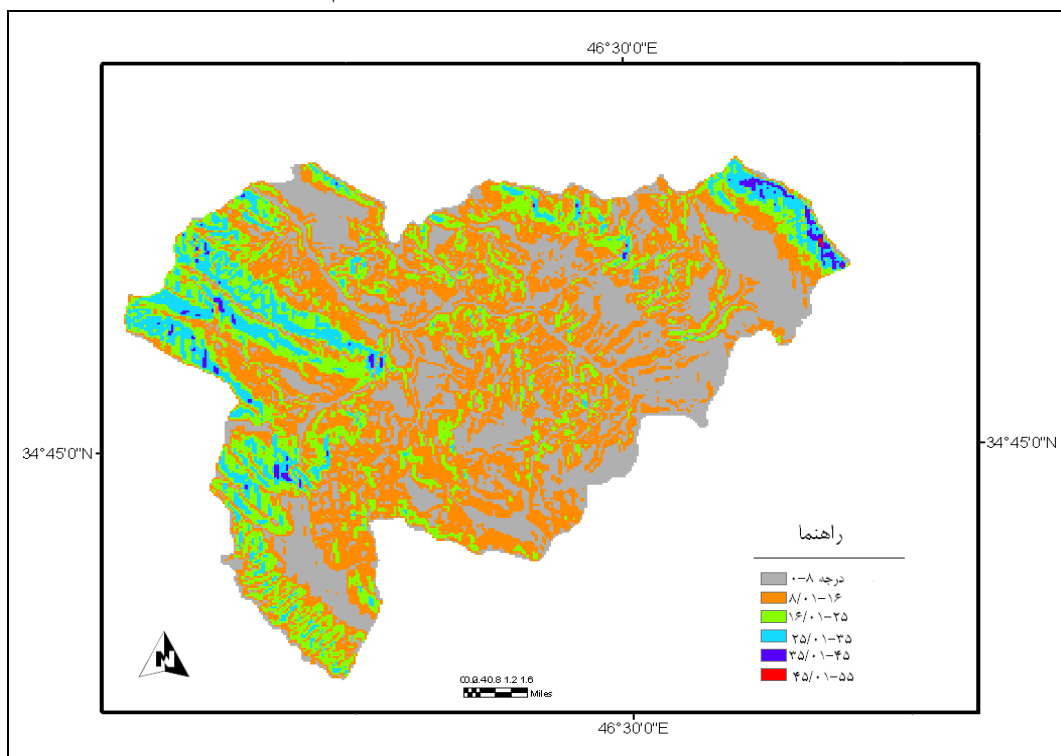
شکل ۴- نقشه فاصله از آبراهه در حوضه جوانرود ترسیم: نگارندگان



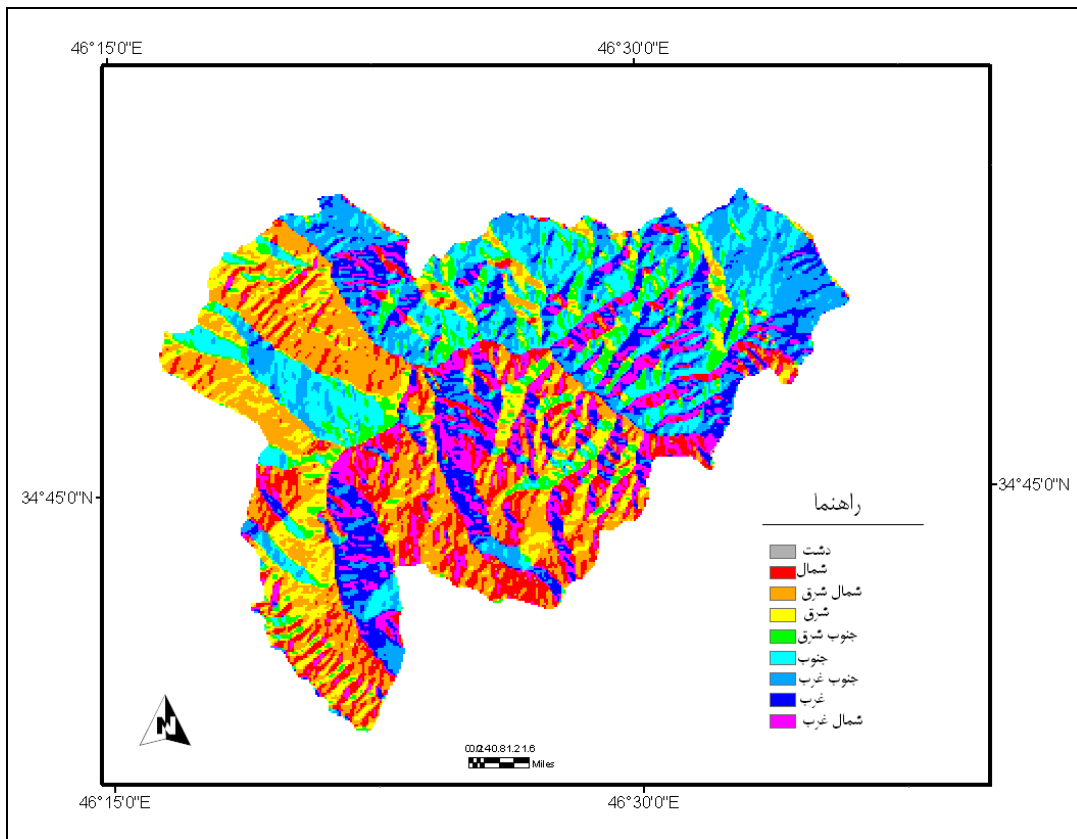
شکل ۵- نقشه فاصله از جاده حوضه جوانرود ترسیم: نگارندگان



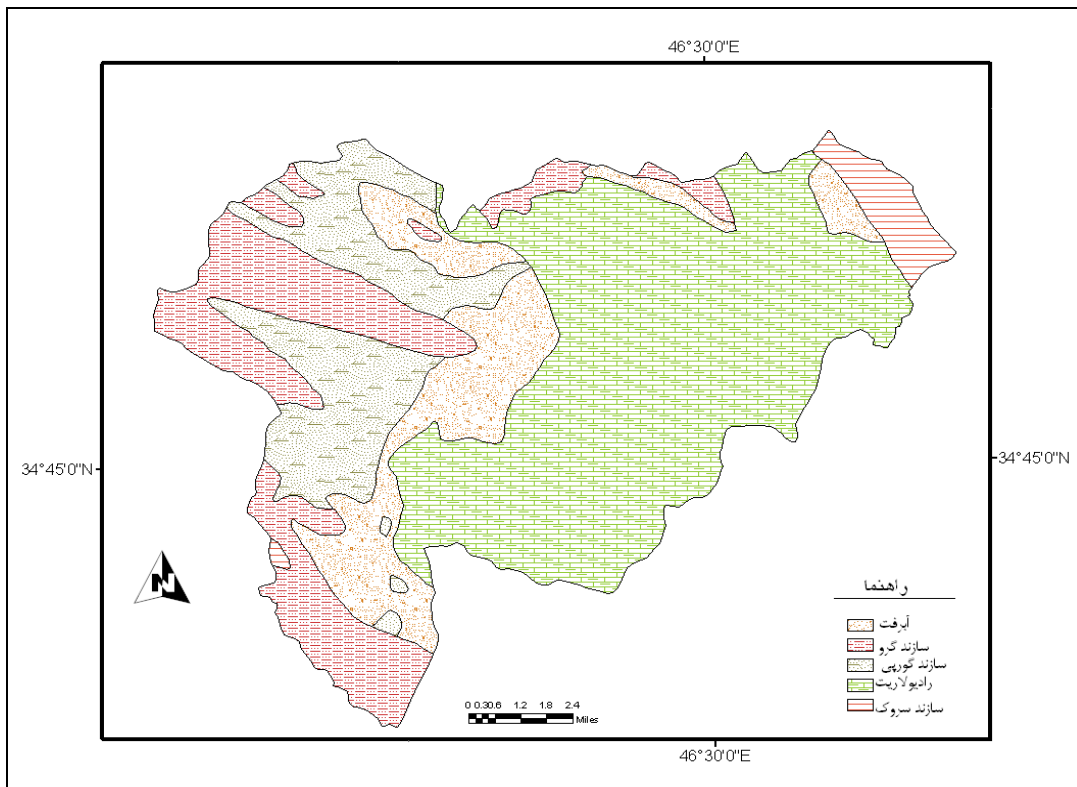
شکل ۶- نقشه فاصله از روستا حوضه جانرود ترسیم: نگارندگان



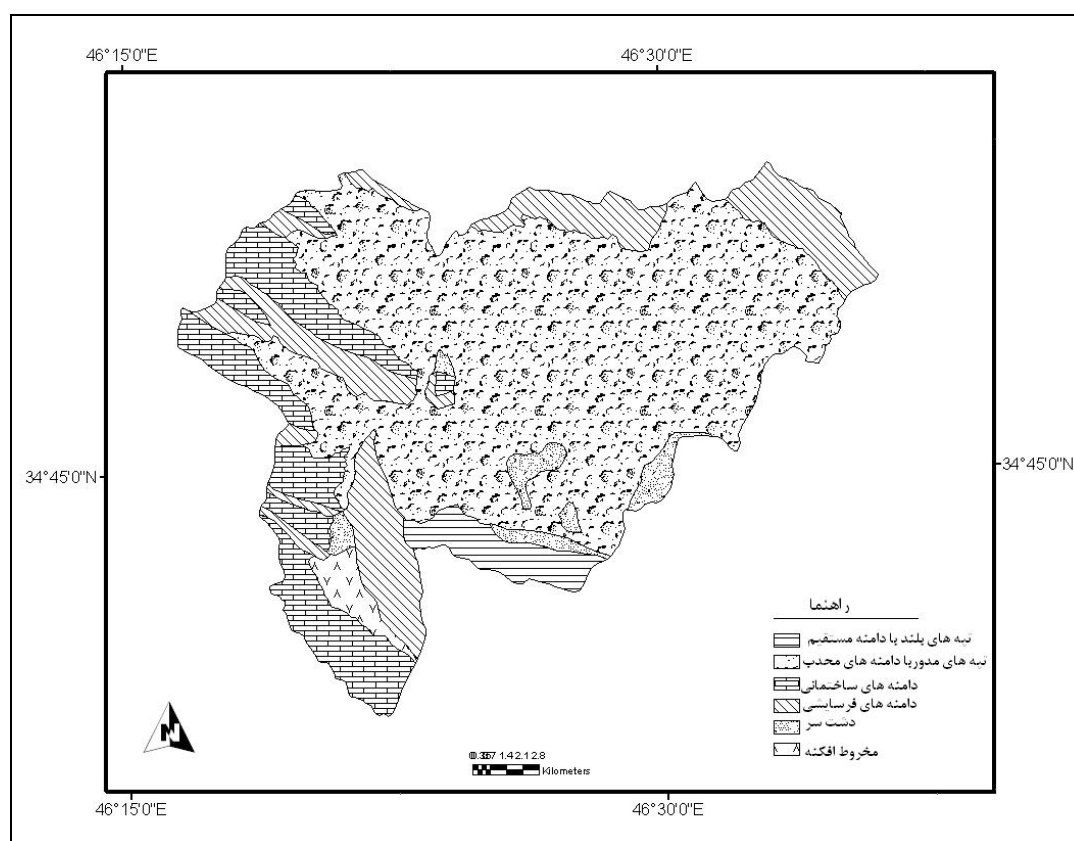
شکل ۷- نقشه طبقات شیب روستا حوضه جانرود ترسیم: نگارندگان



شکل ۸ - نقشه جهت دامنه حوضه جوانرود ترسیم: نگارندگان



شکل ۹ - نقشه طبقات لیتولوژی در حوضه جوانرود ترسیم: نگارندگان



شکل ۱۰- نقشه واحدهای ژئومورفولوژی در حوضه جانرود ترسیم: نگارندگان

(طبقات با کلاس‌ها) به صورت دامنه‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی، شمال‌غربی، شمال‌شرقی، جنوب شرقی و جنوب غربی استخراج گردید.

لایه‌های شیب، فاصله از جاده، فاصله از سکونتگاه، فاصله از زهکش نیز از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور به دست آمدند. زیر لایه‌های هریک از این متغیرها در نمودار گرافیکی شکل ۱۰ دیده می‌شود.

در تهیه لایه شکل دامنه (مورفولوژی) نیز از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰؛ زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰

لایه لیتولوژی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور استخراج و به ۵ زیر لایه (طبقه یا کلاس) گورپی، رادیولاریت، سروک، گرو و آبرفت کواترنر تفکیک گردید.

برای تهیه لایه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای ETM سال ۲۰۰۲ استفاده گردید و زیر لایه‌های آن نیز شامل: اراضی جنگلی مخروطه، اراضی دیم، اراضی بایر، اراضی مرتعی و اراضی مرتع و باغی است.

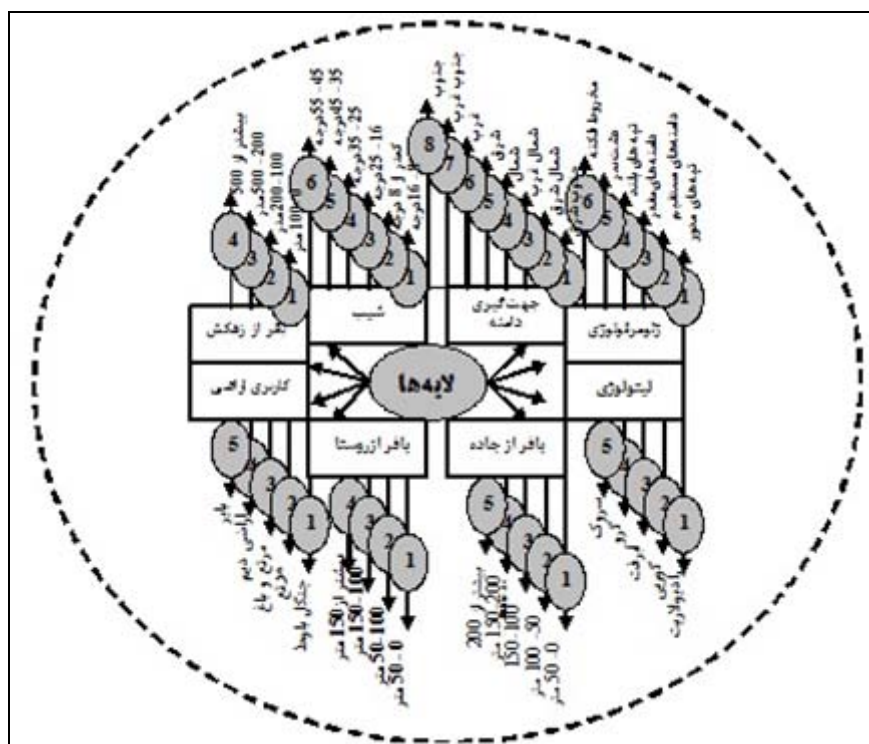
لایه جهت گیری دامنه‌ها با استفاده از نقشه Dem به دست آمد و در آن ۸ واحد فرعی

استفاده شده است و زیر لایه های آن شامل: دامنه های محدب، دامنه های مستقیم، دامنه های مقعر، مخروط افکنه، دشت سر است.

- ایجاد ساختار سلسله مراتبی از متغیرها: لزوم مقایسه زوجی متغیرها در جدول ماتریس، رده بندی آنها بر اساس میزان ارجحیت در وقوع پدیده مورد مطالعه است. بنابراین، پس از انتخاب لایه های اطلاعاتی و تقسیم بندی آنها به زیر لایه ها (طبقات یا کلاس ها)، در اقدام بعدی مبادرت به ایجاد ساختار سلسله مراتبی از آنها گردید که به صورت گرافیکی در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. مطابق این شکل، موثرترین متغیر در وقوع لغزش در حوضه مورد مطالعه لایه لیتولوژی و کم نقش ترین آن نیز لایه شیب در نظر گرفته شده است. این قضاوت بر اساس تراکم سطح لغزش های به وقوع پیوسته در هر یک از لایه های اطلاعاتی صورت گرفته است. در خصوص هر یک از زیر لایه ها (طبقات) نیز بهمین نحو عمل شده است.

- محاسبه بردارهای اولویت متغیرهای مورد نظر: پس از طراحی گزینه های مورد استفاده از نظر سلسله مراتب، در اقدام دیگر مبادرت به تشکیل ماتریس زوجی از متغیرها گردید (جدول ۲ تا ۹). تشکیل ماتریس ها به منظور تعیین وزن متغیرها بوده است که از طریق

مقایسه زوجی تک تک عناصر با عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر صورت می گیرد. مقادیر کمی هریک از متغیرهای مورد نظر نیز از جدول ۱ استخراج گردید که در آن میزان اولویت کیفی هر گزینه (متغیر) نسبت به گزینه دیگر به صورت ارزش عددی نشان داده شده است. برای یادآوری اشاره می شود. ساختار سلسله مراتب ارجحیت متغیرها در مدل AHP (شکل ۱۰) دارای ارزش کیفی است. اما مقایسه آنها در جدول ماتریس از طریق ارزش کمی امکان پذیر است. برای این منظور، جدول مقیاس مقایسه (جدول ۱) وجود دارد که در آن ارزش کیفی ارجحیت یک متغیر نسبت به متغیر دیگر به ارزش کمی تبدیل شده است. با استفاده از این جدول، بردار اولویت گزینه ها در جدول ماتریس به دست آمد که در جدول های ۲ تا ۸ نشان داده شده است. در تعیین بردارها نیز به این صورت عمل شده است که وقتی معیار عددی ارجحیت یک فاکتور مثلاً لیتولوژی نسبت به فاکتور دیگر مثلاً شیب ۸ (ارجحیت خیلی زیاد باشد در ماتریس ۸ و ۱ (ستون ۸ سطر ۱) عدد ۸ قرار داده شده و در ماتریس ۱ و ۸ (ستون ۱ سطر ۸) عدد ۱/۸ منظور گردیده است. سایر عناصر ماتریس هم به همین صورت تکمیل گردیدند.



شکل ۱۰- نمودار گرافیکی لایه‌های اطلاعاتی با ترتیب اولویت زیر لایه‌ها ترسیم: نگارندگان

جدول ۱- فاکتورهای مختلف اولویت و تبدیل آنها به ارزش کمی

اولویت های فاکتور در مقایسه با دیگر فاکتور ها	ارزش عددی
اولویت حداکثر	۹
اولویت خیلی زیاد	۷
اولویت زیاد	۵
اولویت متوسط	۳
اولویت ضعیف	۱
اولویت بنیابین	۸-۶-۴-۲

و بر اساس آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه مورد مطالعه در ۴ پهنه: پهنه با خطر خیلی زیاد، پهنه با خطر زیاد، پهنه با خطر متوسط و پهنه با خطر کم حاصل گردید.

- محاسبه امتیاز نهایی متغیرها و استخراج نقشه پهنه بندی

در این مرحله با استفاده از نرم افزار ARC GIS عملیات وزن دهی و همپوشانی نهایی لایه های مورد استفاده در این تحقیق صورت گرفت

جدول ۲- وزن محاسبه شده لایه لیتولوژی

جنس زمین شناسی	رادیولاریت	گرو	گورپی	آبرفت	سروک	میانگین
رادیولاریت	۰/۲۵۵	۰/۲۹۶	۰/۲۴۵	۰/۲۵۸	۰/۲۸۵	۰/۲۶۹
گورپی	۰/۵۱۱	۰/۴۴۴	۰/۴۸۹	۰/۵۱۶	۰/۳۸۱	۰/۴۶۸
آبرفت	۰/۱۲۷	۰/۱۴۸	۰/۱۲۲	۰/۱۲۹	۰/۱۹	۰/۱۴۳
سروک	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۶۱	۰/۰۳۲	۰/۰۴۷	۰/۰۴۴
گرو	۰/۰۶۴	۰/۰۷۴	۰/۰۸۲	۰/۰۶۴	۰/۰۹۵	۰/۰۷۶

جدول ۳- وزن محاسبه شده لایه فاصله از جاده

فاصله از جاده	۵۰-۰ متر	۱۰۰-۵۰ متر	۱۵۰-۱۰۰ متر	۲۰۰-۱۵۰ متر	بیشتر از ۲۰۰	میانگین
۵۰-۰ متر	۰/۴۹۳	۰/۵۱۱	۰/۵۱۹	۰/۴۴۴	۰/۳۹۱	۰/۴۷۲
۱۰۰-۵۰ متر	۰/۲۴۶	۰/۲۵۵	۰/۲۵۹	۰/۲۹۶	۰/۲۶۱	۰/۲۶۳
۱۵۰-۱۰۰ متر	۰/۱۲۳	۰/۱۲۸	۰/۱۲۹	۰/۱۴۸	۰/۲۱۷	۰/۲۶۳
۲۰۰-۱۵۰ متر	۰/۰۸۲	۰/۰۶۴	۰/۰۶۵	۰/۰۷۴	۰/۰۸۷	۰/۰۷۴
بیشتر از ۲۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۴۳	۰/۰۲۶	۰/۰۳۷	۰/۰۴۳	۰/۰۴۱

جدول ۴- وزن محاسبه شده لایه فاصله از آبراهه

فاصله از آبراهه	۱۰۰-۰ متر	۲۰۰-۱۰۰ متر	۵۰۰-۲۰۰ متر	بیشتر از ۵۰۰ متر	میانگین
۱۰۰-۰ متر	۰/۵۲۲	۰/۵۳۳	۰/۵۳۳	۰/۴۶۲	۰/۵۱۲
۲۰۰-۱۰۰ متر	۰/۲۶۱	۰/۲۶۷	۰/۲۶۷	۰/۳۰۸	۰/۲۷۶
۵۰۰-۲۰۰ متر	۰/۱۳	۰/۱۳۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۴	۰/۱۳۷
بیشتر از ۵۰۰ متر	۰/۰۸۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۵

جدول ۵- وزن محاسبه شده لایه کاربری ارضی

کاربری ارضی	جنگل بلوط (تخریب شده)	اراضی بایر	اراضی دیم	مرتع	مرتع و باغ	میانگین
جنگل بلوط (تخریب شده)	۰/۶۱۸	۰/۵	۰/۶۱	۰/۵۳۳	۰/۶۹۸	۰/۵۹۲
مرتع و باغ	۰/۱۲۴	۰/۱۸۸	۰/۲۰۳	۰/۲	۰/۱۳۹	۰/۱۷۱
اراضی دیم	۰/۱۰۳	۰/۱۸۸	۰/۱۰۲	۰/۱۳۳	۰/۰۶۹	۰/۱۱۹
مرتع	۰/۰۷۷	۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	۰/۰۶۷	۰/۰۴۶	۰/۰۵۷
اراضی بایر	۰/۰۷۷	۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	۰/۰۶۷	۰/۰۴۶	۰/۰۵۷

جدول ۶- وزن محاسبه شده لایه شیب

طبقات شیب	۸<	۱۶-۸	۲۵-۱۶	۳۵-۲۵	۴۵-۳۵	۵۵-۴۵	۵۵>	میانگین
۱۶-۸	۰/۴۷۱	۰/۴۳۶	۰/۴۸۵	۰/۴۱۴	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸	۰/۳۴۸	۰/۴۰۷
۸<	۰/۲۳۵	۰/۲۱۸	۰/۲۴۲	۰/۲۷۶	۰/۲۶۱	۰/۲۶۱	۰/۲۶۱	۰/۲۵۱
۲۵-۱۶	۰/۱۱۸	۰/۱۰۹	۰/۱۲۱	۰/۱۳۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	۰/۱۴۴
۳۵-۲۵	۰/۰۵۹	۰/۰۷۳	۰/۰۶۱	۰/۰۶۹	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۷۵
۴۵-۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۳	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱
۵۵-۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۳	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱
۵۵>	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۳	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱

جدول ۷- وزن محاسبه شده لایه جهت گیری دامنه

میانگین	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	مسطح	طبقات جهت گیری دامنه
۰/۲۸۸	۰/۳۳۷	۰/۲۶۳	۰/۲۹۶	۰/۳۰۸	۰/۳۱۲	۰/۲۸۹	۰/۳۴۷	۰/۲۳۷	۰/۲۰۵	جنوب شرق
۰/۱۷۸	۰/۱۶۹	۰/۱۷۵	۰/۲۲۲	۰/۲۰۵	۰/۱۵۶	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	۰/۱۶۹	۰/۱۵۹	شمال شرق
۰/۱۶۹	۰/۱۶۹	۰/۱۷۵	۰/۱۴۸	۰/۲۰۵	۰/۱۵۶	۰/۱۷۴	۰/۱۷۴	۰/۱۶۹	۰/۱۵۹	شمال غرب
۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵	شمال
۰/۰۶۳	۰/۰۵۶	۰/۰۸۷	۰/۰۳۷	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۷	۰/۰۶۸	۰/۰۹۱	شرق
۰/۰۴۶	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷	۰/۰۳۴	۰/۰۵۲	۰/۰۲۹	۰/۰۴۳	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	غرب
۰/۰۸۵	۰/۰۸۴	۰/۰۸۷	۰/۰۷۴	۰/۰۵۱	۰/۰۷۸	۰/۱۱۶	۰/۰۵۷	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴	جنوب غرب
۰/۱۱۶	۰/۰۸۴	۰/۱۳۱	۰/۱۴۸	۰/۱۰۳	۰/۱۰۴	۰/۱۱۶	۰/۰۸۶	۰/۱۳۶	۰/۱۳۶	جنوب
۰/۰۳۵	۰/۰۲۴	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷	۰/۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۳	مسطح

جدول ۸- وزن محاسبه شده لایه فاصله از سکونتگاه

میانگین	بیشتر از ۱۵۰ متر	۱۰۰-۱۵۰ متر	۵۰-۱۰۰ متر	۵۰-۰ متر	فاصله از سکونتگاه
۰/۵۲۱	۰/۴۵	۰/۵۵۲	۰/۵۴۵	۰/۵۳۷	۵۰-۰ متر
۰/۲۷۹	۰/۳	۰/۲۷۶	۰/۲۷۳	۰/۲۶۸	۱۰۰-۵۰ متر
۰/۶۰۸	۰/۲	۰/۱۳۸	۰/۱۳۶	۰/۱۳۴	۱۵۰-۱۰۰ متر
۰/۰۴۷	۰/۰۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵	۰/۰۵۹	بیشتر از ۱۵۰ متر

جدول ۹- وزن محاسبه شده لایه ژئومورفولوژی

میانگین	مخروط افکنه	دشت سر	تپه های بلند با دامنه های مستقیم	دامنه های فرسایشی (مقعر)	دامنه های ساختمانی (مستقیم)	تپه های مدور با دامنه های محدب	طبقات ژئومورفولوژی
۰/۳۹۹	۰/۳۳۳	۰/۴۶۵	۰/۴۲۹	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۴۶۵	تپه های مدور با دامنه های محدب
۰/۱۴۳	۰/۱۸۵	۰/۱۱۶	۰/۱۰۷	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۱۶	دامنه های ساختمانی (مستقیم)
۰/۱۴۳	۰/۱۸۵	۰/۱۱۶	۰/۱۰۷	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۱۶	دامنه های فرسایشی (مقعر)
۰/۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	تپه های بلند با دامنه های مستقیم
۰/۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	دشت سر
۰/۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۳	مخروط افکنه

جدول ۱۰- محاسبه وزن دهی به لایه های موثر در لغزش حوضه جانرود

ژئومورفولوژی	فاصله از روستا	جهت گیری دامنه	شیب	کاربری ارضی	فاصله از زهکش	فاصله از جاده	لیتولوژی	لایه ها
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱	لیتولوژی
۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱/۲	فاصله از جاده
۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱/۲	۱/۲	فاصله از زهکش
۴	۳	۲	۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	کاربری ارضی
۳	۳	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	شیب
۲	۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	جهت گیری دامنه
۲	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	فاصله از روستا
۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	ژئومورفولوژی

جدول ۱۱- محاسبه جمع هر کدام از ستون ها

لایه ها	لیتولوژی	فاصله از جاده	فاصله از زهکش	کاربری ارضی	شیب	جهت گیری دامنه	فاصله از روستا	ژئومورفولوژی
لیتولوژی	۱	۲	۲	۳	۴	۵	۶	۷
فاصله از جاده	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۴	۵	۶
فاصله از زهکش	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۴	۵
کاربری ارضی	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲	۳	۴
شیب	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۳	۳
جهت گیری دامنه	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱	۲	۲
فاصله از روستا	۰/۱۶۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۱	۲
ژئومورفولوژی	۰/۱۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵	۱

جدول شماره ۱۲- وزن محاسبه شده لایه‌های موثر در لغزش حوضه جوانرود

لایه ها	لیتولوژی	فاصله از جاده	فاصله از زهکش	کاربری ارضی	شیب	جهت گیری دامنه	فاصله از سکونت گاه	ژئومورفولوژی	میانگین
لیتولوژی	۰/۳۲۳	۰/۴۰۴	۰/۲۹۵	۰/۳۱۳	۰/۳۰۴	۰/۲۹۴	۰/۲۴۵	۰/۲۲۳	۰/۳۰۱
فاصله از جاده	۰/۱۶۲	۰/۲۰۲	۰/۲۹۵	۰/۲۰۸	۰/۲۲۸	۰/۲۳۵	۰/۲۰۴	۰/۲	۰/۲۱۷
فاصله از زهکش	۰/۱۶۲	۰/۱۰۱	۰/۱۴۷	۰/۲۰۸	۰/۱۵۲	۰/۱۷۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۷	۰/۱۵۹
کاربری ارضی	۰/۱۰۸	۰/۱۰۱	۰/۰۷۴	۰/۱۰۴	۰/۱۵۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۳۳	۰/۱۱۴
شیب	۰/۰۸۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۴	۰/۰۵۲	۰/۰۷۶	۰/۰۵۹	۰/۱۲۲	۰/۱	۰/۰۷۹
جهت گیری دامنه	۰/۰۶۵	۰/۰۵۱	۰/۰۴۹	۰/۰۵۲	۰/۰۳۸	۰/۰۵۹	۰/۰۸۲	۰/۰۶۷	۰/۰۵۸
فاصله از سکونتگاه	۰/۰۵۴	۰/۰۰۴	۰/۰۳۷	۰/۰۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۴۱	۰/۰۶۷	۰/۰۴۱
ژئومورفولوژی	۰/۰۴۶	۰/۰۳۴	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۳۰۳

بحث

متوسط مربوط به هر طبقه یا طبقات متغیر مورد نظر به دست آمده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶، ۶-۴؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۲۲؛ بای، ۱۳۸۶، ۲۳).

امتیازهای به دست آمده برای هر یک از طبقات (کلاس‌های) متغیرهای مورد استفاده در جدول ۱۲ نشان داده شده است. در مدل مورد استفاده (AHP)، مجموع حاصلضرب ضریب وزن هر متغیر در امتیازهای طبقات مختلف همان متغیر، میزان خطر رخداد زمین لغزش را به دست می دهد. ارزش کمی وزن هر یک از

نتایج حاصل از ماتریس و ضریب وزن هر یک از متغیرهای ۸ گانه موثر در رخداد زمین لغزش در آبخیز جوانرود در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. برای محاسبه ضریب وزن از روش میانگین حسابی عمل شده است. در جدول ماتریس اعداد هر ستون با یکدیگر جمع، سپس مقدار حاصل از ماتریس به جمع ستونهای همان عدد تقسیم و در نهایت متوسط اعداد در هر ردیف جدول ماتریس محاسبه شده است. در پایان نیز وزن هر متغیر از طریق وزن

مجموع حدود ۹۵ درصد مساحت حوضه در معرض خطر لغزش قرار می‌گیرد. با توجه به رخداد زمین لغزش‌های صورت گرفته و انطباق آن با لایه‌های شیلی و مارنی و یا شیلی و سیلیسی سازندهای گورپی و رادیولاریت‌های کرمانشاه و همچنین تبعیت این پدیده از زیر بری دامنه‌ها توسط احداث جاده و یا زهکش‌ها که با استفاده از مدل بکار گرفته شده نیز به اثبات می‌رسد، صحت کارایی این مدل را در پهنه بندی وقوع لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحقیقات احمدی و همکاران، ۱۳۸۲؛ اسماعیلی ۱۳۸۱ نیز نشان دهنده قابلیت مدل AHP در پهنه بندی زمین لغزش است.

جدول ۱۳- نتایج پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه

جوانرود با مدل AHP

طبقات لغزشی	مساحت (متر مربع)	درصد مساحت
خطر کم	۱۹۵۵۹۶۳۶	۵/۲۹
خطر متوسط	۱۳۳۰۶۲۱۹۲	۳۵/۹۹
خطر زیاد	۲۰۲۱۰۴۷۸۴	۵۴/۶۷
خطر خیلی زیاد	۱۴۹۴۸۷۸۲	۴/۱

نتیجه‌گیری

دامنه‌های زاگرس چین خورده در محدوده مورد مطالعه نسبت به حرکات توده‌ای (لغزش) حساسیت دارند. وقوع لغزش‌های متعدد اعم از قدیم و جدید در این محدوده نشان دهنده این موضوع است.

ویژگی‌های ذاتی محیط (جنس سست زمین، آب و هوای نیمه مرطوب سرد، همراه با شکل زمین) و عوامل انسانی (تسطیح دامنه‌ها، احداث جاده) در وقوع لغزش در حوضه جوانرود نقش

طبقات مربوط به هریک از متغیرها نیز بر اساس نسبت بین سطح تحت اشغال زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در آن طبقه به مساحت کل منطقه مورد نظر به صورت درصد بین صفر تا ۱۰۰ مشخص و تعیین می‌شود. بدیهی است طبقه‌ای که دارای حداکثر سطح لغزش بوده باشد امتیاز ۱۰۰ و برای طبقه فاقد لغزش امتیاز صفر منظور خواهد شد.

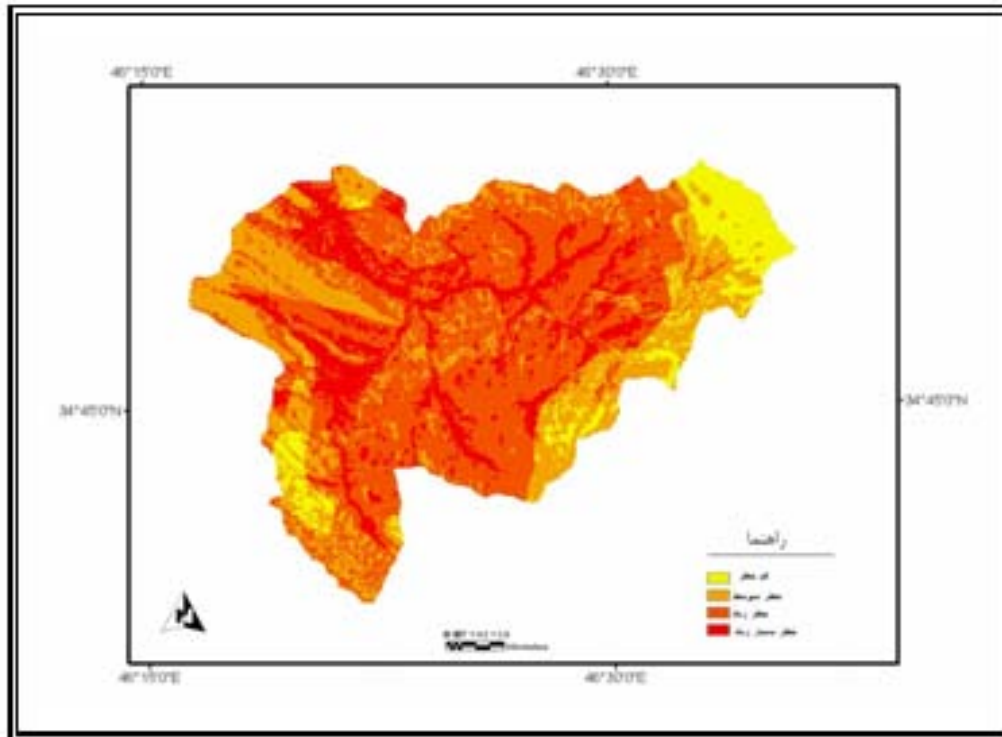
بنابراین، چنانچه جمع امتیاز به دست آمده به سمت ۱۰۰ نزدیک باشد به مفهوم حساسیت بیشتر یا پتانسیل زیاد از نظر وقوع زمین لغزش خواهد بود و برعکس چنانچه جمع امتیاز نهایی به سمت صفر میل کند به معنی آنست که پهنه مورد نظر حساسیت کم و یا منطقه کم خطر از نظر وقوع لغزش است (اسماعیلی غوری، ۱۳۸۱؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به این توضیحات و با نظر به داده‌های جدول ۱۰، پتانسیل رخداد زمین لغزش در حوضه جوانرود بشرح رابطه زیر به دست آمده است که در آن Y میزان خطر رخداد زمین لغزش و X_1, X_2, \dots عوامل موثر در وقوع آن هستند.

$$Y = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

با استفاده از این رابطه پتانسیل (میزان خطر) وقوع لغزش در حوضه مورد مطالعه در ۴ پهنه محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۱۳ و شکل ۱۱ ارائه گردیده است. مطابق داده‌های این جدول حدود ۵۸ درصد مساحت حوضه جوانرود در معرض خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع زمین لغزش قرار دارد. اگر مساحت منطقه تحت پوشش خطر متوسط را هم به آن اضافه کنیم، در

رادیولاریتی و تا حدودی نیز آبرفت های کواترنر را به همراه داشته است. نتیجه آن تشکیل قشر ضخیم خاک و رگولیت در سطح دامنه ها است.

دارند. نوسان شدید دما همراه با بارش قابل توجه (۵۵۰ تا ۶۰۰ میلیمتر) هوازگی شدید لایه های شیلی و ماری سازندهای گورپی و



شکل ۱۱ پهنه بندی خطر لغزش در حوضه آبخیز جوانرود

ناگهانی به سمت پایین سرازیر شوند، نیاز به زیربری دامنه دارد که حفر عمقی بستر زهکش ها و دخالت انسان از طریق ایجاد تراس و احداث جاده این نقش را ایفا می کنند. مشاهده دو توده لغزشی نسبتاً بزرگ در حاشیه شهر جوانرود که پس از تسطیح دامنه جهت ساخت و ساز به وقوع پیوسته است (شکل ۱۲) و یا تبعیت حدود ۴۰ درصد از لغزش ها از زیربری دامنه ها (شکل ۱۳) نشان دهنده آن است.

نتایج این بررسی را می توان به شرح زیر برشمرد:

از این لحاظ سازندهای گورپی و رادیولاریتی در منطقه جوانرود به دلیل حساسیت در مقابل هوازگی و فرسایش به شکل تپه ماهورهای مدور با دامنه های محدب در آمده اند. به هر حال انباشت این مواد در سطح این اراضی همراه با هوازگی شیمیائی موجب شده تا عناصر رس و لای در میان آنها زیاد باشد. این مواد وقتی آب جذب می کنند سنگین شده و به حالت لغزنده و ناپایدار در می آیند. وقوع بارندگی نزدیک به ۶۰۰ میلیمتر در سال می تواند نقش مهمی در این راستا داشته باشد. برای اینکه این مواد با حرکت

- زمین لغزش‌های جانرود تهدیدی است
برای وسایل نقلیه جاده‌ای، تخریب راه و
زمین‌های کشاورزی؛

- با ایجاد دیوار حائل در پای دامنه‌های
منتهی به جاده، می‌توان تا حدودی خطر وقوع
لغزش در منطقه را کاهش داد.

- زمین لغزش‌های منطقه جانرود سطحی
هستند و عموماً خاک و مواد هوازده (رگولیت)
را تحت تاثیر قرار می‌دهند؛

- زمین لغزش‌های منطقه جانرود کم
وسعت هستند و در ابعاد بزرگتر از ۵۰۰۰ متر
مربع روی نمی‌دهد؛

- زمین لغزش‌های منطقه جانرود تازه
هستند و عموماً با فعالیت انسانی در ارتباط
هستند؛



شکل ۱۲- نمونه‌ای از لغزش که در اثر زیر بری دامنه به وسیله احداث جاده صورت گرفته است



شکل ۱۳- نمونه دیگر از حرکات دامنه‌ای حوضه مورد مطالعه از نوع روانه که در اثر زیر بری دامنه به وسیله زهکش به وقوع پیوسته است.

منابع

احمدی، حسن؛ اباذر اسمعیلی؛ سادات فیض نیا و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۲)؛ پهنه بندی خطر حرکت های توده ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرمی چای؛ مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۶، ۴، صص ۳۲۳-۳۳۶.

احمدی، حسن؛ شیرین محمد خانی؛ سادات فیض نیا و جمال قدوسی، (۱۳۸۴)؛ ساخت مدل منطقه ای خطر حرکت های توده ای با استفاده از ویژگیهای کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستمها (AHP) مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۸، ۱، صص ۳-۱۴.

احمدی، حسن و علی طالبی اسفندرانی، (۱۳۸۰)؛ بررسی عوامل موثر در ایجاد حرکات توده ای (لغزشی)، مطالعه موردی: منطقه اردل استان

چهار محال بختیاری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۴، صص ۳۲۳ - ۳۲۹.

اسمعیلی عوری، اباذر، (۱۳۸۱)؛ پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه گرمی چای و ارائه مدل منطقه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران .

اصغر پور، م. ج، (۱۳۸۳)؛ تصمیم گیری‌های چند معیاره، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

امینی، عباس، (۱۳۸۵)؛ مدل سازی پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جوانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، کرمانشاه، دانشگاه رازی.

بای، ناصر، (۱۳۸۶)؛ بررسی و پهنه بندی حرکات توده ای با تاکید بر لغزش، مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه مادرسو، پایان نامه کارشناسی ارشد، تبریز، دانشگاه تبریز.

احمدی، حسن؛ اباذر اسمعیلی؛ سادات فیض نیا و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۲)؛ پهنه بندی خطر حرکت های توده ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرمی چای؛ مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۶، ۴، صص ۳۲۳-۳۳۶.

احمدی، حسن؛ شیرین محمد خانی؛ سادات فیض نیا و جمال قدوسی، (۱۳۸۴)؛ ساخت مدل منطقه ای خطر حرکت های توده ای با استفاده از ویژگیهای کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستمها (AHP) مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۸، ۱، صص ۳-۱۴.

احمدی، حسن و علی طالبی اسفندرانی، (۱۳۸۰)؛ بررسی عوامل موثر در ایجاد حرکات توده ای (لغزشی)، مطالعه موردی: منطقه اردل استان

کوک، آر، یو و جی، سی، دورکمپ، (۱۳۷۷)؛ ترجمه: شاپور گودرزی نژاد، ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، تهران، انتشارات سمت، صص ۲۰۱-۲۱۰.

محمودی، فرج اله، (۱۳۸۲)؛ ژئومورفولوژی دینامیک، تهران، انتشارات پیام نور، صص ۴۳-۴۷.

مهدی پور، فاطمه و محمدسعدی مسگری، (۱۳۸۳)؛ الگویی برای مکان‌یابی بر اساس متدهای تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS.

هاشمی طباطبایی، سعید، (۱۳۸۶)؛ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از استان اردبیل، مجله تازه‌های ساختمان و مسکن، صص ۲۱-۲۵.

Abramson, Lee. W; Thomas, S. Lee; Sunil Shirma; Glen, M. Boyee (1995); Slope stability and stabilization methods.

Anbalagan, R. (1992); Landslide hazard development and zonation mapping mountainous terrain. Engineering geology. 32. pp. 267-277.

Atkin, B. C; Johnson, J. A (1988); The earth, problems and perspectives, USA, Blackwell scientific publications, pp. 147-161.

Dai, F. D; C. F. Lee (2002); Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS. Lantau island. Hong Kong. Geomorphology. 42. pp. 213-228.

Prakash, T. N (2003); Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multi criteria decision making approach, M.S. this international institute for geo-information science and earth observation enschede, The nether land.

Saaty, T. L (1980); The analytic hierarchy process, New York, ME grow-hill.

Ven Wes ten, C. J; R. Scoters (1997); Geographic information system in slope instability zonation. ITC. Netherlands.

پرهیزکار، اکبر و عطا غفاری گیلاننده، (۱۳۸۵)؛ سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، تهران، انتشارات سمت.

تاربوک، ادوارد و فردریک جیش لوتکین، (۱۹۸۹)؛ ترجمه: رسول اخروی، مبانی زمین‌شناسی، تهران، انتشارات مدرسه. صص ۱۲۶-۱۳۰.

جباری، ایرج (۱۳۸۴)؛ تحلیلی بر محدودیت‌های پهنه‌بندی مناطق حساس به حرکات توده‌ای، جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص ۷۱-۹۲.

شادفر، محمد؛ مجتبی یمانی؛ جمال قدسی و جعفر غیومیان، (۱۳۸۶)؛ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (حوضه آبریز چالکروود تنکابن)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، صص ۱۱۸-۱۲۶.

شریعت جعفری، محسن و جعفر غیومیان، (۱۳۸۷)؛ ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۴، صص ۱۳۷-۱۴۳.

شیرانی، کورش؛ جعفر غیومیان و احمد مختاری، (۱۳۸۴)؛ بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه رودخانه ماربر، نشریه آب و آبخیز، پژوهش‌کده حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۳۶-۴۸.

قدسی پور، ح، (۱۳۸۴)؛ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).