

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش F-AHP و ارائه راهکارهای مقتضی پیشگیری آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکارود)

- ❖ **فائزه کاظمی گرجی***: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه آبخیزداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ❖ **حسن احمدی**: استاد گروه آبخیزداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ❖ **محمد جعفری**: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

هدف نهایی هر تحقیق در مورد فرایندهای توده‌ای دامنه‌ها، تهیه نقشه پهنه‌بندی و تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به مناطقی با درجات مختلف خطر با هدف کاهش آسیب‌های ناشی از آنها است. این تحقیق با استفاده از روش F-AHP در محیط GIS در حوزه آبخیز نکارود در استان مازندران انجام گرفته است. بعد از مقایسه زوجی مشخص شد که زیرشاخص‌های شیب بیش از ۳۰٪، جهت شمالی، ارتفاع بیش از ۱۷۰۰ متر، زیرشاخص ۰-۲۰۰ متر در شاخص فاصله از گسل، زیرشاخص ۰-۵۰ متر در شاخص فاصله از رودخانه، کاربری مسکونی و بارش بیش از ۶۰۰ میلی‌متر نسبت به زیرشاخص‌های گروه خودشان از وزن بیشتری برخوردار شدند که این سبب افزایش زمین لغزش شده است. در این حوزه سنگ آهک زیادی وجود دارد که در کم کردن لغزش مؤثر است. بخش اعظم قسمت‌های مرکزی حوزه مستعد لغزش‌های خیلی زیاد و پرخطر هستند و بقیه نقاط نیز دارای خطر متوسط می‌باشند؛ بخش کمی از حوزه با لغزش با پهنه کم خطر روبه‌روست.

کلید واژگان: پهنه‌بندی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (F-AHP)، حوزه آبخیز نکارود، زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۱. مقدمه

زمین لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. خسارات زیان‌بار زمین لغزش در سراسر دنیا بسیار زیاد بوده و تاکنون جان تعداد زیادی از انسان‌ها را گرفته است. برای مثال، در بهار سال ۱۳۷۷ روستای آبیکار در منطقه بازفت چهارمحال و بختیاری در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ مدفون شد و همه اهالی این روستا از بین رفتند [۳].

همچنین حرکت‌های توده‌ای، نقش مؤثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، ایجاد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده فعال در لندفرم‌های مختلف است. از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد پدیده زمین لغزش دشوار است، از این رو شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، دارای اهمیت است. به طوری که تا حد امکان باید از مناطق با احتمال پتانسیل نسبی بالاتر خطر زمین لغزش دوری کرد. مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است که کارایی هر کدام از آنها در مناطق مختلف متفاوت است [۲].

شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش باعث می‌شود با اطمینان بالاتری به نتایج، برای پیشگیری یا بهبود شرایط، اقدامات لازم انجام شود. اهمیت این نقشه‌ها در مراحل برنامه‌ریزی، فعالیت‌های عمرانی، حفاظت خاک و... باعث شده است تا گروه زیادی از محققین، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را مورد توجه قرار دهند. با استفاده از نتایج چنین تحقیقاتی می‌توان نقشه‌های خطر زمین لغزش را رسم کرده و از آنها در بررسی و مطالعه راه‌های پیشگیری و کنترل زمین لغزش استفاده کرد. به طور کلی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (*Landslide Hazard Zonation*) به دو صورت تجربی و آماری انجام و از این طریق اقدام به

تقسیم‌بندی مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش و رتبه‌بندی آن شود [۶].

روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش ساده محاسباتی برای عملیات اصلی بر روی ماتریس‌ها است. با ایجاد سلسله‌مراتب و پردازش گام به گام، ساخت ماتریس‌های مقایسه‌ای در سطوح مختلف، بردار وزن و مقادیر ویژه آن را می‌توان محاسبه نمود و با ترکیب بردارهای ضرایب وزنی گزینه‌های مختلف را برآورد کرد [۵].

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل اهداف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی می‌شود، ساختن سلسله‌مراتب نامیده می‌شود. سلسله‌مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌سازی (گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد.

پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای را با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله‌مراتبی در حوزه آبخیز گرم یچای استان اردبیل انجام دادند. با استفاده از این دو روش معلوم شد که روش تحلیل سلسله‌مراتبی سامانه‌ها به دلیل داشتن متغیرهای بیشتر و طبقه‌بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره، اهمیت و دقت بیشتری دارد. عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های یادشده در بالا، سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، عناصر خطی، بارش، سوی دامنه و ارتفاع را شامل می‌شد [۱].

در پژوهشی با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات، تراکم سطح، AHP، معیارهای شیب، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و فاصله از جاده اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ترکیه کرد و به این نتیجه رسید که مدل AHP کارایی بهتری از دیگر مدل‌ها برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این منطقه دارد [۲].

تصمیم‌گیری چندمعیاری ابزاری مناسب برای پهنه‌بندی زمین در رابطه با خطر لغزش می‌باشند. پیش‌زمینه استفاده تلفیقی از این دو سامانه شناسایی عوامل مؤثر در هدف می‌باشد. پس از شناسایی عوامل مؤثر با استفاده از سامانه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری؛ این عوامل اولویت‌بندی و وزن‌دهی شده و در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به صورت مکانی نمایش داده می‌شود و در نهایت با توجه به وزن‌های اولویت‌بندی؛ عوامل با یکدیگر تلفیق می‌شود.

۴,۱. منطق فازی و بولین

برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط لطفی زاده، استاد علوم کامپیوتری دانشگاه برکلی کالیفرنیا ابداع شد. مقاله کلاسیک پرفسور لطفی زاده درباره مجموعه فازی که در سال ۱۹۶۵ به چاپ رسید سرآغاز جهتی نوین در علوم مهندسی سیستم کامپیوتر بود. واژه فازی در فرهنگ لغت آکسفورد به صورت مبهم، کنگ، نادقیق، گیج، مغشوش، درهم و نامشخص تعریف شده است. سیستم‌های فازی، سیستم‌هایی هستند که پدیده‌های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می‌باشد. در منطق فازی تمام مسائل دارای راه حل هستند که درجه مطلوبیت (امکان) را نشان می‌دهند. در نهایت منطق فازی بهترین وسیله برای مدل‌سازی سیستم‌هایی است که دارای پیچیدگی زیاد بوده و داده‌های کافی از آنها موجود نیست یا اطلاعاتی که مورد آنها در اختیار می‌باشد مبهم و غیر صحیح است [۴].

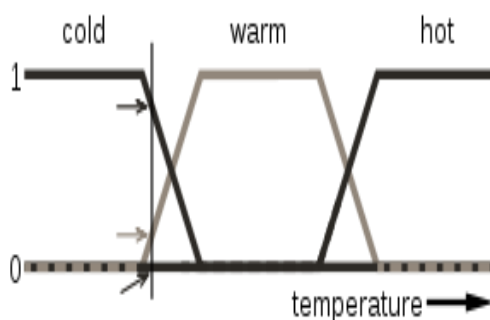
۲,۱. پهنه‌بندی مکانی حرکات توده‌ای

در راستای اجتناب از خطر، در بین همه خطرها و حوادث طبیعی گسیختگی شیب‌ها، شاید به طور مستقیم قابل سنجش‌ترین نوع خطر باشد. در این مقوله، هدف تشریح پدیده پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و معرفی روش‌های متعدد به کار گرفته شده در جهان توسط محققین و پژوهشگران است. باید گفت که شناسایی هر خطر حتی توصیف و تشریح مکانیزم آن فقط اولین پله در ابلاغ فرایندهایی است که به نحوی بر روی فعالیت‌های ملی و توسعه و افکار عمومی تأثیر می‌گذارند. نکته‌ای را که در نهایت باید به آن اشاره کرد این است که یک نقشه پهنه‌بندی فقط نقاط بحرانی از جنبه بروز خطر آینده را برای ما مشخص می‌کند، که البته دقت و کاربری آن با توجه به هدف، مقیاس، محتوی و نوع تکنیک و روش استفاده‌شده متفاوت خواهد بود. واضح است که هرچه کار در مقیاسی بزرگتر و مطالعات و تحقیقات در سطح تفصیلی‌تر با استفاده از تکنولوژی برتر انجام پذیرد نتایج به دست آمده دقیق‌تر و کاربردی‌تر خواهد بود [۷].

۳,۱. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و

تصمیم‌گیری چندمعیاری در پهنه‌بندی مکانی حرکات توده‌ای

با توجه به این مطلب که حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها تابعی از عوامل محیطی می‌باشند بنابراین سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های



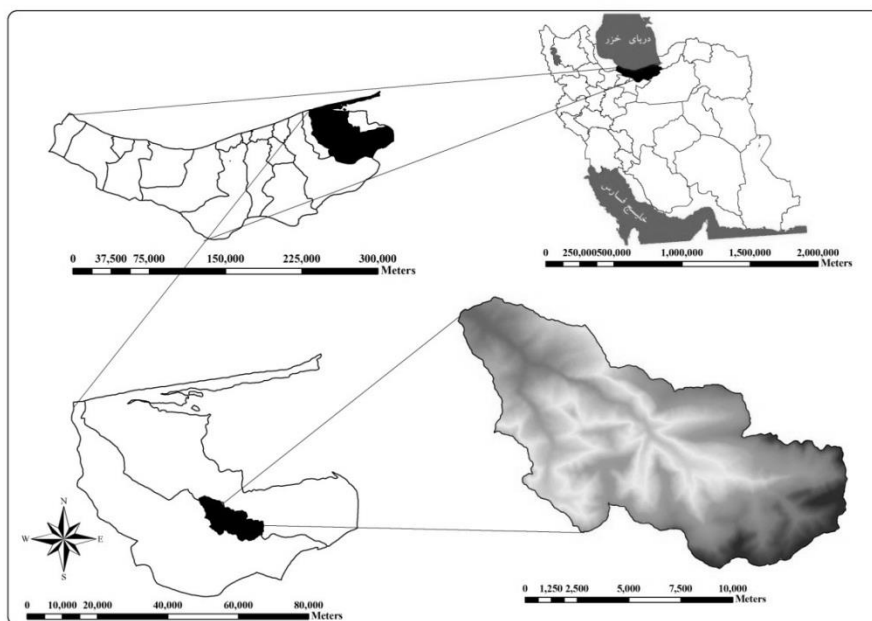
شکل ۱. منطق فازی و بولین

۲. روش شناسی تحقیق

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق به صورت مطالعه موردی در حوزه آبخیز نکارود در گستره استان مازندران با وسعت ۱۹۰۱/۸۴ کیلومترمربع (که در محدوده استان‌های مازندران، گلستان و سمنان قرار دارد) انجام شده است. قسمت اعظم حوزه آبخیز مذکور در استان مازندران است و در موقعیت جغرافیایی $۱۷^{\circ} ۵۳'$ تا $۴۴^{\circ} ۵۴'$ طول شرقی و $۲۵^{\circ} ۳۶'$ تا $۴۲^{\circ} ۳۶'$ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع حوزه در نقطه خروجی و در مجاورت شهر نکا ۵۰ متر و حداکثر آن در ارتفاعات گلستان ۳۷۹۱ متر است. از زیرحوزه‌های هفتگانه آن می‌توان به لکشا، گلورد، برما، متکازین، کیاسر، الارز و سرخ‌گریه اشاره کرد که زیرحوزه سرخ‌گریه از بالاترین ارتفاع (۲۴۴۲ متر) و بیشترین ارتفاع لکشا از کمترین ارتفاع (۵۸ متر) و بیشترین سطح (۲۵۲/۳۷ کیلومترمربع) و زیرحوزه متکازین از کمترین سطح (۳۸/۳۶ کیلومترمربع) بر روی نقشه توپوگرافی حوزه برخوردارند. بیشترین شیب متوسط در زیرحوزه سرخ‌گریه با ۲۲/۴۳ درصد و کمترین آن مربوط

به زیرحوزه لکشا با ۱۱/۸۵ درصد است. بخش وسیعی از حوزه نکارود شامل کنگلومرا، سنگ‌های آهکی، مارن و مارن سیلتی است و پهنه‌های سیلت و رس، سنگریزه و تالوس از دوره کواترنر قسمت‌های کمی از حوزه را در بر گرفته است. با توجه به پوشش جنگل‌های غالب در منطقه، امکان تفکیک و مرزبندی تشکیلات زمین‌شناسی و همین‌طور اشکال ژئومورفولوژیکی در حوزه به آسانی میسر نیست. از تحلیل منحنی آمبروترمیک چنین برمی‌آید که دوره خشکی و مرطوب در حوزه به ترتیب ۱۸۰ و ۱۷۹ روز است که بیانگر اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل و نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. از غرب به شرق حوزه با کاهش بارندگی و از ارتفاع صفر تا ۱۳۳۰ متر از سطح دریا دارای گرادیان منفی است. پوشش گیاهی غالب در منطقه از نوع پهن‌برگ شامل راش، ممرز، توسکا، آزاد، بلوط، انجیلی، زبان‌گنجشک، افرا، نم‌دار، گلابی وحشی، ازگیل و گوجه وحشی است و در برخی از زیرحوزه‌ها به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه به صورت مخروبه درآمده است. هیچ کانون شهری در آن وجود ندارد و واحدهای مسکونی روستایی حدود ۰/۳ درصد از کل حوزه را دربرمی‌گیرد.



شکل ۲. سیمای کلی و موقعیت حوزه آبخیز نکا

از نقشه‌سازی موارد گفته شده بر روی نقشه‌های مربوط به زیرشاخص‌ها استانداردسازی و بی‌مقیاس شدن انجام گرفت و در نهایت برای پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تلفیق شدند.

۳. نتایج

۱: گام اول: شناسایی معیارها، شاخص‌ها و

زیرشاخص‌های مؤثر در زمین‌لغزش

براساس مرور منابع و نظر کارشناسان مربوطه عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و حرکت‌های توده‌ای شناسایی شده؛ این عوامل در پنج گروه بزرگ تحت عنوان معیار، یازده گروه شاخص و همچنین براساس طبقات شاخص‌های شناسایی شده، زیرشاخص‌های هدف مشخص شد (جدول ۳-۱).

۲: گام دوم: اولویت‌بندی و وزن‌دهی معیارها،

شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

در این بخش از مطالعه به منظور مقایسه و وزن‌دهی عوامل شناسایی شده در زمین‌لغزش از تکنیک AHP استفاده شد. در این راستا پرسشنامه AHP طراحی شد. براساس اطلاعات طراحی شده در پرسشنامه‌ها فاکتورهای مؤثر بر زمین‌لغزش بر سطح معیار، شاخص و زیرشاخص به صورت زوجی (دوبه دو) مقایسه شدند، در این مرحله تعداد ۶ پرسشنامه طراحی و سپس نتایج با استفاده از نرم‌افزار *choise Expert* تجزیه و تحلیل شد.

۳: گام سوم: نقشه‌سازی معیارها، شاخص‌ها و

زیرشاخص‌های مؤثر در زمین‌لغزش

در این گام با استفاده از اطلاعات به دست آمده از نقشه‌های پایه و همچنین داده‌های اقلیمی و داده‌های مربوط به هیدرولوژی منطقه، معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های هدف، نقشه‌سازی شد. هر یک از این نقشه‌ها تلفیقی از داده‌های فوق و یا مستخرج شده از این داده‌ها می‌باشد.

۲,۲. روش تحقیق

۱,۲,۲. منابع مورد استفاده در این مطالعه

الف) توپوگرافی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی.

ب) نقشه واحدهای زمین‌شناسی مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی.

ج) نقشه خاکشناسی منطقه مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی.

د) نقشه کاربری اراضی مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی.

و) نقشه منابع داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی.

ز) نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل:

choise Andes, Expert Gis, IDRISI Arc

ابتدا داده‌های مورد استفاده در این مطالعه که شامل نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه واحدهای زمین‌شناسی مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، نقشه خاکشناسی منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ از اداره منابع طبیعی و سازمان زمین‌شناسی تهیه شده؛ سپس در محیط نرم‌افزارهای *Arc Gis, IDRISI Andes, Expert choise* مورد استفاده قرار گرفتند. برای انجام تحقیق بر اساس روش F-AHP پرسشنامه‌ای جهت قضاوت کارشناسان طراحی شد. در این پرسشنامه عوامل مؤثر در لغزش در حوزه مورد نظر به صورت معیارها و شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها گروه‌بندی شدند (جدول ۳-۱).

۲,۲,۲. گام‌های اجرایی تحقیق

در ابتدا معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زمین‌لغزش در این مطالعه شناسایی شد در مرحله بعدی معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها اولویت‌بندی و وزن‌دهی شدند سپس معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در محیط GIS به صورت نقشه تصویرسازی شدند و بعد

جدول ۱. هدف، معیارها، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر در زمین‌لغزش

| هدف | معیار | شاخص | زیرشاخص |
|----------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| ویژگی‌های زمین | | سنگ‌شناسی | مارن |
| | | | سنگ آهک |
| | | میزان املاح | رسوبات کواترنری (میندل-وورم) |
| | | | کنگلوмера |
| توپوگرافی | | شیب | ۲۰-۳۰ درصد |
| | | | ۲۱-۳۱ درصد |
| | | | ۳۱-۴۰ درصد |
| | | جهت | بیش از ۴۰ درصد |
| | | | شمال |
| | | | شرق |
| | | | جنوب |
| | | ارتفاع | غرب |
| | | | ۱۰۰۰ - ۶۵۵ |
| | | | ۱۳۰۰ - ۱۰۰۰ |
| ویژگی‌های اقلیمی | بارش (منظور برف و باران) | ۱۷۰۰ - ۱۳۰۰ | |
| | | بیشتر از ۱۷۰۰ | |
| | | ۴۵۰ - ۴۰۰ | |
| | | ۵۰۰ - ۴۵۰ | |
| کاربری | | کاربری | بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر |
| | | | جنگل |
| | | | مرتع |
| | | نوع و تراکم پوشش گیاهی | کشاوری-باغ |
| | | | مسکونی |
| | | | ۲۰ - ۰ |
| فاصله از گسل | | | ۴۰ - ۲۰ |
| | | | ۶۰ - ۴۰ |
| | | | بیشتر از ۶۰ درصد |
| | | | ۲۰۰ - ۰ |
| فاصله از رودخانه | | | ۱۰۰۰ - ۲۰۰ |
| | | | ۱۵۰۰ - ۱۰۰۰ |
| | | | بیش از ۱۵۰۰ |
| | | | ۵۰ - ۰ |
| بافت سنگ | | | ۱۵۰ - ۵۰ |
| | | | ۲۵۰ - ۱۵۰ |
| | | | بیشتر از ۲۵۰ متر |
| | | | سبک |
| ویژگی‌های عوامل تشدیدکننده | | | متوسط |
| | | | نیمه سنگین |
| | | | سنگین |

پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر خطر زمین‌لغزش

جدول ۲. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص سنگ‌شناسی

| سنگ شناسی | سنگ آهک | مارن | رسوبات کواترنر | کنگلومرا | اهمیت نسبی |
|----------------|---------|------|----------------|----------|------------|
| سنگ آهک | | ۳ | ۵ | ۷ | ۰/۵۳ |
| مارن | | | ۲ | ۴ | ۰/۲۷ |
| رسوبات کواترنر | | | | ۲ | ۰/۱۲ |
| کنگلومرا | | | | | ۰/۰۸ |

جدول ۳. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص شیب

| شیب | بیشتر از ۳۰ | ۳۰-۲۱ | ۲۰-۱۱ | ۱۰-۰ | اهمیت نسبی |
|------------------|-------------|-------|-------|------|------------|
| بیشتر از ۳۰ درصد | | ۳ | ۵ | ۷ | ۰/۶ |
| ۳۰-۲۱ درصد | | | ۳ | ۵ | ۰/۲۵ |
| ۲۰-۱۱ درصد | | | | ۳ | ۰/۱ |
| ۱۰-۰ درصد | | | | | ۰/۰۵ |

جدول ۴. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص جهت جغرافیایی

| جهت جغرافیایی | شمالی | شرقی | غربی | جنوبی | اهمیت نسبی |
|---------------|-------|------|------|-------|------------|
| شمالی | | ۲ | ۳ | ۴ | ۰/۴ |
| شرقی | | | ۲ | ۳ | ۰/۳ |
| غربی | | | | ۲ | ۰/۲ |
| جنوبی | | | | | ۰/۱ |

جدول ۵. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص ارتفاع از سطح دریا

| ارتفاع | بیشتر از ۱۷۰۰ | ۱۷۰۰-۱۳۰۱ | ۱۳۰۰-۱۰۰۱ | ۱۰۰۰-۶۵۵ | اهمیت نسبی |
|---------------|---------------|-----------|-----------|----------|------------|
| بیشتر از ۱۷۰۰ | | ۵ | ۷ | ۹ | ۰/۷ |
| ۱۷۰۰-۱۳۰۱ | | | ۴ | ۷ | ۰/۲ |
| ۱۳۰۰-۱۰۰۱ | | | | ۳ | ۰/۰۷ |
| ۱۰۰۰-۶۵۵ | | | | | ۰/۰۳ |

جدول ۶. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص بارش

| بارش | بیشتر از ۶۰۰ | ۶۰۰-۵۰۱ | ۵۰۰-۴۵۱ | ۵۰۰-۴۰۰ | اهمیت نسبی |
|--------------|--------------|---------|---------|---------|------------|
| بیشتر از ۶۰۰ | | ۴ | ۵ | ۷ | ۰/۵ |
| ۶۰۰-۵۰۱ | | | ۳ | ۵ | ۰/۲۵ |
| ۵۰۰-۴۵۱ | | | | ۳ | ۰/۱۵ |
| ۴۵۱-۴۰۰ | | | | | ۰/۱ |

جدول ۷. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص کاربری

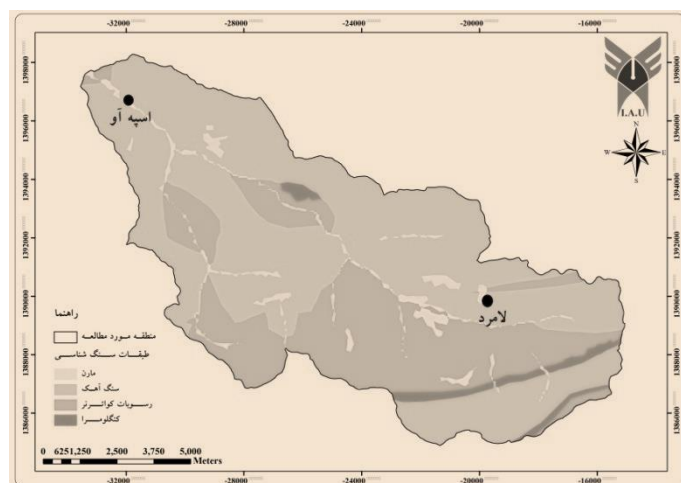
| کاربری | مسکونی | کشاورزی | مرتع | جنگل | اهمیت نسبی |
|---------|--------|---------|------|------|------------|
| مسکونی | | ۲ | ۳ | ۵ | ۰/۴ |
| کشاورزی | | | ۲ | ۴ | ۰/۳ |
| مرتع | | | | ۲ | ۰/۲ |
| جنگل | | | | | ۰/۱ |

جدول ۸. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص فاصله از گسل

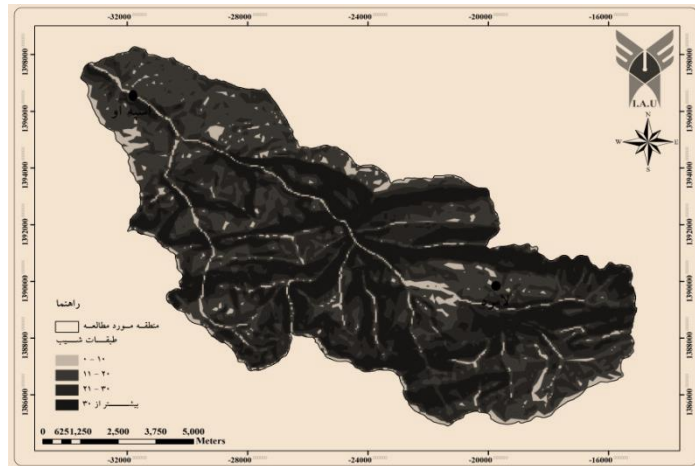
| فاصله از گسل | ۲۰۰-۰ | ۱۰۰۰-۲۰۱ | ۱۵۰۰-۱۰۰۱ | بیشتر از ۱۵۰۰ متر | اهمیت نسبی |
|-------------------|-------|----------|-----------|-------------------|------------|
| ۲۰۰-۰ | | ۵ | ۷ | ۹ | ۰/۷ |
| ۱۰۰۰-۲۰۱ | | | ۵ | ۷ | ۰/۲ |
| ۱۵۰۰-۱۰۰۱ | | | | ۵ | ۰/۰۸ |
| بیشتر از ۱۵۰۰ متر | | | | | ۰/۰۲ |

جدول ۹. مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص فاصله از رودخانه

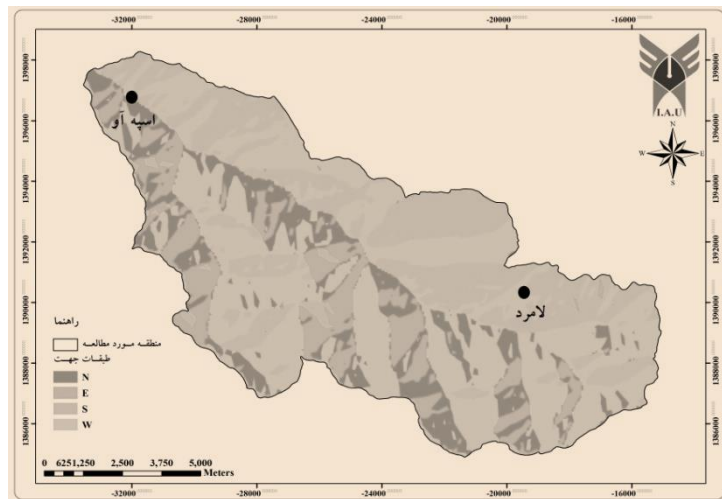
| فاصله از رودخانه | ۵۰-۰ | ۱۵۰-۵۱ | ۲۵۰-۱۵۰ | بیشتر از ۲۵۰ متر | اهمیت نسبی |
|------------------|------|--------|---------|------------------|------------|
| ۵۰-۰ | | ۴ | ۶ | ۸ | ۰/۵ |
| ۱۵۰-۵۱ | | | ۴ | ۶ | ۰/۲۵ |
| ۲۵۰-۱۵۱ | | | | ۴ | ۰/۱۵ |
| بیشتر از ۲۵۰ متر | | | | | ۰/۱ |



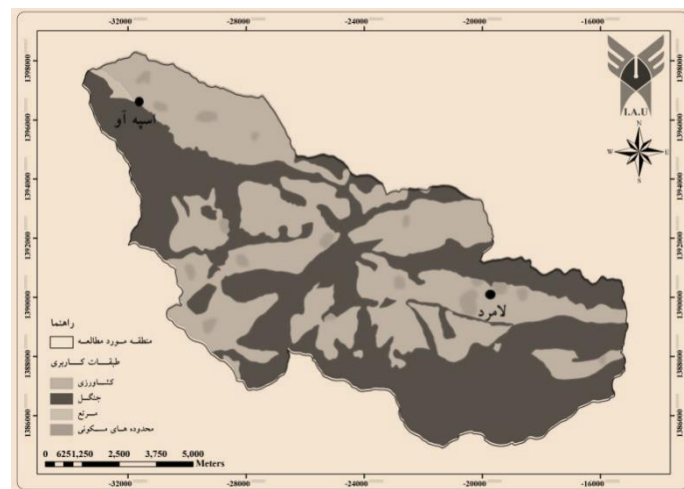
شکل ۳. نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه



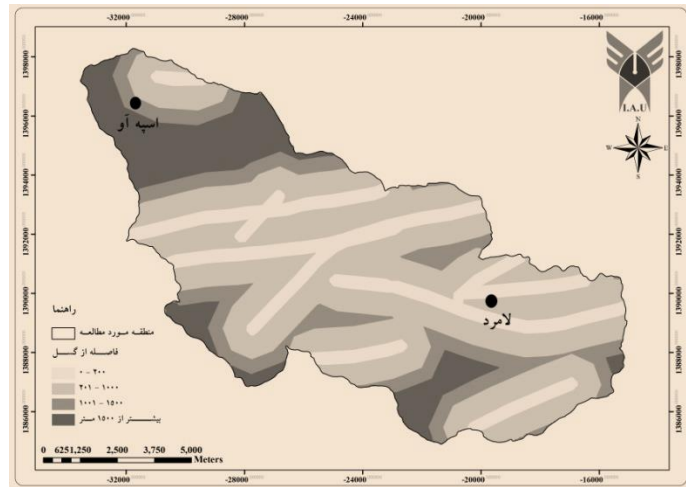
شکل ۴. نقشه طبقات شیب در منطقه مورد مطالعه



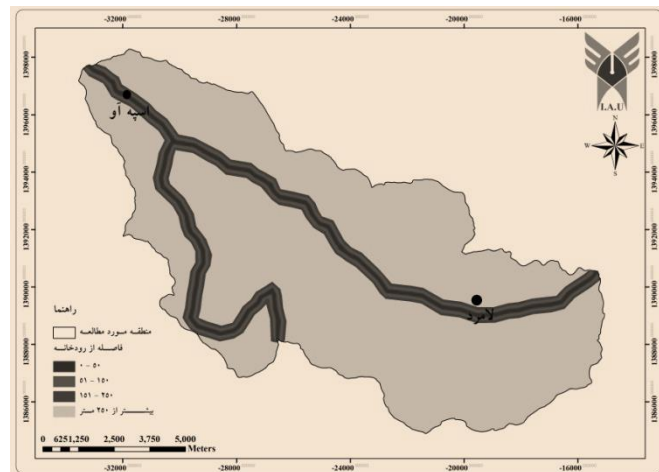
شکل ۵. نقشه طبقات جهت در منطقه مورد مطالعه



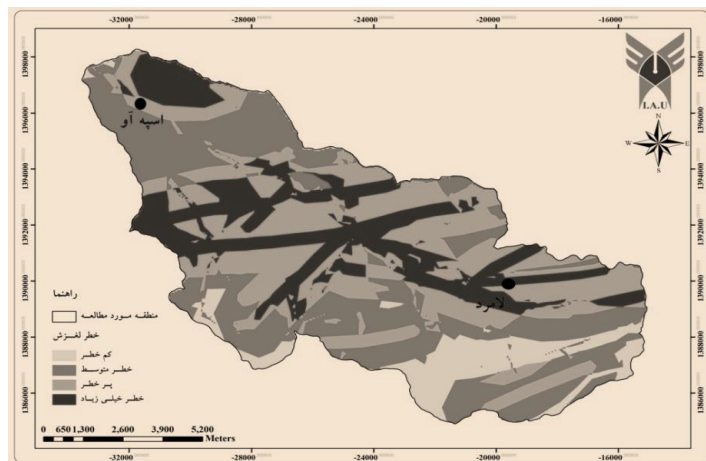
شکل ۶. نقشه طبقات کاربری در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. نقشه طبقات فاصله از گسل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه طبقات فاصله از رودخانه در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹. نقشه طبقات خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه

۴: گام چهارم: استاندارد و بی‌مقیاس سازی

نقشه‌های زیر شاخص‌های شناسایی شده برای این منظور از توابع عضویت فازی استفاده شد. در منطق فازی میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه با مقداری در بازه صفر (عدم عضویت کامل) تا یک (عضویت کامل) تعریف می‌شود. در این تحقیق در مدل‌های فازی به کار گرفته شده به هریک از پیکسل‌ها در هر یک از نقشه‌های زیرشاخص‌ها مقداری بین ۰-۱ اختصاص داده شد که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه زیرشاخص مربوط به خطر زمین‌لغزش می‌باشد و اعداد بزرگتر بیانگر میزان خطر بیشتر است.

جدول تابع عضویت یک جدول استاندارد شده بوده و عوامل مؤثر در لغزش براساس خصوصیت ذاتی که دارند به صورت روند افزایشی، کاهش، گسسته و یا پیوسته طبق جدول استاندارد بیان شده‌اند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات و تحقیقات انجام شده پیرامون زمین‌لغزش، به صورت گزارش از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و بررسی‌های موردی و با یک مدل یا روش صورت گرفته است. البته حدود ۸ روش از روش‌ها و مدل‌های شناخته‌شده در زمینه زمین‌لغزش در حوزه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است و این روش‌ها و مدل‌ها دارای نقاط قوت و ضعف هستند اما روش ترکیبی AHP در محیط نرم افزار GIS نسبت به سایر مدل‌های واسنجی شده نتایج مناسب‌تری در اختیار می‌گذارد که در این تحقیق روش فازی نیز در ترکیب آن مورد استفاده قرار گرفته است (یعنی مشارکت F-AHP در محیط GIS). در طی این تحقیق جهت شناخت عوامل مؤثر در لغزش‌های صورت گرفته در حوزه نکارود به وسیله نرم‌افزار GIS اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوزه نکارود گردید. در این میان با مطالعه در حوزه مورد نظر بعد از وزن‌دهی عوامل

مؤثر در وقوع زمین‌لغزش (که این عوامل به صورت معیار، شاخص و زیرشاخص تقسیم بندی شد)، در محیط GIS و مقایسه زوجی با استفاده از روش F-AHP، نتایج زیر حاصل شد: در مقایسه زوجی زیرشاخص‌های شاخص سنگ‌شناسی بیشترین وزن، مربوط به زیرشاخص سنگ آهک می‌باشد و از آنجایی که در شاخص سنگ‌شناسی زیرشاخص سنگ آهک دارای وزن بیشتری شد و چون سنگ آهک دچار لغزش نمی‌شود، این به نوبه خود خطر لغزش را کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه زوجی بین زیرشاخص‌های شاخص شیب نشان داد بیشترین وزن مربوط به زیرشاخص بیش از ۳۰٪ است در نتیجه این زیرشاخص با گرفتن وزن بیشتر؛ به علت به دنبال داشتن ناپایداری دامنه‌ها، خطر لغزش در منطقه را افزایش داده است. به ترتیب زیرشاخص ۰-۲۰۰ متر در شاخص فاصله از گسل، زیرشاخص ۰-۵۰ متر در شاخص فاصله از رودخانه، زیرشاخص کاربری مسکونی در شاخص کاربری، زیرشاخص بیش از ۱۷۰۰ متر در شاخص ارتفاع از سطح دریا، زیرشاخص بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در شاخص بارندگی در بین گروه‌هایشان از وزن بیشتری برخوردار شدند که این امر خطر زمین‌لغزش را افزایش می‌دهد. براساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمده، مناطق مختلف حوزه نکارود از لحاظ میزان ریسک خطرپذیری به چهار پهنه کم‌خطر، خطر متوسط، پرخطر و خطر خیلی زیاد استخراج و شناسایی گردیدند. بخش اعظم قسمت‌های مرکزی حوزه مورد نظر مستعد لغزش‌های خیلی زیاد و پرخطر هستند. عوامل مؤثر در قسمت‌های مرکزی که سبب شده است این ناحیه از حوزه مورد مطالعه دارای لغزش‌های خیلی زیاد و پرخطر باشد شامل تمرکز شیب بالای ۳۰ درصد، کاربری از نوع کشاورزی و وجود گسل در قسمت مرکزی حوزه است و بقیه نقاط نیز دارای خطر متوسط می‌باشند. بخش خیلی جزئی از حوزه آبخیز دارای زمین‌لغزش با پهنه کم‌خطر روبه‌رو است و باید گفت این آمار نگران‌کننده بوده و باید پیش‌گیری‌های لازم به عمل آید تا حالت بحرانی پیش نیاید.

جدول ۱۰. تابع عضویت

| شکل و نوع تابع گسسته | مطلوبیت | زیرشاخص | شاخص |
|----------------------|---------|----------------------|--------------------------|
| گسسته | ۰/۶ | مارن | سنگ‌شناسی |
| | ۰/۸ | سنگ آهک | |
| | ۰/۴ | رسوبات کواترنر | |
| | ۰/۲ | کنگلوмера | |
| گسسته | ۰/۹ | ۲۰-۰ | میزان املاح |
| | ۰/۷ | ۳۱-۲۱ | |
| | ۰/۴ | ۴۰-۳۱ | |
| | ۰/۲ | بیش از ۴۰ | |
| افزاینده | ۰/۱ | ۱۰-۰ | شیب |
| | ۰/۳ | ۲۰-۱۰ | |
| | ۰/۷ | ۳۰-۲۰ | |
| | ۰/۸ | بیشتر از ۳۰ | |
| گسسته | ۰/۶ | شمال | جهت |
| | ۰/۵ | شرق | |
| | ۰/۳ | جنوب | |
| | ۰/۴ | غرب | |
| افزاینده | ۰/۲ | ۱۰۰۰-۶۵۵ | ارتفاع |
| | ۰/۴ | ۱۳۰۰-۱۰۰۰ | |
| | ۰/۶ | ۱۷۰۰-۱۳۰۰ | |
| | ۰/۸ | بیشتر از ۱۷۰۰ | |
| افزاینده | ۰/۳ | ۴۵۰-۴۰۰ | بارش (منظور برف و باران) |
| | ۰/۴ | ۵۰۰-۴۵۰ | |
| | ۰/۶ | ۶۰۰-۵۰۰ | |
| | ۰/۸ | بیشتر از ۶۰۰ میلیمتر | |
| گسسته | ۰/۲ | جنگل | کاربری |
| | ۰/۵ | مرتع | |
| | ۰/۶ | کشاورزی - باغ | |
| | ۰/۷ | مسکونی | |
| کاهنده | ۰/۸ | ۲۰-۰ | نوع و تراکم پوشش گیاهی |
| | ۰/۶ | ۴۰-۲۰ | |
| | ۰/۴ | ۶۰-۴۰ | |
| | ۰/۲ | بیشتر از ۶۰ درصد | |
| کاهنده | ۰/۹ | ۲۰۰-۰ | فاصله از گسل |
| | ۰/۷ | ۱۰۰۰-۲۰۰ | |
| | ۰/۵ | ۱۵۰۰-۱۰۰۰ | |
| | ۰/۲ | بیش از ۱۵۰۰ | |
| کاهنده | ۰/۸ | ۵۰-۰ | فاصله از رودخانه |
| | ۰/۷ | ۱۵۰-۵۰ | |
| | ۰/۶ | ۲۵۰-۱۵۰ | |
| | ۰/۴ | بیشتر از ۲۵۰ متر | |
| گسسته | ۰/۹ | سبک | بافت سنگ |
| | ۰/۷ | متوسط | |
| | ۰/۵ | نیمه سنگین | |
| | ۰/۳ | سنگین | |

شبکه جاده از نقشه‌های فوق استفاده شود و نقاط با ریسک بالا اصلاً برای امور مهم این‌چنینی استفاده نشوند.

پیشنهادها

- دیده شده برای کنترل لغزش از سازه استفاده می‌کنند توصیه می‌شود به هیچ‌وجه از سازه استفاده نشود چون موجب تخریب سازه و خسارت بیشتر می‌شود.
- استفاده از روش‌های دیگر نظیر روش‌های ANP و TOPSIS در پهنه‌بندی حوزه مورد نظر و سپس نتایج این روش‌ها با هم مقایسه شود تا بهترین نتایج حاصل گردد.

از این رو توصیه می‌شود که از افزایش تغییر کاربری اراضی از شکل جنگل و مرتع به سمت مسکونی جداً خودداری شده، از فعال کردن نقاط حساس به لغزش از طریق ساخت و ساز و یا رفت و آمد با وسایل سنگین که این امر را تشدید می‌کند پرهیز شود. در نواحی که دارای شیب بیش از ۳۰ درصد به همراه سازندهای حساس است از کاشت درخت جهت تثبیت دامنه‌ها استفاده شود. در مناطق حساس که رطوبت زیاد داشته و مستعد لغزش می‌باشد با ایجاد زهکش، آب از منطقه خارج شود. یکی از روش‌های مهم در مناطق حساس استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان مثال توسکا به‌منظور کاهش رطوبت و جلوگیری از لغزش است. برای طراحی امور مهمی مانند

References

- [1]. Ahmadi, H., Esmaili, A. Faiznia, SA. and Shariatjafari, M. (2003). Mass movement hazard zonation using MR & AHP methods. Magazine of Natural Resource Iran, 56(4), 323-336.
- [2]. Ashghali Farahani, A. (2002). Natural slopes instability hazard assessment in Rudbar area using Fuzzy logic, M.Sc thesis. Tarbiat Moallem university, 141p. (In Persian)
- [3]. Boulurchi, M., Ansari, F. (1999). Stone avalanche, A case study in Abika rusta of Charmahalebakhtiyari, 1th conference geomatic Engineering & Environmenting Iran. Tarbiat Moallem University, 59-60.
- [4]. Fan pelt, Fuzzy Logic Applied to Daily Life. Seattle, WA.
- [5]. Jinfeng. Yue, (2002), "Generating Ranking Groups in Analytical Hierarchy Process", Precision Sciences Institute, Annual Meeting Proceedings.
- [6]. Shariatjafari, M. (1996). Landslid "the method for stable Natural slop ", Saze press.
- [7]. Shariatjafari, M. (1966). Landslid "the method for stable Natural slop ", Saze press.
- [8]. Yalcin, A., 2008- GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations" CATENA Volume 72 Pages 1-12.

