

انتخاب مدل مناسب از بین روش های آماری دومتغیره جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بقیع)

سیما پورهاشمی، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

ابوالقاسم امیراحمدی*، دانشیار گروه اقلیم و ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری

الهه اکبری، مربی گروه اقلیم و ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

جایابی توده های مواد از قبیل زمین لغزش از جمله فرآیندهای دامنهای مشکل آفرین حوضه بقیع در دامنه های جنوبی بینالود است، چرا که این پدیده موجب تخریب اراضی، زمین های کشاورزی و مراتع، و نیز افزایش تولید رسوب در خروجی حوضه می شود. بنابراین شناسایی پهنه های حساس به زمین لغزش از طریق پهنه بندی خطر با مدل های تجربی مناسب یکی از اقدامات اساسی در مدیریت خطر در حوضه های آبخیز کشور محسوب می شود. در این تحقیق جهت نیل به پهنه بندی خطر زمین لغزش از روش آماری ۲ متغیره (دو روش ارزش اطلاعاتی (WINF^۲) و گوپتا و جوشی (LNRF^۳)) استفاده شده است. بنابراین، ابتدا لایه پراکنش ۴۴ نقطه لغزشی بوقوع پیوسته در سطح حوضه به عنوان متغیر وابسته و ۱۰ لایه تأثیرگذار بر وقوع لغزش همچون ارتفاع، شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به عنوان متغیر مستقل تهیه گردیدند. سپس از طریق همپوشانی و انطباق نقشه های عامل با نقشه پراکنش لغزش بطور مستقل و جداگانه، پهنه بندی خطر زمین لغزش با دو روش مذکور در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS^۴) انجام شد. جهت ارزیابی کارایی و انتخاب مدل مناسب برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از روش شاخص زمین لغزش (Li) استفاده گردید. بر اساس این شاخص، در روش ارزش اطلاعاتی ۷۸/۹۷ درصد و در روش پیشنهادی گوپتا و جوشی حدود ۶۹/۶۴ درصد زمین لغزش ها در طبقه های پرخطر و خیلی پرخطر اتفاق افتاده اند. بنابراین روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش ها با پهنه های خطر بالا، کارایی بهتری نسبت به روش گوپتا و جوشی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه بقیع دارد. از بین عوامل ۱۰ گانه مؤثر، عامل شیب بیشترین تأثیر را داشته است، چرا که بیش از ۹۰ درصد لغزش ها در شیب های بیشتر از ۱۲ درصد رخ داده است. نقشه پهنه بندی، نواحی در معرض خطر و مستعد زمین لغزش را نشان می دهد و می تواند مورد استفاده طیف وسیعی از مدیران و برنامه ریزان منطقه ای قرار گیرد.

واژگان کلیدی

زمین لغزش، روش ارزش اطلاعاتی - روش گوپتا و جوشی، شاخص زمین لغزش، GIS، حوضه بقیع.

۱- مقدمه

تنوع شرایط آب و هوایی و موقعیت قرارگیری کشور ایران در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، فراوانی تغییرات اقلیمی، زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی ناشی از آن، منجر به بلایای طبیعی گوناگون از جمله حرکات دامنه‌ای شده و همه ساله موجب خسارات و صدمات فراوانی می‌شود (حسینی و لطفی، ۱۳۸۶: ۱). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی^۱ از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست (سوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۷۰). در بروز ناپایداری دامنه‌ای به دلیل گنگ بودن، کامل نبودن و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژی، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، نوسان‌های درجه حرارت، تأثیر یخبندان و ... عدم قطعیت وجود دارد. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب منطقی به نظر می‌رسد (Komac, 2006: 18). به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای حرکات دامنه‌ای و اثرات ناشی از آن برای بسیاری از فعالیتهای بشری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد تا بواسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از اینگونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند.

زمین لغزش یکی از فرایندهای اصلی زمین ریختی و حرکات دامنه‌ای است که تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی را تحت تأثیر قرار داده (Roering et al., 2005) و باعث ایجاد حوادث فاجعه برانگیزی می‌گردد. جهت جلوگیری از ایجاد این حوادث و کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر، اقداماتی همچون پهنه‌بندی خطر زمین لغزش متمر ثمر است.

در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل‌های تجربی، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر، از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کنند (نادری و کریمی، ۱۳۹۰: ۹۷). این فرایند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای، ناحیه‌ای و محلی محسوب گردد (سیارپور، ۱۳۷۸: ۳۲).

تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام گرفته است که می‌توان مطالعات زیر را برشمرد. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی سفیدگری (۱۳۸۱) در حوضه آبخیز دماوند، هشت روش را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد ارزیابی قرار داده و در نهایت به این نتیجه رسید که روشهای آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون چند متغیره، نتایج قابل قبول و رضایت بخشی را ارائه می‌نمایند. کلارستاقی (۱۳۸۱) جهت بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرین رود تجن، چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، شاخص همپوشانی و روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها را (Analytic Hierarchy Process) در محیط GIS مطالعه نمود و به این نتیجه رسید مناطقی که در آنها تغییرات زیاد کاربری زمین صورت گرفته جزء مناطق پرخطر محسوب می‌گردند. شادفر و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از روش LNRF^۲ حوضه آبخیز لاکتراشان در شهرستان تنکابن استان مازندران از نظر حساسیت به وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی کردند و بیان نمودند در کل مساحت حوضه که حدود ۵۲۵,۷ هکتار است، حدود ۴۶,۷۵ هکتار آن جزو مناطق ناپایدار

^۱ Geo environment

^۲ Landslide Nominal Risk Factor

می‌باشد. کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، از چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی جهت پهنه‌بندی استفاده کردند که نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها در تفکیک طبقات خطر نتایج بهتری دارد. بنابراین این روش به عنوان روش نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید. شادفر و همکاران (۱۳۹۰)، در حوضه چالکروود به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRNF پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در مدل تراکم سطح، حدود ۷۹ درصد، در مدل LNRNF حدود ۶۳ درصد و در مدل ارزش اطلاعاتی، حدود ۶۶ درصد از حوضه مورد مطالعه در محدوده استعداد خطر لغزش بالا قرار می‌گیرند. سرور و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه خود تحت عنوان پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای از طریق بررسی مدل LNRNF منطقه نیر به سراب، از مدل LNRNF به عنوان ابزار مفهومی پژوهش استفاده شد. با وزن دادن به عوامل موثر و جمع جبری آنها، مشخص گردید که ۵۷ درصد لغزشها در واحد سنگی Mt و گدازه‌های پیروکسن آندزیتی و آبرفت‌های جدید رخ می‌دهد. پس از آن شیب زیاد، گسل‌ها و میزان بارندگی بالای ۶۰۰ میلی‌متر و ارتفاعات بیشتر از ۱۸۰۰ متری و اراضی مرتعی در وقوع لغزش‌ها تاثیر می‌گذارند.

پاچا اوری و پنت^۱ (۱۹۹۲) حوضه آگلار در هیمالیا را به روش وزن‌دهی بر اساس میزان رابطه متقابل بین زمین‌لغزش‌ها و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی نمودند و رابطه مثبتی بین وقوع زمین‌لغزش‌ها و میزان رسوب به دست آوردند. کولار^۲ و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق نرخ شیب و نرخ سطح زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناحیه میزوران در شمال هند را تهیه و بیان کردند که نقشه تهیه شده با زمین‌لغزش‌های موجود مطابقت دارد. فانیولیو^۳ (۲۰۰۷) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین تهیه کرد. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی، مکان‌های با زمین لغزش فعال را بهتر نشان می‌دهد.

Naderi و همکاران (۲۰۱۰) کارایی چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زنگوان استان ایلام را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ارزش اطلاعاتی کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد.

بررسی پدیده زمین‌لغزش، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی ریسک و خطر آن، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارا پتانسیل زمین‌لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های انسانی نظیر راه‌ها، مسیر انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها و..... در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه ریزان قرار دارد. هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی و مقایسه کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی (WINF) و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی (LNRNF) در آبخیز بقیع نیشابور و معرفی روش مناسب‌تر در پهنه‌بندی خطر در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.

^۱ Pachauri & Pant

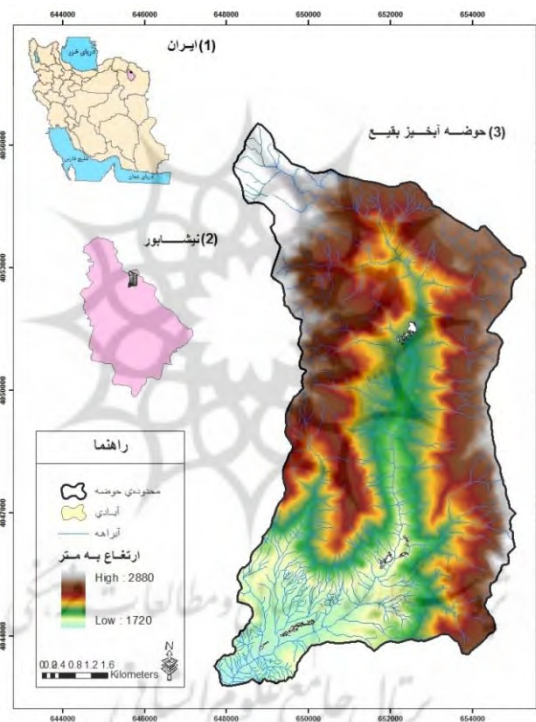
^۲ Khullar

^۳ Fanyu liu

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بقیع نیشابور، در حوضه آبریز اصلی کویر مرکزی (از حوضه‌های شش‌گانه استان خراسان) واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبخیز بقیع در محدوده طول جغرافیایی " ۵۸° ۳۸' ۵۹" الی " ۱۳° ۴۴' ۵۸" و عرض جغرافیایی " ۵۸° ۳۱' ۰۹" الی " ۳۶° ۳۸' ۳۰" شمالی و در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات بینالود واقع شده است (شکل ۱).

حوضه آبخیز بقیع در شمال شهرستان نیشابور و در بخش سرولایت واقع شده است. محدوده مورد مطالعه از غرب به روستای برمهان، از جنوب به روستای بار و از جنوب غرب به روستای تنگه علیا منتهی می‌گردد. مساحت حوضه معادل ۶۳۶۷ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۰۹ متر است که حداکثر ارتفاع آن ۲۸۸۰ متر از سطح دریا و حداقل نقطه ارتفاعی منطقه مطالعاتی نیز در خروجی حوضه به ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا گزارش شده است. این مناطق پست همان رسوبات دشت سیلابی در طرفین رودخانه می‌باشد (مطالعات ارزیابی حوضه بقیع، ۱۳۹۲).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

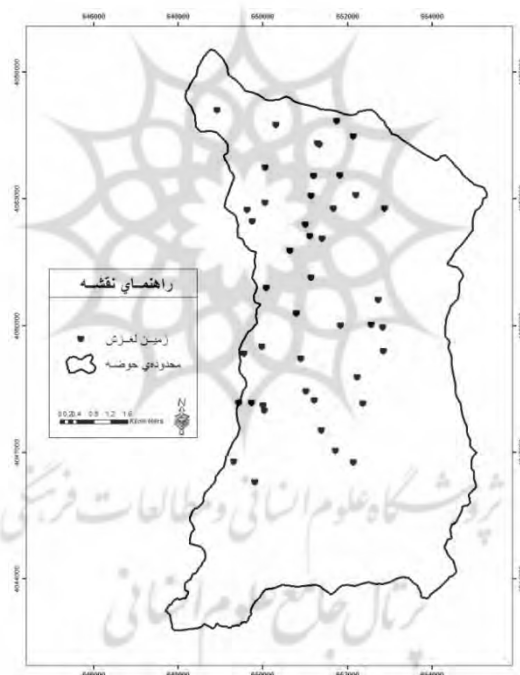
۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، تصویر ماهواره‌ای و ETM+، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای تهیه گردید. الگوی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه کمک زیادی در انتخاب متغیرها می‌نماید. اختلافاتی که در انواع زمین‌لغزش‌ها وجود دارد مهم می‌باشد، زیرا حاکی از شرایطی است که منجر به وقوع آنها می‌شود. بنابراین تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در شناخت عوامل موثر در وقوع آنها و در نتیجه، پهنه‌بندی خطر ضروری می‌باشد. بنابراین مهمترین بخش کار تهیه پایگاه اطلاعات لغزش یا نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه می‌باشد. برای تهیه اطلاعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها از پرسشنامه‌هایی که

توسط دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها معاونت آبخیزداری، گروه بررسی زمین لغزش‌ها تهیه شده بود استفاده گردید. این پرسشنامه‌ها شامل اطلاعاتی از قبیل موقعیت جغرافیایی لغزش، تغییرات کاربری، نوع سازند، شیب، ارتفاع و مقدار بارندگی می‌باشد. مطالعات میدانی هم به منظور شناسایی و ثبت زمین لغزش‌های موجود و نیز به منظور نمونه‌برداری از کاربری‌های اراضی برای تهیه لایه کاربری اراضی از روی تصویر ماهواره‌ای انجام گرفت.

برای تهیه لایه‌های ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و بارندگی، به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش بر اساس مطالعات مشابه و نیز استفاده از تجربیات افراد بومی، از استفاده گردید.

همچنین برای تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، ابتدا مختصات زمین لغزش‌ها ثبت و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها (تعداد ۴۴ زمین لغزش) توسط نرم افزار Arc GIS رقومی و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد تا در تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها برای تلفیق با نقشه‌های دیگر استفاده شود. شکل (۲) توزیع زمین لغزش‌ها در حوضه بقیع را نشان می‌دهد.



شکل (۲): توزیع زمین لغزش‌ها در حوضه بقیع (منبع: برداشت میدانی)

۳-۱- پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و ارزیابی این

روش‌ها

برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از روش‌های کمی، روش‌های آماری دو متغیره، مدل گوپتا- جوشی به همراه روش اصلاحی آن، روش ارزش اطلاعاتی استفاده شد.

- روش ارزش اطلاعاتی (WINF)

ون وستن^۱(۱۹۹۷) روش ارزش اطلاعاتی را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پیشنهاد داد، که احتمال وقوع زمین‌لغزش را در مساحت مشخصی از هر کلاس یک لایه موضوعی مورد بررسی قرار می‌دهد و به عنوان یک روش ساده شده‌ای از روش یین و یان^۲(۱۹۸۹) در نظر گرفته می‌شود (Saha et al., 2005:51-69).

مدل ارزش اطلاعاتی یک روش آماری برای پیش‌بینی فضایی یک رویداد براساس رابطه پارامتر و رویداد می‌باشد. این روش برای بررسی حساسیت زمین‌لغزش بواسطه تعیین تأثیر پارامترهای کنترل‌کننده رخداد زمین‌لغزش در یک منطقه است و بوسیله محققان زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Yin and Yan, 1988, Sakar and D.P. Kanungo, 2008:52-62). در این روش، ارزش وزنی برای هر کلاس عاملی بوسیله لگاریتم طبیعی تراکم زمین‌لغزش در کلاس، تقسیم بر تراکم زمین‌لغزش در کل نقشه تعریف می‌شود (Van Westen, 1997:74). این روش مبتنی بر همبستگی آماری (همپوشانی نقشه) نقشه زمین‌لغزش با نقشه‌های عاملی مختلف می‌باشد. نقشه‌های موضوعی مختلف برای ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرند (Pradhan et al., 2006:698-709). با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی نمود و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی (Ln)، وزن متغیرهای دارای وزن بسیار کم، زیاد وارد محاسبات می‌شوند (مقیم و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۳-۷۵).

در روش ارزش اطلاعاتی ابتدا می‌بایست نرخ یا وزن هر طبقه از عوامل موثر بدست آورده شود (حقوق‌شناس، ۱۳۷۴: ۵۰) که این روش بر اساس رابطه (۱) انجام می‌شود (Saha et al., 2005:61-69, Magliulo et al., 2009:253-265, Van Westen, 1997:74, Magliulo and et al., 2008:411-435).

رابطه (۱)

$$WINF = L N \left(\frac{A}{\frac{B}{\frac{C}{D}}} \right)$$

که در آن WINF نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل، A تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه، B مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع، C تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوضه و D مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع است. پس از تعیین نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل موثر و اعمال آنها بر روی نقشه‌های عوامل نام برده با روی هم‌اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS در ۵ طبقه تهیه می‌گردد.

- روش گوپتا و جوشی (LNRF)

روش‌های فاکتور خطر اسمی زمین‌لغزش (LNRF)، برای استخراج فاکتورهای بی بعد و ارزیابی حساسیت، بوسیله گوپتا و جوشی^۳(۱۹۹۰) توسعه داده شد، که بر اساس رابطه (۲) تعیین می‌شود (Gupta and B.C. Joshi, 1990:119-131, Saha et al., 2005:61-69, Kanungo et al., 2009:81-105, Wang and Meei-Ling Lin, 2010:775-785).

رابطه (۲)

میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل (واحد) ÷ لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل واحد = LNRF

^۱ Van Westen

^۲ Yin & Yan

Joshi & ^۳ Gupta

با توجه به فرمول (۲) برای هر یک از طبقات عوامل مختلف وزن آنها به دست می‌آید. بعد از پیدا کردن وزن مربوط به هر عامل با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد.

- شاخص زمین لغزش

شاخص زمین‌لغزش جهت ارزیابی کارایی دو روش پهنه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به صورت رابطه (۳) تعریف شده است (Van Westen & Soeters, 1998:45).

رابطه (۳)

$$Li = ((Si/Ai) / (\sum 1/n (Si/Ai))) * 100$$

که در این رابطه، شاخص زمین‌لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها. در این رابطه:

Li : عبارت است از شاخص خطر وقوع لغزش در هر پهنه خطر به درصد

Si : مساحت لغزش در هر پهنه خطر

Ai : مساحت هر پهنه خطر

N : تعداد رده‌های خطر

۴- یافته‌های تحقیق

بعد از تهیه عوامل مختلف مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز بقیع، این لایه‌ها بر مبنای ۵ دسته طبقه‌بندی گردیدند (جدول ۱). سپس با دو روش ذکر شده نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شد.

جدول ۱- کد طبقه‌های عوامل مختلف و مؤثر در زمین‌لغزش حوضه آبخیز بقیع (منبع: نگارندگان)

ردیف	زمین شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از غسل	ارتفاع	جهت شیب	تراکم پوشش گیاهی	فاصله از رودخانه
۱	مزدوران	۰-۸	۰-۱۰۰	دیم‌کاری	۲۸۸-۳۰۰	۰-۱۰۰	۱۷۲۰-۱۹۵۲	S-SW	۰-۰,۶	۰-۵۰
۲	چمن بید	۸-۱۲	۱۰۰-۵۰۰	آبیاری کشاورزی	۳۰۰-۳۱۲	۱۰۰-۱۰۰۰	۱۶۵۲-۲۱۸۴	N-NE	۰-۰,۱	۵۰-۲۰۰
۳	کشف رود	۱۲-۱۸	۵۰۰-۱۰۰۰	مرتع	۳۱۲-۳۲۴	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۱۸۴-۲۴۱۶	E-SE	۰,۱-۰,۳	۲۰۰-۳۵۰
۴	آبرفت‌های جوان	۱۸<	۱۰۰-۱۵۰۰	مسکونی	۳۲۴-۳۳۶	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۲۴۱۶-۲۶۴۸	W-NW	۰,۳-۰,۵	۳۵۰-۵۰۰
۵	-	-	۱۵۰۰<	-	۳۳۶<	۳۰۰۰<	۲۶۴۸-۲۸۸۰	بدون جهت	۰,۵<	۵۰۰<

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش عبارت است از تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۴۸). در این تحقیق از دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا و جوشی استفاده شده است.

۴-۱- پهنه بندی زمین لغزش حوضه به روش ارزش اطلاعاتی (WINF)

در روش ارزش اطلاعاتی نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل از رابطه (۱) بدست می آید. نتایج مربوط به نرخ طبقه‌های عوامل مختلف در جدول (۲) بیان شده است. سپس لایه‌ها با توجه به نرخ‌های بدست آمده از جدول (۲) تهیه شده و با روی هم قرار دادن و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها برای عوامل مختلف، در نهایت در سیستم اطلاعات جغرافیایی، بر اساس روش AHP و سیستم وزندهی نسبتی (جدول ۳)، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تولید می‌شود. برای طبقه‌بندی نقشه پهنه‌بندی، آن را به پنج قسمت مساوی تقسیم کرده و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی بدست می‌آید (شکل ۱۳).

جدول (۲): نرخ طبقه های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز بقیع به روش ارزش اطلاعاتی (منبع: نگارندگان)

ردیف	لیتولوژی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	شاخص پوشش گیاهی	فاصله از رودخانه
۱	۰,۷۳۹	۰	۰,۸۰۷	۲,۳۶۶	۰,۸۲۱	۰,۵۹۹	۰,۱۱۵	۱,۱۹۳	۱,۰۲۴	۰,۸۹۸
۲	۱,۰۹۶	۰	۰,۶۳۵	۱,۱۳	۱,۷۹۷	۰,۷۴۰	۰,۷۸۵	۰,۵۸۹	۰	۱,۱۷۳
۳	۰	۰,۹۲۱	۱,۰۴۱	۰,۷۶۲	۱,۳۰۵	۱,۱۲۴	۱,۴۰۰	۲,۴۱۸	۰	۰,۷۰۹
۴	۰	۱,۰۸۸	۰,۹۹۴	۰	۱,۳۲۲	۱,۱۷۶	۱,۶۹۴	۰,۵۴۵	۰	۰
۵	۰,۴۸۳	-	۱,۹۹۸	-	۰	۱,۱۲۰	۰,۴۷۷	۰	۰	۰

جدول (۳): وزن طبقات عوامل مختلف در روش ارزش اطلاعاتی در حوضه آبخیز بقیع به روش AHP (منبع: نگارندگان)

فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	بارندگی	کاربری اراضی	شاخص پوشش گیاهی	فاصله از گسل	لیتولوژی	جهت دامنه	شیب	ارتفاع
۱,۳	۱,۳	۱,۴	۱	۱,۲	۱	۱,۳	۱	۱,۶	۱
۱	۱	۳	۲	۳	۳	۱	۵	۱	شیب
۱,۷	۱,۵	۱,۲	۱,۲	۱,۳	۱,۳	۱,۸	۱	۱	جهت دامنه
۱	۱,۲	۳	۳	۲	۳	۱			لیتولوژی
۱,۲	۱,۲	۲,۲	۱,۵	۱	۱				فاصله از گسل
۱,۲	۱,۲	۱	۱	۱					پوشش گیاهی
۱,۵	۱,۵	۳	۱						کاربری
۱,۷	۱,۶	۱							بارندگی
۳	۱								فاصله از جاده
۱									فاصله از رودخانه

۴-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش گوپتا و جوشی (LNRF)

بعد از تهیه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه و طبقه‌بندی لایه‌ها (جدول ۱) هرکدام از عوامل ذکر شده با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع داده شده و مقدار لغزش در هر طبقه بدست آمد و با استفاده از رابطه‌ی (۲) وزن هر طبقه محاسبه می‌گردد (جدول ۴ و ۵). سپس نقشه هر یک از عوامل بر اساس وزن‌های به دست آمده از جدول (۴) تولید می‌گردد. آنگاه در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه وزن‌ها را با هم جمع کرده و نقشه به دست آمده را طبقه‌بندی و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با پنج طبقه بدست آمد (شکل ۱۴).

جدول (۴): نرخ طبقه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز بقیع به روش گوپتا و جوشی (منبع: نگارندگان)

ردیف	لیتولوژی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت شیب	شاخص پوشش گیاهی	فاصله از رودخانه
۱	۰,۰۴۵	۰	۰,۱۱۳	۰,۳۱۸	۰,۰۶۸	۰,۰۲۲	۰,۰۲۲	۰,۲۹۵	۱	۰,۳۸۶
۲	۰,۹۰۹	۰	۰,۲۲۷	۰,۰۶۸	۰,۳۴۰	۰,۲۲۷	۰,۲۰۴	۰,۱۵۹	۰	۰,۵۴۵
۳	۰	۰,۱۳۶	۰,۲۵	۰,۶۱۷	۰,۲۵	۰,۳۴۰	۰,۴۳۱	۰,۳۸۶	۰	۰,۰۶۸
۴	۰	۰,۸۶۳	۰,۱۱۳	۰	۰,۳۴۰	۰,۲۹۵	۰,۳۱۸	۰,۱۵۹	۰	۰
۵	۰,۰۲۲	-	۰,۲۹۵	-	۰	۰,۱۱۳	۰,۰۲۲	۰	۰	۰

جدول (۵): وزن طبقات عوامل مختلف در روش گوپتا و جوشی در حوضه آبخیز بقیع به روش AHP (منبع: نگارندگان)

فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	بارندگی	کاربری اراضی	شاخص پوشش گیاهی	فاصله از گسل	لیتولوژی	جهت شیب	شیب	ارتفاع
۱,۲	۱,۲	۱,۳	۱	۱,۲	۱	۱,۳	۱	۱,۶	۱
۱	۱	۳	۲	۳	۳	۱	۱	۱	شیب
۱,۷	۱,۵	۱,۲	۱,۲	۱,۳	۱,۳	۱,۸	۱	جهت دامنه	۱
۱	۱,۲	۳	۳	۲	۳	۱	۱	لیتولوژی	۱
۱,۲	۱,۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	فاصله از گسل	۱
۱,۲	۱,۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	پوشش گیاهی	۱
۱,۵	۱,۵	۲	۱	۱	۱	۱	۱	کاربری	۱
۱,۷	۱,۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	بارندگی	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	فاصله از جاده	۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	فاصله از رودخانه	۱

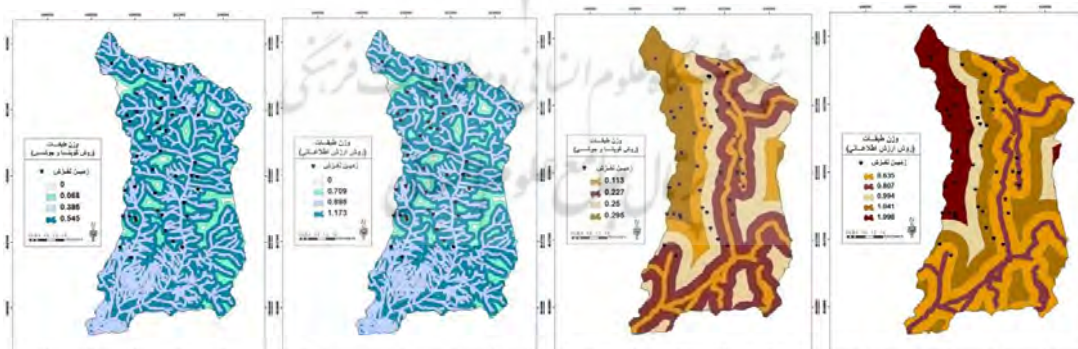
پس از اعطای وزن مناسب به هر معیار باید توجه داشت که نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ شود بدین منظور باید ارزش گذاری به معیارها تا جایی ادامه پیدا کند که $CR < 0/1$ شود. با اعمال وزن‌های مربوطه به هر معیار و

بررسی نرخ سازگاری با وزن معیارها، نرخ سازگاری در روش (WINF) و (LNRF) مقدار ۰/۰۷ بدست آمد که از نظر اعتبار وزن دهی قابل قبول می باشد. جدول (۶) وزن کلی عوامل در دو روش پهنه بندی WINF و LNRF را بیان می کند.

جدول (۶): وزن کلی عوامل در دو روش پهنه بندی LNRF و WINF

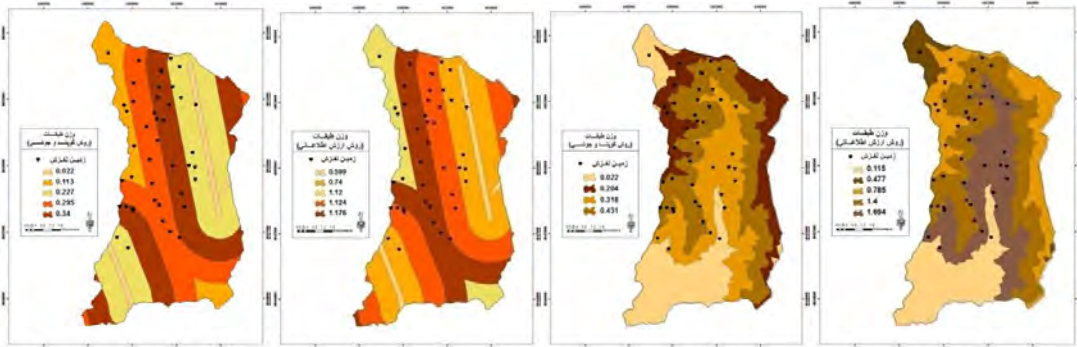
عامل	وزن کلی عوامل در LNRF روش	وزن کلی عوامل در WINF روش
ارتفاع	۰,۱۱۱	۰,۱۱۲
شیب	۰,۱۸۳	۰,۱۷۳۴
جهت دامنه	۰,۱۰۲۷	۰,۱۰۳۷
لیتولوژی	۰,۱۳۵۹	۰,۱۳۶۲
فاصله از گسل	۰,۰۸۰۱	۰,۰۸۴۱
شاخص پوشش گیاهی	۰,۰۷۲۸	۰,۰۷۳۱
کاربری اراضی	۰,۰۸۳۲	۰,۰۰۹
بارندگی	۰,۰۷۳۴	۰,۰۶۷۳
فاصله از جاده	۰,۰۸۳۷	۰,۰۸۸۸
فاصله از رودخانه	۰,۰۷۴۲	۰,۰۷۱۵
نرخ سازگاری (CR)	۰,۰۷۲۱	۰,۰۷۵۹

اشکال (۳) الی (۱۲) نقشه وزنی هر یک از لایه های مؤثر در وقوع لغزش در حوضه مورد مطالعه را نشان می دهد.

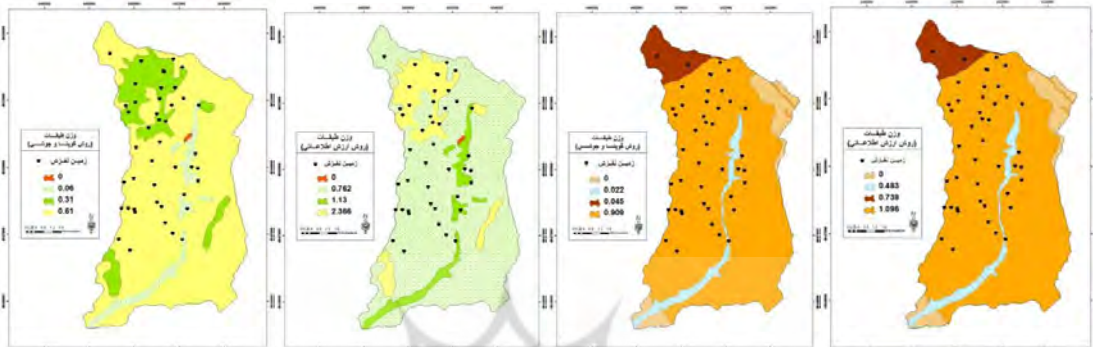


شکل (۴): نقشه وزنی فاصله از جاده در روش LNRF و WINF

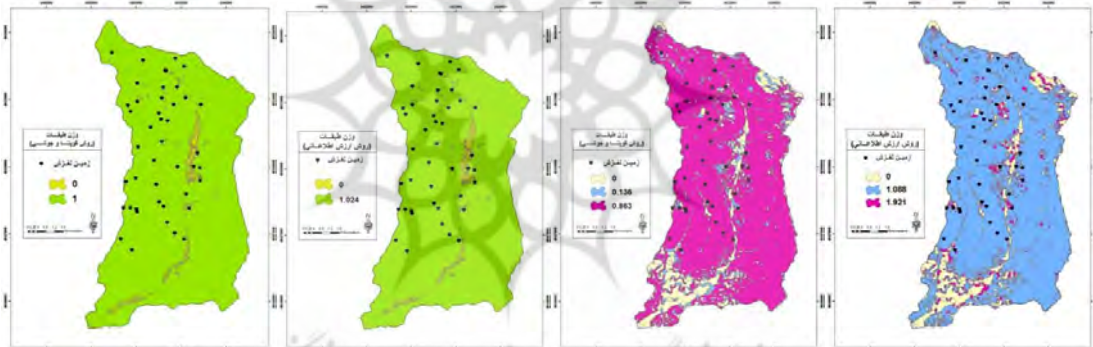
شکل (۳): نقشه وزنی فاصله از رودخانه در روش LNRF و WINF



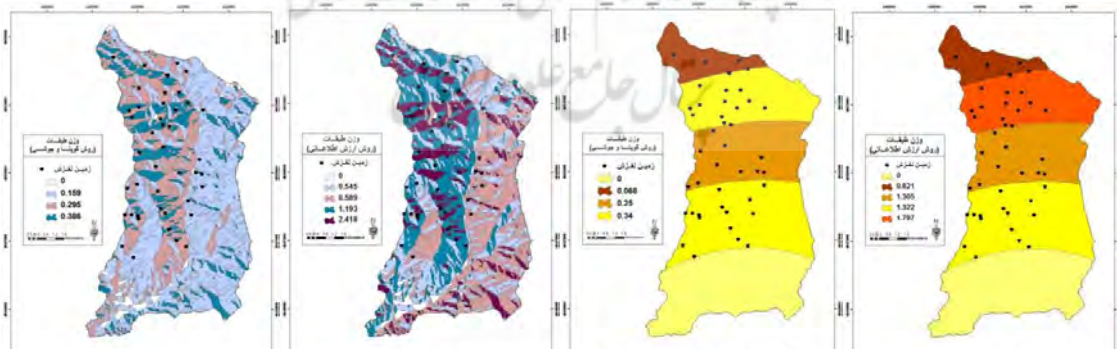
شکل (۵): نقشه وزنی فاصله از گسل در روش WINF و LNRF شکل (۶): نقشه وزنی سطوح ارتفاعی در روش WINF و LNRF



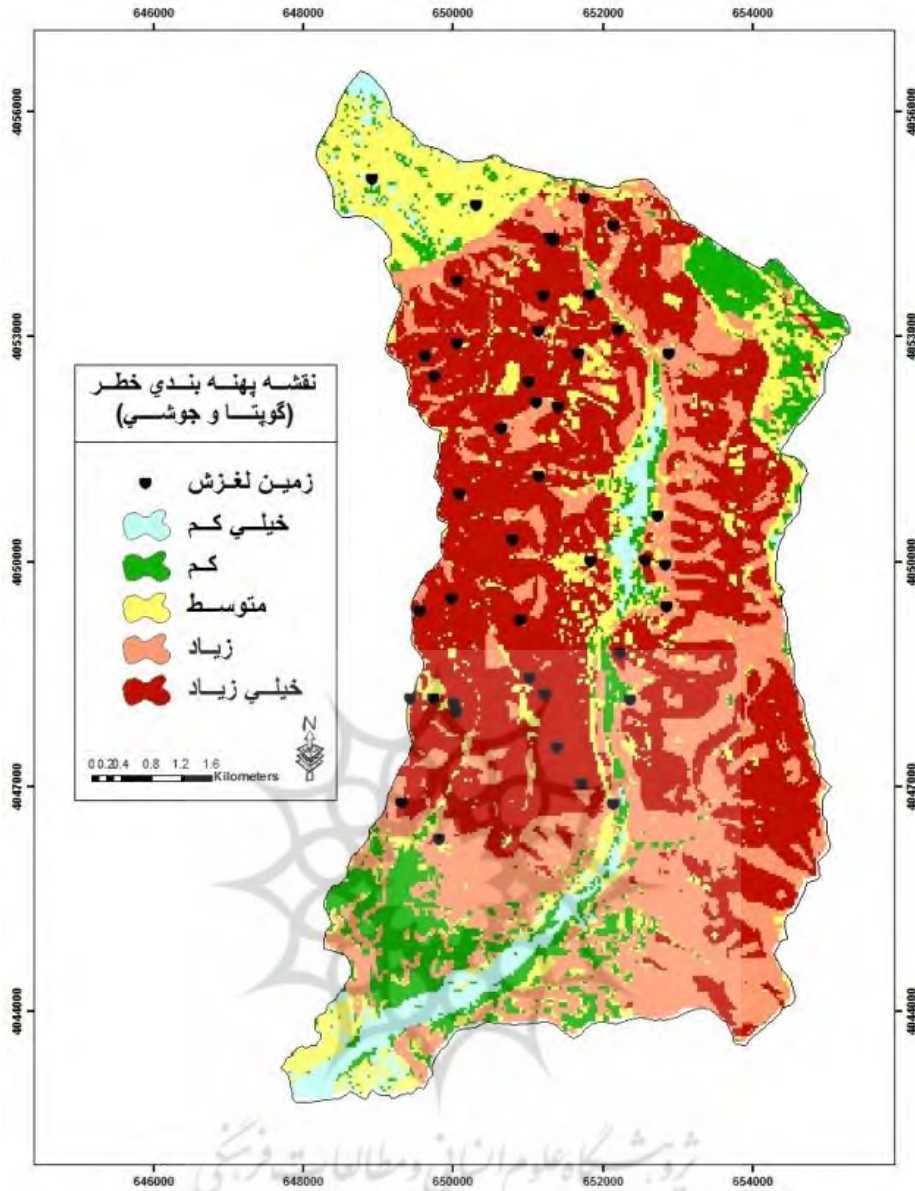
شکل (۷): نقشه وزنی کاربری اراضی در روش WINF و LNRF شکل (۸): نقشه وزنی لیتولوژی در روش WINF و LNRF



شکل (۹): نقشه وزنی پوشش گیاهی در روش WINF و LNRF شکل (۱۰): نقشه وزنی شیب در روش WINF و LNRF

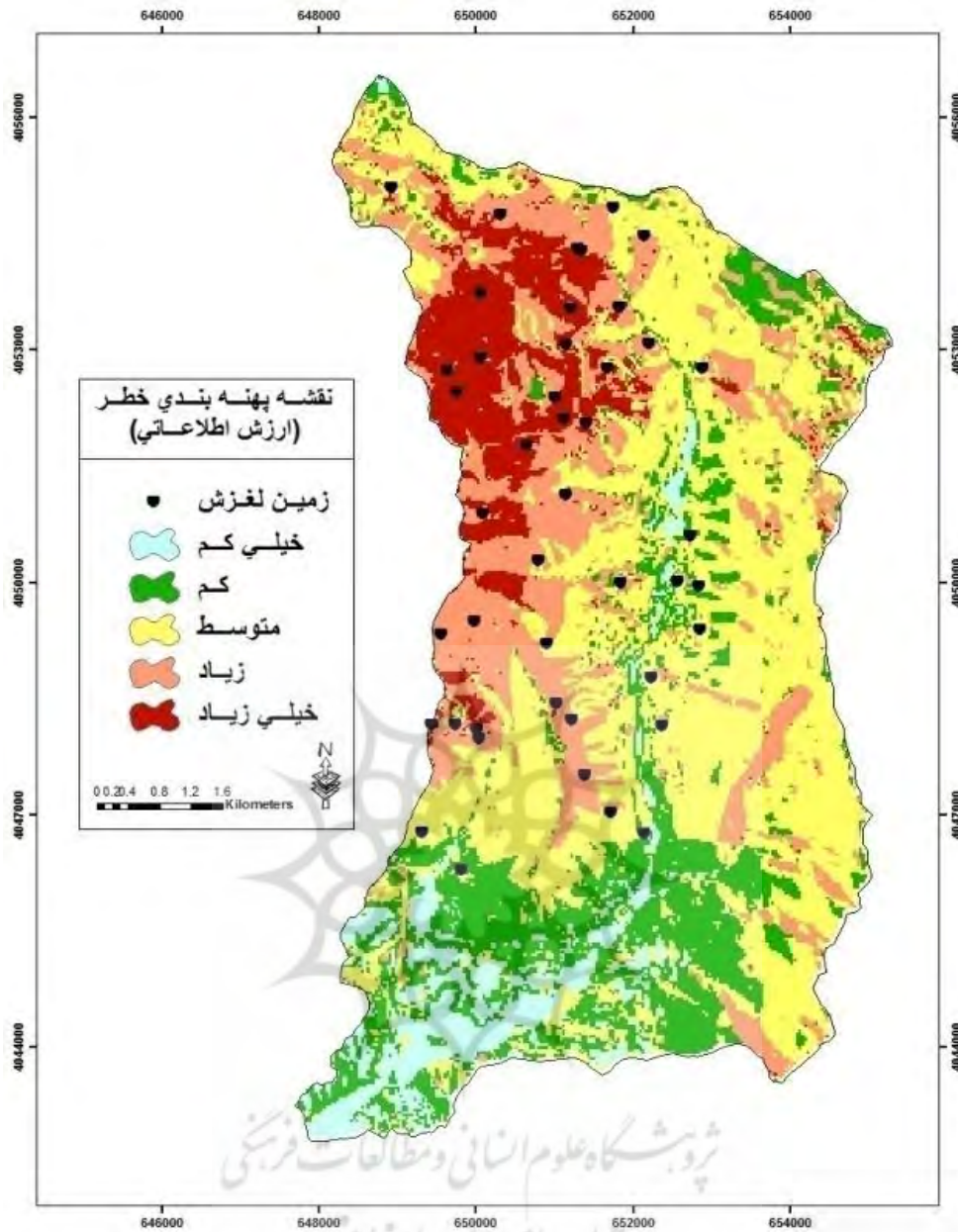


شکل (۱۱): نقشه وزنی جهت شیب در روش WINF و LNRF شکل (۱۲): نقشه وزنی بارش در روش WINF و LNRF



شکل (۱۳): نقشه ی پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش WINF

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی



شکل (۱۴): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش LNRN

۴-۳- ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

با استفاده از نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش گردید. جهت انجام این امر، نقشه پراکنش با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سیستم اطلاعات جغرافیایی، قطع داده شدند. به منظور ارزیابی رده‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی از شاخص زمین‌لغزش استفاده گردید.

در این شاخص، فاکتورهای مساحت زمین‌لغزش‌ها و مساحت پهنه‌های خطر توسط نرم افزار Arc GIS به‌دست آمده است. همان طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود مقدار شاخص زمین‌لغزش در روش ارزش اطلاعاتی در رده خطر بالا و خیلی بالا به ترتیب ۳۴/۰۱ و ۴۴/۹۶ و در روش گوپتا و جوشی این مقادیر به ترتیب ۲۲/۱۶ و ۴۷/۴۸ را نشان می‌دهد که بیانگر کارایی بالای روش ارزش اطلاعاتی نسبت به روش گوپتا و جوشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس شاخص زمین‌لغزش، در روش ارزش اطلاعاتی بیش از ۷۸/۹۷ درصد و در روش پیشنهادی گوپتا و جوشی حدود ۶۹/۶۴ درصد زمین‌لغزش‌ها در طبقه‌های پر خطر و خیلی پر خطر اتفاق افتاده اند. بنابراین، روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین‌لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، کارایی بهتری نسبت به روش پیشنهادی گوپتا و جوشی دارد. از طرفی براساس این شاخص، نقشه‌های حاصل از دو مدل ارائه شده دارای دقت مناسب می‌باشند؛ زیرا شاخص زمین‌لغزش نشان می‌دهد که در هر دو مدل بیش از ۵۰ درصد زمین‌لغزش‌هایی که در منطقه رخ داده‌اند در محدوده دو طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین در هر دو روش چون مساحت زمین‌لغزش‌های حوضه مبنای کار قرار می‌گیرند، در نتیجه امکان بررسی بهتری از وضعیت پهنه‌بندی را در حوضه نشان می‌دهند و نقشه‌های تهیه شده با شرایط محلی مطابقت بیشتری خواهد داشت.

جدول (۷): مقایسه اطلاعات حاصل از تقاطع هریک از نقشه‌های روش‌های پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (منبع: نگارندگان)

روش پهنه‌بندی خطر لغزش	رده های خطر	مساحت لغزش در هر پهنه خطر به هکتار	مساحت هر پهنه خطر به هکتار	تراکم لغزش در هر رده	$\sum_{i=1}^n (S_i/A_i)$	(Li) شاخص زمین‌لغزش در هر رده بر حسب درصد
ارزش اطلاعاتی (WINF)	خیلی کم	۰	۴۸۲,۳۱۸	۰	۱,۰۲۳	۰
	کم	۷۸	۱۱۸۹,۷۳	۰,۰۶۵		۶,۳۵
	متوسط	۳۹۸	۲۶۴۰,۹۳	۰,۱۵۰		۱۴,۱۶
	زیاد	۴۷۹	۱۳۷۷,۲۴۹	۰,۳۴۸		۳۴,۰۱
	خیلی زیاد	۲۸۰,۲۵	۶۰۳,۱۹۸	۰,۴۶		۴۴,۹۶
گوپتا و جوشی (LNRF)	خیلی کم	۰	۲۷۹,۴۴۱	۰	۰,۶۳۶	۰
	کم	۰	۶۰۸,۹۰۹	۰		۰
	متوسط	۱۸۵	۹۵۴,۳۸	۰,۱۹۳		۳۰,۳۴۵
	زیاد	۲۶۰,۲۵	۱۸۳۲,۹۷۳	۰,۱۴۱		۲۲,۱۶
	خیلی زیاد	۷۹۰,۵۰	۲۶۱۲,۷۴۸	۰,۳۰۲		۴۷,۴۸

نتیجه گیری

به طور کلی زمین‌لغزش نوعی حرکت دامنه‌ای است که منجر به جابجایی مواد سطحی در دامنه‌های پرشیب می‌شود. امروزه وقوع لغزش‌ها خسارت‌هایی از قبیل از بین رفتن مناطق مسکونی، افزایش میزان فرسایش خاک، پر شدن سریع مخازن سدها، تخریب راه‌های ارتباطی و پل‌ها، کاهش حاصلخیزی خاک و مشکلات بسیار زیاد دیگر را نیز در بردارد. داشتن اطلاعات کافی درخصوص مناطقی که مستعد حرکات دامنه‌ای است جهت کاهش خسارات جانی و مالی الزامی است. از این رو پهنه‌بندی خطر با مدل‌های تجربی مناسب می‌تواند یکی از اقدامات اساسی در مدیریت خطر در حوضه‌های آبخیز کشور محسوب می‌شود.

در مورد پهنه‌بندی با دو روش ذکر شده در حوضه آبخیز بقیع چنین برمی‌آید روش ارزش اطلاعاتی مناسب تر از روش گوپتا و جوشی می‌باشند و نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سیارپور (۱۳۷۸)، اردکانی (۱۳۷۹)، سفیدگری (۱۳۸۱)، فانیولیو^۱ (۲۰۰۷) نادری و همکاران (۲۰۱۰)، نادری و کریمی (۱۳۹۰) که روش ارزش اطلاعاتی را مناسب ترین روش برای پهنه‌بندی زمین لغزش تعیین می‌کردند، همخوانی دارد. روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین‌لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه های خطر، کارایی بهتری نسبت به روش پیشنهادی گوپتا و جوشی دارد.

با توجه به نقشه پراکنش و تراکم زمین‌لغزش‌ها و وزن بدست آمده هر یک از عوامل در پهنه‌بندی چنین می‌توان گفت که در بین عوامل ۱۰ گانه مؤثر در زمین‌لغزش حوضه آبخیز بقیع، عامل شیب بیشترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته است. چرا که بیش از ۹۰ درصد زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های بالای ۱۲ درصد اتفاق افتاده‌اند. همچنین عامل زمین‌شناسی در رده دوم اهمیت قرار گرفته است، چرا که حدود ۹۰ درصد

^۱ fanyuliu

زمین‌لغزش‌ها در سازند چمن بید(با میان لایه‌های رسی) که نسبت به زمین‌لغزش آسیب‌پذیر است، رخ داده است. عوامل ارتفاع، جهت دامنه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، بارندگی و شاخص پوشش گیاهی در رده های سوم تا نهم قرار دارند. جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه ها با توجه به شرایط حاکم بر حوضه لازم است از تغییر اکوسیستم موجود اجتناب نموده و هر گونه سیاست گذاری به منظور احداث سازه ها باید با لحاظ شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه انجام پذیرد.



منابع

- حسینی، سیدعطاالله و رضا لطفی، (۱۳۸۶)، بررسی پدیده زمین لغزش از لحاظ فیزیوگرافی (مطالعه موردی سری چایباغ، حوضه تالار صنایع چوب و کاغذ مازندران)، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی.
- حق شناس، ابراهیم، (۱۳۷۴)، پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳ ص.
- سرور، جلیل الدین، رضانی، بهمن و مریم ادهمی، (۱۳۹۱)، پهنه بندی حرکت‌های توده‌ای از طریق بررسی مدل LNRF مطالعه موردی: منطقه نیر به سراب، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۱، ۲۴-۱۱.
- سفیدگری، رضا، (۱۳۸۱)، ارزیابی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز دماوند، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیز داری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.
- سوری، سلمان، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد و طاهر فرهادی نژاد، ۱۳۹۰، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوزیان)، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد پنجم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
- سیارپور، محسن، (۱۳۷۸) پهنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۷۳ ص.
- شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی و محمد نمکی، (۱۳۹۰)، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرو، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۳، شماره ۱، ۴۷-۴۰.
- شریعت جعفری، محسن، (۱۳۷۵)، مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی، انتشارات سازه، ۲۱۸ ص.
- کریمی، حاجی، نادری، فتح اله، مرشدی، ابراهیم و مهدی نیک سرشت، (۱۳۹۰)، پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۷، شماره ۴، ۳۳۲-۳۱۹.
- کلارستاقی، عطا الله، (۱۳۸۱)، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرین رود ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیز داری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۴۱ ص.

- مطالعات ارزیابی حوزه آبخیز بقیع – بجنو نیشابور، (۱۳۹۲)، شرکت مهندسی آبخیزداران دشت توس.
- مقیمی، ابراهیم و همکاران، (۱۳۸۷)، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ۷۵-۵۳.
- نادری، فتح‌الله و حاجی کریمی، (۱۳۹۰)، ارزیابی کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا و جوشی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز تلخاب ایلام، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۲، پاییز ۹۰، ۱۰۳-۹۵.
- Fanyu liu, Z. (2007). Study on Landslide Susceptibility Mapping Based GIS and with Bivariate Statistics a Case Study in Longnan Area Highway 212. Science paper online.
- Gupta, R.P. and Joshi. B.C. (1990) Landslide hazard zoning using the GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Engineering Geology, 28(1):119-131.
- Khullar, V. K, Sharam, R.P. Paramanik, K. (2000) A GIS approach in the landslide zone of lawngthlia in southern mizoran. Landslide: proceeding of the 8th international symposium on landslides, Vol.3:1461-1472.
- Komac M., (2006), "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia", Geomorphology, 74(1-4) 17-28.
- Magliulo, P et al. (2008). Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy. Nat Hazards 47: 411-435
- Magliulo, P et al. (2009). Comparison of GIS-based methodologies for the landslide susceptibility assessment. Geoinformatica 13: 253-265
- Naderi, F. Naseri, B. Karimi, H. and Habibi Bibalani, Gh. (2010). Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province): First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.
- Pachauri, A.k., PANT, M., (1992). Landslide Hazard Mapping based on Geological attributes. Eng. Geological. Vol. 32:81-100 pp. 19- Safavi, S. M. (1997) Landslide hazard zonation in Damavand region. MSc Thesis .ITC Netherlands.
- Pradhan B et al., (2006). Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. Advances in Space Research 37: 698–709.
- Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., (2005). Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA. Geological Society of America Bulletin 117, 654–668.
- Saha, Ashis K et al. (2005). An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation-with a case study in the Himalayas. Landslides 2: 61-69
- Sakar. S and D. P. Kanungo. 2008. GIS based spatial analysis for landslide susceptibility mapping. J. Mt. Sci. 5: 52-62
- Van Westen, C. J. (1997). Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for windows applications guide. ITC publication, Enschede, pp. 73-84.

- Wang, K. L and Meei-Ling Lin. (2010). Development of shallow seismic landslide potential map based on newmark's displacement: the case study of Chi-Chi landslide, Taiwan Environ Earth Sci, 60: 775-785
- Yin K. J and Yan T. Z. (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. Proceeding of the 5th international symposium on landslides Lausanne, Switzerland 2: 1269-1272.

