

پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی

لقمان جمالی^۱، غلامرضا فلاحي^{۲*}

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی - دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
loghman.jamalii@gmail.com

^۲استادیار آموزشکده نقشه برداری - سازمان نقشه برداری کشور
fallahi-gh@ncc.org.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۵، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۵)

چکیده

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش از طریق پهنه بندی قابلیت خطر با مدل های آماری مناسب، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر زمین لغزش است. حوضه سیمینه رود از زیر حوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی آن یکی از مناطق مستعد کشور برای وقوع زمین لغزش و سایر پدیده های مرتبط با لغزش دامنه ها می باشد.

هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود می باشد و برای انجام آن از تلفیق مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل آماری وزن های شاهد استفاده گردیده است. بطور کلی ۹ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده زمین لغزش در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. لایه های مکانی مربوط به عوامل با جمع آوری، پردازش و طبقه بندی داده های مکانی ایجاد گردیدند. لایه وزن طبقات هر لایه توصیف کننده عامل موثر زمین لغزش با استفاده از مدلسازی وزن های شاهد تولید شد. وزن اهمیت هر لایه با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد. نقشه حساسیت زمین لغزش با همپوشانی لایه های وزن طبقات و اعمال وزن اهمیت هر لایه ایجاد و طبقه بندی برای حوضه سیمینه رود تولید گردید.

محاسبه میزان موفقیت نقشه پهنه بندی نشان داد که حدود ۶۰٪ زمین لغزش مورد استفاده در تهیه نقشه در طبقه خطر زیاد نقشه پهنه بندی قرار گرفته است. تراکم زمین لغزش در این طبقه حدود ۳۷٪ می باشد که در مقایسه با طبقه خطر متوسط (۸،۸٪) و طبقه خطر کم (۰،۸۳٪) خیلی زیاد می باشد. میزان پیش بینی نقشه نیز نشان می دهد که حدود ۵۶٪ زمین لغزش های مورد استفاده در ارزیابی نتایج تحقیق در طبقه خطر زیاد قرار گرفته اند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، تحلیل آماری دو متغیره، تحلیل سلسله مراتبی، حوضه آبریز، سیمینه رود، سامانه اطلاعات مکانی، مدلسازی وزن های شاهد

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

زمین لغزش^۱ نوعی حرکت دامنه ای است که در آن مواد در امتداد یک سطح گسیختگی با یک زون گسیختگی مشخص روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می کنند. زمین لغزش از جمله سوانح طبیعی است که همه ساله موجب بروز خسارت های فراوان مالی و جانی در سراسر جهان می شود. با افزایش جمعیت و گسترش نواحی شهری به مناطق پرشیب و دامنه ای خطر حرکات دامنه ای به خصوص زمین لغزش افزایش پیدا کرده است. زمین لغزش ها به عنوان دومین مخاطره طبیعی از طرف سازمان برنامه ریزی و توسعه سازمان ملل معرفی شده است.

تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و طبقه بندی آن به مقادیر رتبه بندی خطر، پهنه بندی خطر زمین لغزش نامیده می شود. پدیده حرکت توده ای تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که کمی کردن بعضی از آنها غیرممکن است، بنابراین نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش، میزان حساسیت وقوع زمین لغزش را در پهنه های مختلف بصورت کیفی و با مقیاس اندازه گیری مرتبه ای نمایش می دهند.

منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، حوضه سیمینه رود از زیر حوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که در جنوب ارومیه قرار گرفته و به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای طبیعی آن یکی از مناطق مستعد کشور برای وقوع زمین لغزش و سایر پدیده های مرتبط با لغزش دامنه ها می باشد.

در این پژوهش، پس از بررسی عوامل موثر در زمین لغزش از فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۲ برای بدست آوردن اهمیت عوامل موثر و برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش در گستره جغرافیایی حوضه آبخیز سیمینه رود به ازای هر عامل از مدل آماری وزن های شاهد استفاده گردیده است. مدل سازی ها، پردازشها و تحلیل های مورد لزوم برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز سیمینه رود در بسته نرم افزاری ArcGIS که یک نرم افزار سیستم اطلاعات مکانی است انجام شد.

نتایج حاصل نشان می دهد که تراکم زمین لغزش در طبقه خطر زیاد زمین لغزش بسیار بیشتر از طبقات خطر متوسط و کم می باشد.

پس از مقدمه در بخش دوم مقاله تحقیقاتی که در این خصوص انجام گرفته مرور می شود. بخش سوم مبانی نظری در مورد شناسایی لایه های توصیفی، مدلسازی وزنهای شاهد، همپوشانی لایه ها و روش تحلیل سلسله مراتبی را توضیح می دهد. بخش چهارم شرح روش تحقیق می باشد و بخش پنجم تحت عنوان پیاده سازی پس از معرفی منطقه مورد مطالعه، در باره مورد جمع آوری، آماده سازی و انجام مدلسازی و پردازش داده ها و محاسبه وزن اهمیت لایه ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و همپوشانی لایه ها توضیح می دهد. در بخش ششم نتایج بدست آمده از تحقیق با زمین لغزش های رخ داده در حوضه مقایسه و ارزیابی می گردد.

۲- پیشینه تحقیق

محققین مختلف برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مناطق گوناگون بسته به اهمیت و تأثیر عوامل مختلف پژوهشهایی را انجام داده اند. در زیر برخی از این تحقیقات بطور مختصر توضیح داده می شوند.

در مطالعه ای در بخش آراکلی استان ترازون کشور ترکیه، کیفیت عوامل و اثرهای آنها در تولید نقشه های حساسیت زمین لغزش با استفاده از روشهای Chi-square و وزن دهی Fisher مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین از روش AHP به عنوان روش بنچ مارک برای اعتبار سنجی و مقایسه عملکرد وزن های عامل های زمین لغزش استفاده گردید [۱].

در تحقیق دیگری متدولوژی استفاده شده که بر اساس آشکارسازی اتوماتیک تعامل بوسیله روش Chi-square می باشد. این روش یک روش چند متغیره آماری با ظرفیت طبقه بندی اتوماتیک برای تحلیل تعداد زیادی عاملهای شرطی زمین لغزش است. در شهر کوالامپور مالزی و منطقه اطراف آن از این متدولوژی بجای روشهای غیر اتوماتیک طبقه بندی برای داده های عاملهای شرطی زمین لغزش در سامانه اطلاعات مکانی استفاده شده است. هدف بکارگیری آن انجام بهترین طبقه بندی منطبق با هر یک از عوامل زمین لغزش بوده است [۲].

در تحقیقی در مورد زمین لغزشهای رخ داده در لانتاوی هنگ کنگ از نقشه های رقومی و عکس های هوایی منطقه مورد مطالعه موجود در پایگاههای داده سامانه های

^۱ landslide

^۲ Analytic Hierarchy Process (AHP)

پتانسیل زمین لغزش جهت تهیه نقشه پهنه بندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. [۸]

در تحقیقی نیز برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نوژیان عوامل موثر لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارندگی، ارتفاع، فاصله از آبراهه اصلی و فاصله از جاده شناسایی گردیدند. این عوامل دو به دو با هم مقایسه گردیده و وزن نسبی آنها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی با نرخ ناسازگاری ۰,۰۸ بدست آمد [۹].

در پژوهشی دیگر برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز زیارت گرگان از روشهای آماری رگرسیون لجستیک و مدل LNR^۲ استفاده شد. مدل برتر بوسیله شاخص های جمع کیفیتها، دقت نتایج پیش بینی شده، ROC^۳ و آزمون Chi-square انتخاب شده و مبنای نقشه خسارت قرار گرفت [۱۰].

۳- مبنای نظری

۳-۱- شناسایی لایه های توصیفی

برای ایجاد نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش نیاز به فهرست نمودن عواملی می باشد که در وقوع زمین لغزش تاثیر دارند. این فهرست معمولاً از طریق خبرگان مرتبط با موضوع شناسایی می شوند.

برای یکبار که طبقه بندیهای مختلف داده تعیین شده و داده ها برای منطقه مورد مطالعه جمع آوری گردیدند، می توان با استفاده از روشهای آماری نقشه حساسیت زمین لغزش^۴ یا بعبارت دیگر نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را بدست آورد.

در این تحقیق روش تحلیلی دو متغیره آماری بنام مدل سازی وزن شاهد برای بدست آوردن نقشه حساسیت زمین لغزش استفاده شده است.

۳-۲- مدلسازی وزنهای شاهد

استفاده از مدلسازی وزن های شاهد^۵ برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش یک تحلیل دو متغیره آماری می باشد. در این روش مقادیر حساسیت زمین لغزش برای هر

اطلاعات مکانی^۱ برای توصیف ویژگیهای فیزیکی زمین لغزش و تحلیل های آماری ارتباط تکرار زمین لغزش با ویژگیهای فیزیکی استفاده گردید. مدل رگرسیون چند گانه لجستیک برای پیش بینی ناپایداری شیب نشان داد که شیب، لیتولوژی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری زمین از نظر آماری برای ناپایداری شیب مهم هستند [۳].

در تحقیق دیگر تاثیر جهت شیب بر روی توزیع زمین لغزش ها در توسکانی ایتالیا با استفاده از سیاهه زمین لغزش سال ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار گرفت. ضریب Chi-square برای آزمون درجه وابستگی فضایی بین هر متغیر پیش بینی و نوع لغزش استفاده شد. علاوه بر این، آزمون V کرامر برای کمی نمودن قدرت درجه وابستگی استفاده شد. بعد، یک تحلیل مشروط برای تمامی ترکیبات ممکن که بین جهت شیب و دیگر عوامل مستعد کننده زمین لغزش واقع شده، بکار رفت [۴].

در ایران نیز تحقیقات مختلفی در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش صورت گرفته است. در تحقیقی کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز فریزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از پهنه بندی منطقه نشان داد که روش بکار رفته برای پهنه بندی ناپایداری های دامنه ای در مناطق کوهستانی کارآمد است [۵].

برای بخشی از استان گلستان تحقیق پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین انجام شد. در این تحقیق با استفاده از پایگاه داده زمین لغزش کشور نقشه پراکنش زمین لغزشی منطقه تهیه گردید. با استفاده از تئوری احتمالات بیزین ارتباط هر یک از عوامل با نقاط لغزشی موجود و وزن طبقات هر عامل تعیین شد [۶].

در پژوهشی برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز چلاو عوامل موثر در وقوع زمین لغزش های حوضه بررسی شده و عوامل موثر زمین شناسی، خاک شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع شناسایی شدند. از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن عوامل مختلف استفاده گردید. نتایج مشخص کرد که اثر زمین شناسی در منطقه از بقیه عوامل بیشتر می باشد. [۷]

در تحقیقی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش های شهرستان بیجار در استان کردستان شناسایی شده و مقایسه زوجی عوامل مؤثر، محاسبه وزن هر یک از آنها و ارزیابی مناطق دارای

^۲ Landslide Numerical Risk Factor (LNR^F)

^۳ Receiver Operating Characteristic (ROC)

^۴ Landslide susceptibility mapping

^۵ Weights of evidence

^۱ Geospatial Information System (GIS)

$$P\{S|B\} = \frac{P\{S \cap B\}}{P\{B\}} = \frac{N_{pix}\{S \cap B\}}{N_{pix}\{B\}} \quad (2)$$

که در آن $P\{S|B\}$ احتمال شرطی وقوع زمین لغزش در صورت وجود عامل B ، $P\{S \cap B\}$ احتمال وقوع زمین لغزش در مکان B می باشد. بعبارت دیگر احتمال شرطی رخ داد زمین لغزش با فرض وجود عامل معین تعداد پیکسلهای دارای رخ داد زمین لغزش در مکان عامل معین تقسیم بر تعداد کل پیکسلها در آن عامل می باشد.

در این تحقیق برای محاسبه غیر مستقیم ارزیابی حساسیت زمین لغزش هر پیکسل از روش وزنه‌های شاهد استفاده شده است. دو وزن مثبت (W_i^+) و منفی (W_i^-) به هر پیکسل در لایه مکانی نشان دهنده عامل موثر در این روش اختصاص می یابد که با رابطه ۳ و رابطه ۴ تعیین می گردند [۱۱].

$$W_i^+ = \ln \frac{P\{B_i|S\}}{P\{B_i|\bar{S}\}} \quad (3)$$

$$W_i^- = \ln \frac{P\{\bar{B}_i|S\}}{P\{\bar{B}_i|\bar{S}\}} \quad (4)$$

که در این روابط B_i زمین لغزش بالقوه با شرط حضور عامل، \bar{B}_i زمین لغزش بالقوه با شرط عدم حضور عامل، S حضور زمین لغزش و \bar{S} عدم حضور زمین لغزش می باشد.

جدول ۱- چهار ترکیب ممکن هر عامل با زمین لغزش

		B: عوامل موثر در زمین لغزش	
		حضور	عدم حضور
S: زمین لغزش	حضور	N_{pix1}	N_{pix2}
	عدم حضور	N_{pix3}	N_{pix4}

برای هر عامل چهار ترکیب ممکن وجود دارد که در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس روابط ۳ و ۴ وزن های شاهد مثبت و منفی بر حسب تعداد پیکسلها می تواند به ترتیب با روابط ۵ و ۶ بیان گردیدند:

$$W_i^+ = \ln \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad (5)$$

$$W_i^- = \ln \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad (6)$$

مکان در لایه مربوط به عامل موثر زمین لغزش با استفاده از فرایندهای آماری تعیین می گردد. بعبارت دیگر در این حالت از فنون داده محور^۱ برای تعیین میزان استعداد مکانها برای رخ داد زمین لغزش استفاده می گردد. در مدلسازی آماری زمین لغزش ها این قاعده استفاده می گردد که "گذشته و حال کلیدی برای آینده هستند". یعنی اینکه شرایطی را در نظر می گیریم که تحت آن شرایط زمین لغزش هایی در گذشته رخ داده اند و شرایط بحرانی برای پیش بینی رخ داد زمین لغزش های ممکن را در مکانهایی استفاده می کنیم که همان شرایط غالب می باشند، اما هنوز زمین لغزشی رخ نداده است.

برای انجام اینکار ابتدا وضعیتی را در نظر می گیریم که بجز نقشه زمین لغزش های موجود منطقه، داده اضافی دیگری وجود ندارد. در این حالت احتمال رخ داد زمین لغزش در یک پیکسل بصورت اتفاقی انتخاب شده از منطقه مورد مطالعه را که احتمال مقدم یا پیشین^۲ نامیده می شود را بدست می آوریم. این احتمال پیشین همان تراکم زمین لغزش در کل منطقه مورد مطالعه یا بعبارت دیگر تعداد پیکسلهای دارای زمین لغزش به تعداد کل پیکسلها در منطقه مورد مطالعه می باشد (رابطه ۱).

$$P_{prior} = P\{S\} = \frac{N_{pix}(Slide)}{N_{pix}(Total)} \quad (1)$$

که در آن P_{prior} احتمال پیشین داشتن یک زمین لغزش، $N_{pix}(Slide)$ تعداد پیکسلهای دارای زمین لغزش و $N_{pix}(Total)$ تعداد کل پیکسلهایی است که منطقه مورد مطالعه را فرش می کنند.

لازم بذکر است که عواملی دیگری مثل شیب، فاصله از گسل و غیره در رخ داد زمین لغزش تاثیر دارند. بنابراین اطلاعات اضافی دیگری علاوه بر نقشه زمین لغزش های موجود منطقه وجود دارد. در این حالت باید احتمال رخ داد زمین لغزش در مکانی مثلا با شیب معین را در نظر گرفت که احتمال شرطی^۳ نامیده می شود. مثلا واضح است احتمال رخ داد زمین لغزش در یک شیب ۴۵ درجه بیشتر از رخ داد آن در یک زمین مسطح است. احتمال با فرض وجود یک شرط معین می تواند با رابطه ۲ بیان شود:

^۱ Data_driven
^۲ Prior probability
^۳ Conditional probability

می باشد. با تعیین این داده ها و بدست آوردن مقادیر مورد نیاز در روابط وزن ها، این وزنها را برای هر طبقه از لایه محاسبه نمود. از این وزنها مثبت و منفی می توان وزن کلی و ضریب کنتراست را برای هر طبقه لایه بر اساس رابطه ۷ و رابطه ۸ محاسبه نمود.

بنابراین به ازای هر عامل موثر در رخ داد زمین لغزش لایه ای مکانی وجود دارد که مقادیر وزنی وابسته به هر مکان این لایه نشاندهنده حساسیت به زمین لغزش در آن مکان با حضور عامل می باشد.

برای ایجاد نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش می توان لایه های دارای مقادیر حساسیت زمین لغزشی را با هم ترکیب نمود. برای ترکیب آنها می توان مقادیر حساسیت زمین لغزش در مکانهای یکسان را با هم جمع نمود. ترکیب مقدار حساسیت زمین لغزش مکان i در لایه l را S_{li} می نامیم. از طرف دیگر اهمیت هر عامل در تعیین مقدار حساسیت کلی زمین لغزش یک مکان متفاوت است. بنابراین مقدار حساسیت زمین لغزش هر مکان می تواند با استفاده از رابطه ترکیب خطی وزن دار ۹ بدست آید [۱۲]:

$$S_i = \sum_l w_l S_{li} \quad (9)$$

در رابطه فوق w_l وزن اهمیت برای لایه l می باشد که در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین می گردد. همانطوریکه رابطه ۱۰ نشان می دهد، اغلب وزن برای استفاده در رابطه فوق نرمالیزه می شود. یعنی:

$$\sum_l w_l = 1 \quad (10)$$

این روش ترکیب و همپوشانی لایه ها جمع وزن دار^۲ لایه ها نامیده می شود.

۳-۴- روش تحلیل سلسله مراتبی

اهمیت هریک از عوامل موثر در پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از وزن آن سنجیده می شود. یکی از روشهای تعیین وزن بوسیله شخص تصمیم گیرنده یا اهل فن انجام می گیرد. با توجه به اینکه وزنها اهمیت که اغلب از طریق بحث و رای گروه خبرگان تعیین می شوند با خطا همراه بوده بنابراین باید بدنبال یک رویکرد رسمی تری برای تعیین وزن اهمیت عوامل بود.

^۲ Weighted sum

وزن (W_i^+) نشان دهنده اهمیت حضور عامل برای رخ داد زمین لغزش است که در صورت مثبت بودن هرچه مقدار آن بیشتر باشد حضور عامل برای رخ داد زمین لغزش مناسب تر است. وزن (W_i^-) نشان دهنده اهمیت عدم حضور عامل برای رخ داد زمین لغزش است که در صورت مثبت بودن هرچه مقدار آن بیشتر باشد عدم حضور عامل برای رخ داد زمین لغزش مناسب تر است. در صورتی مقدار وزنها در حدود صفر باشد عامل رابطه ای با رخ داد زمین لغزش ندارد.

هر لایه شامل چندین طبقه است و حضور یک طبقه بطور ضمنی دلالت بر عدم حضور طبقات دیگر دارد. بنابراین برای بدست آوردن وزن کلی هر طبقه، وزن مثبت آن باید به وزن منفی طبقات دیگر در همان نقشه اضافه شود. رخ داد پدیده های مورد نظر مثل زمین لغزش در جهان واقعی به ندرت فقط به یک متغیر مکانی وابسته است. بنابراین وزن کلی استعداد رخ داد زمین لغزش برای هر طبقه از رابطه ۷ بدست می آید:

$$W_{class} = W^+ + W_{total}^- - W^- \quad (7)$$

بعلاوه برای کمی نمودن همبستگی مکانی بین یک طبقه لایه و رخ داد زمین لغزش ضریب کنتراست^۱ با رابطه ۸ تعریف می شود [۱۱]:

$$C_w = W^+ - W^- \quad (8)$$

ضریب کنتراست صفر نشاندهنده این است که الگوی زمین لغزش و طبقه لایه بطور تصادفی باهم همپوشانی داشته اند. مقادیر مثبت نشاندهنده همبستگی مثبت بین آنها و مقادیر منفی هم نشان دهنده وابستگی منفی بین آنها می باشد.

۳-۳- همپوشانی لایه ها

همانطوریکه قبلا اشاره شد با استفاده از مدلسازی وزن های شاهد می توان وزن های کلی را برای هر طبقه عامل های موثر زمین لغزش محاسبه نمود. برای انجام اینکار نیاز به تعیین تعداد کل پیکسلهای هر لایه، تعداد کل پیکسلهای زمین لغزشی هر لایه، تعداد کل پیکسلهای هر طبقه و تعداد کل پیکسلهای زمین لغزشی هر طبقه از لایه

^۱ Contrast factor

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}^k \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}}{[1 \dots 1] \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}^k \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}} \quad (11)$$

در رابطه فوق k از یک افزایش می یابد تا وقتی که اختلاف بدست آمده از یک پاسخ با پاسخ بعدی قابل چشم پوشی باشد. ممکن است تصمیم گیران و خبرگان در مورد مقادیر مقایسه مشخص شده توافق نداشته باشند. اما در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بررسی تعیین سازگاری ماتریس مقایسه با وزنهای محاسبه شده متداول می باشد. این نسبت سازگاری با محاسبات زیر بدست می آید. ابتدا شاخص سازگاری^۱ یا CI از رابطه ۱۲ بدست می آید:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (12)$$

در رابطه فوق n تعداد عوامل یا اهداف است و λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه می باشد. با استفاده از رابطه ماتریسی بردار و مقدار ویژه می توان λ_{max} را از رابطه ۱۳ بدست آورد:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (13)$$

در رابطه فوق w بردار یا ماتریس وزن و A نیز ماتریس مقایسه زوجی است. بنابراین از رابطه ۱۴ نیز می توان نسبت سازگاری^۲ یا CR را بدست آورد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (14)$$

نماد RI در رابطه فوق نشان دهنده شاخص سازگاری تصادفی^۳ است که با توجه به تعداد عوامل یا اهداف از جدول ۳ بدست می آید:

جدول ۳- شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵
RI	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۵۸	۰.۹۰	۱.۱۲
n	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۹

وقتی نسبت سازگاری کمتر از ۰.۱ باشد نتیجه قابل قبول می باشد. بنابراین با استفاده از این روش وزن هر لایه بدست می آید که نشان دهنده مقدار اهمیت لایه در تعیین شایستگی می باشد.

در این تحقیق به منظور تعیین اهمیت هر یک از عوامل موثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این روش ابتدا در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی در دانشگاه پیترزبورگ پیشنهاد شده است [۱۳]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از سه مرحله تشکیل یافته است. در مرحله اول تجزیه یک مسئله به سلسله مراتبی از عناصر است که این مرحله با شناسایی عوامل موثر در زمین لغزش تا حدود زیادی انجام شده است. فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم گیری (گزینه ها و معیارهای تصمیم گیری) را می توان در سطوح مختلف خلاصه کرد.

در مرحله دوم یک مقایسه زوجی از عناصر با مرتبه یکسان در سلسله مراتب انجام می شود. برای این منظور یک ماتریس مقایسه برای مجموعه اهداف یا عوامل ساخته می شود. برای هر زوج، اهمیت نسبی از مقایسه های فهرست شده در جدول ۲ گرفته می شود.

جدول ۲- مقایسه های ترتیبی با مقیاس مطلق

تعریف	مقدار عددی
کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۸ و ۶ و ۴ و ۲

همیشه به مقایسه برعکس دو عنصر مقدار معکوس اختصاص داده می شود. مثلاً اگر دو تا از عوامل موثر در زمین لغزش شیب زمین و کاربری زمین باشند و به شیب که با کاربری زمین مقایسه شده مقدار ۳ مطابق با جدول فوق داده شود که نشان دهنده اهمیت یا مطلوبیت یکسان است، عکس مقدار ۳ به مقایسه کاربری زمین با شیب اختصاص می یابد. باید توجه داشت که قطر اصلی ماتریس مقایسه زوجی یک است.

بعد از آنکه مقایسه ها با استفاده از جدول ۲ انجام گرفت، وزنهای اهمیت برای هر عامل می تواند از یک ماتریس مقایسه زوجی با محاسبه مقادیر بردار ویژه اصلی آن تولید گردد. این محاسبات می تواند با رابطه ۱۱ تقریب زده شود:

^۱ Consistency Index (CI)

^۲ Consistency Ratio (CR)

^۳ Random Consistency Index (RI)

۴- روش تحقیق

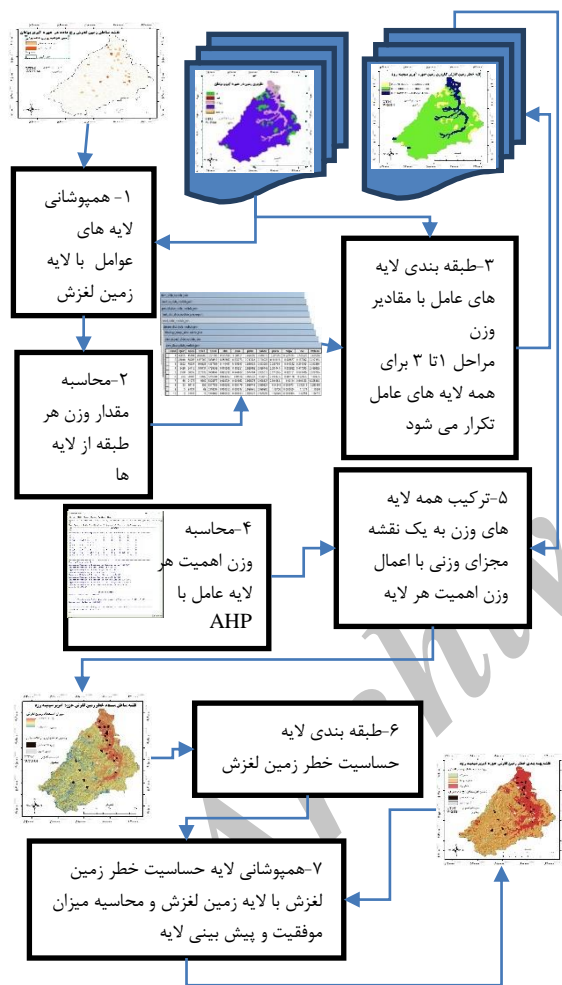
در این تحقیق برای پهنه بندی خطر زمین لغزش عوامل موثر در وقوع زمین لغزش منطقه، از پرسشنامه و مورفومتری زمین لغزش‌های موجود در سطح حوضه آبخیز همراه با کارهای صحرایی استفاده شد. این عوامل شناسایی شده عبارت‌اند از لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله تا گسل، ارتفاع، فاصله تا جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و بارندگی.

سپس زمین لغزش‌های رخ داده در سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه، شناسایی و جانمایی قرار گرفتند. از عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس مناسب و بازدیدهای صحرایی برای شناسایی زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته و تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها استفاده گردید و نقشه ای که در شکل ۱ نشان داده شده از پراکنش زمین لغزش‌های منطقه بدست آمد.

تعدادی از زمین لغزش‌های موجود به تصادف از بین کل زمین لغزش‌های موجود انتخاب و به منظور اعتبار سنجی نتایج تحقیق و برآورد میزان پیش بینی نقشه پهنه بندی زمین لغزش از لیست زمین لغزش‌های رخ داده برای تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش خارج گردیدند. این زمین لغزش‌ها نیز در نقشه شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

آماده سازی و پردازش‌هایی بر روی لایه‌های مکانی توصیف کننده عوامل موثر بر زمین لغزش مثل تولید شیب و جهت شیب از داده‌های ارتفاعی، تهیه نقشه‌های فاصله از گسلها، راهها و رودخانه‌ها انجام شد.

تبدیل شده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن اهمیت هر کدام از عوامل موثر بدست آمده و لایه‌های حساسیت زمین لغزش با نسبت وزن اهمیت هر کدام از آنها باهم ترکیب شده و نقشه حساسیت کلی زمین لغزش منطقه مورد مطالعه ایجاد گردید. همچنین نقشه حساسیت خطر زمین لغزش به سه کلاس خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد طبقه بندی شد. دیاگرام شکل ۲ جریان انجام فعالیت‌ها از لایه‌های طبقه بندی شده عوامل موثر زمین لغزش تا ایجاد نقشه طبقه بندی خطر زمین لغزش را نشان می‌دهد.

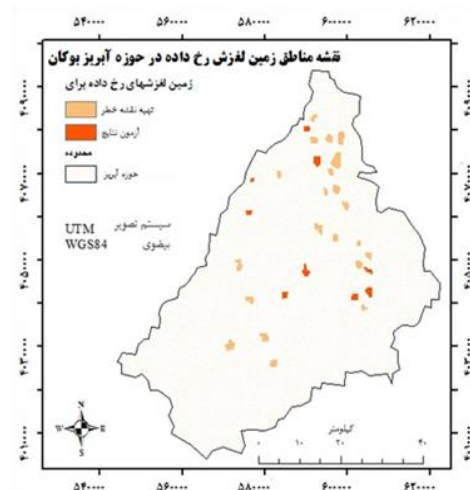


شکل ۲- دیاگرام جریان فعالیت برای انجام تحلیل آماری دو متغیره

۵- پیاده سازی

۵-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی حوضه رودخانه سیمینه رود از زیر حوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد این محدوده از کوهستان‌های منطقه مهاباد، سقز، بانه و



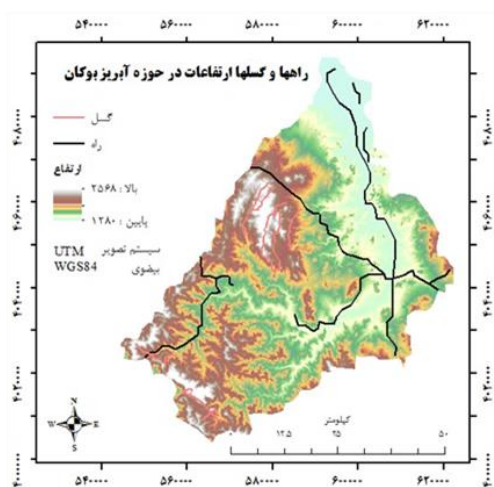
شکل ۱- نقشه پراکنش زمین لغزش در حوضه سیمینه رود

این لایه‌های مکانی طبقه بندی شده و با استفاده از مدل‌سازی وزنی شاهد که تحلیل آماری دو متغیره می‌باشد به لایه‌های حساسیت زمین لغزش برای هر یک از عوامل موثر در زمین لغزش

۲-۵- جمع آوری و آماده سازی داده‌ها

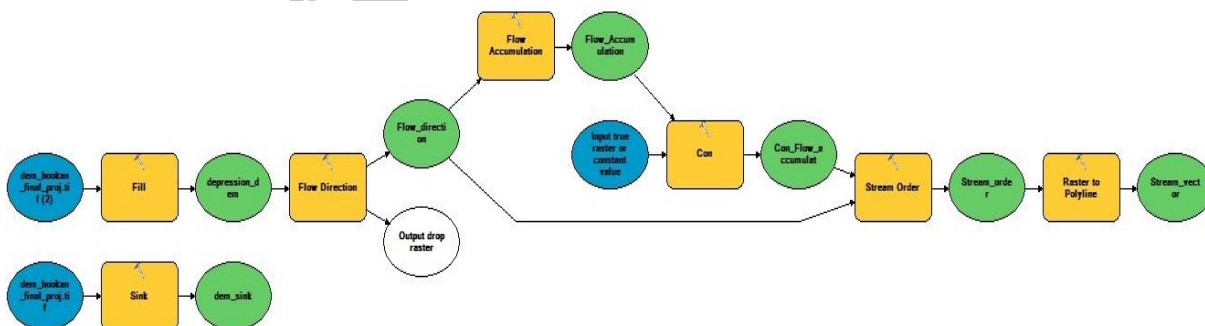
جهت اجرای تحقیق ابتدا لایه های توصیف کننده عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای حوضه آبریز سیمینه رود تهیه شدند.

بدین منظور مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و راههای منطقه از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه برداری کشور با بکارگیری نرم افزار ArcGIS بدست آمد. گسل ها که در ناپایداری دامنه ای تأثیر زیادی دارند نیز از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان (میان‌دوآب، بوکان و مهاباد) استخراج گردید(شکل ۴).



شکل ۴- مدل رقومی ارتفاعی حوضه آبریز سیمینه رود

با استفاده از مدل نشان داده شده در شکل ۵ شبکه نهرها و زهکشی منطقه مورد مطالعه از DEM منطقه استخراج گردید.

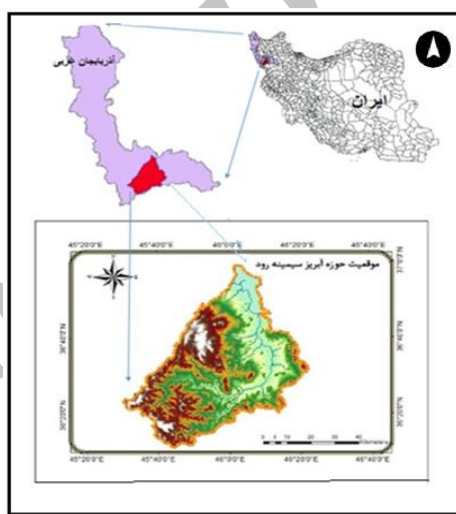


شکل ۵- مدل تحلیلی برای استخراج شبکه زهکش از مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه

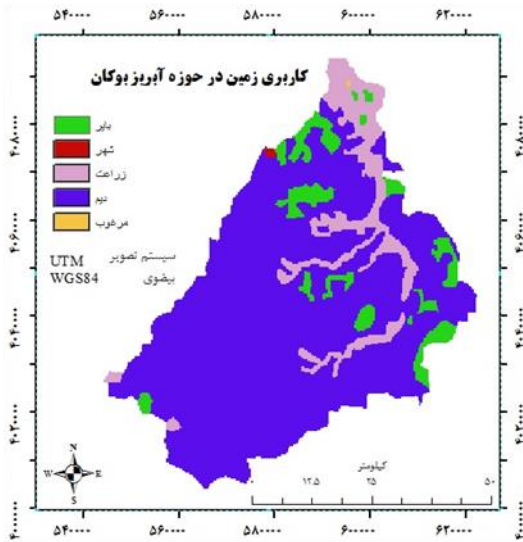
برای انجام این کار با استفاده از ابزار Sink ، نقاط چاه در DEM مشخص گردیده و با استفاده از ابزار Fill این نقاط ترمیم گردیدند. سپس با استفاده از ابزار Flow Direction لایه جهت جاری شدن آب به سمت تندترین شیب از DEM تولید گردید. در ادامه با اعمال ابزارهای

کردستان عراق سرچشمه گرفته و در مسیر خود از دره های شهرستان بوکان (دره کوسه) گذشته و پس از عبور از وسط شهرستان بوکان و دشت حاصلخیز شامات، به باتلاق های جنوب شرقی دریاچه ارومیه می ریزد.

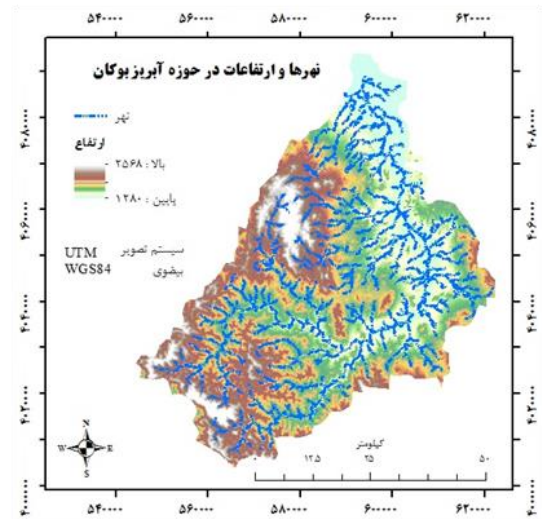
حوضه آبریز سیمینه رود با مساحتی در حدود ۳۲۴۳ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه تا ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است. این منطقه در محدوده بوکان ، با استناد به آمارهای سازمان هواشناسی دارای مقدار متوسط بارندگی طی یک میانگین ۱۰ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) برابر با ۵۵۰ میلی متر در سال بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی حوضه سمینه رود بوکان

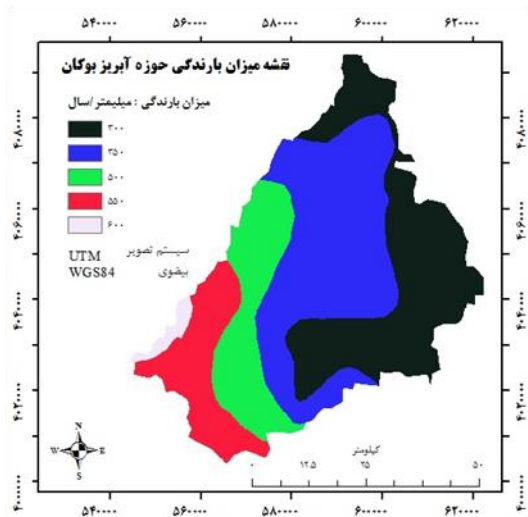


شکل ۸- نقشه کاربری اراضی



شکل ۶- نقشه شبکه زهکشی

لایه بارندگی منطقه مورد مطالعه از داده های سازمان هواشناسی تهیه گردید (شکل ۹).



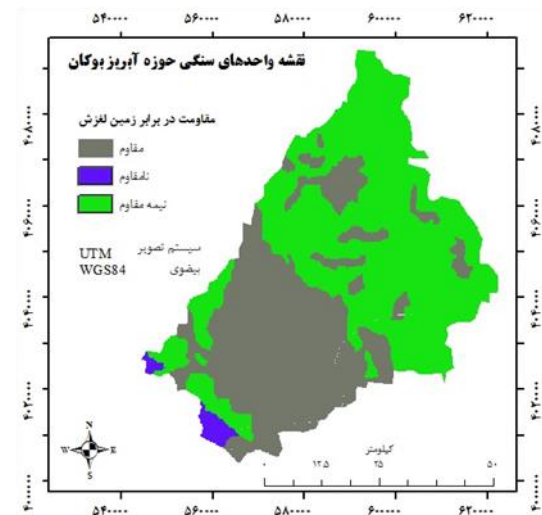
شکل ۹- نقشه بارندگی حوضه آبریز سیمینه رود

۵-۳- مدلسازی و پردازش داده

پردازشهای مختلفی در محیط ArcGIS بر روی لایه های مختلف نشاندهنده عوامل موثر در زمین لغزش انجام گرفت. مدل انجام این پردازشها و تحلیل ها به همراه تولید نقشه قابلیت خطر زمین لغزش در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

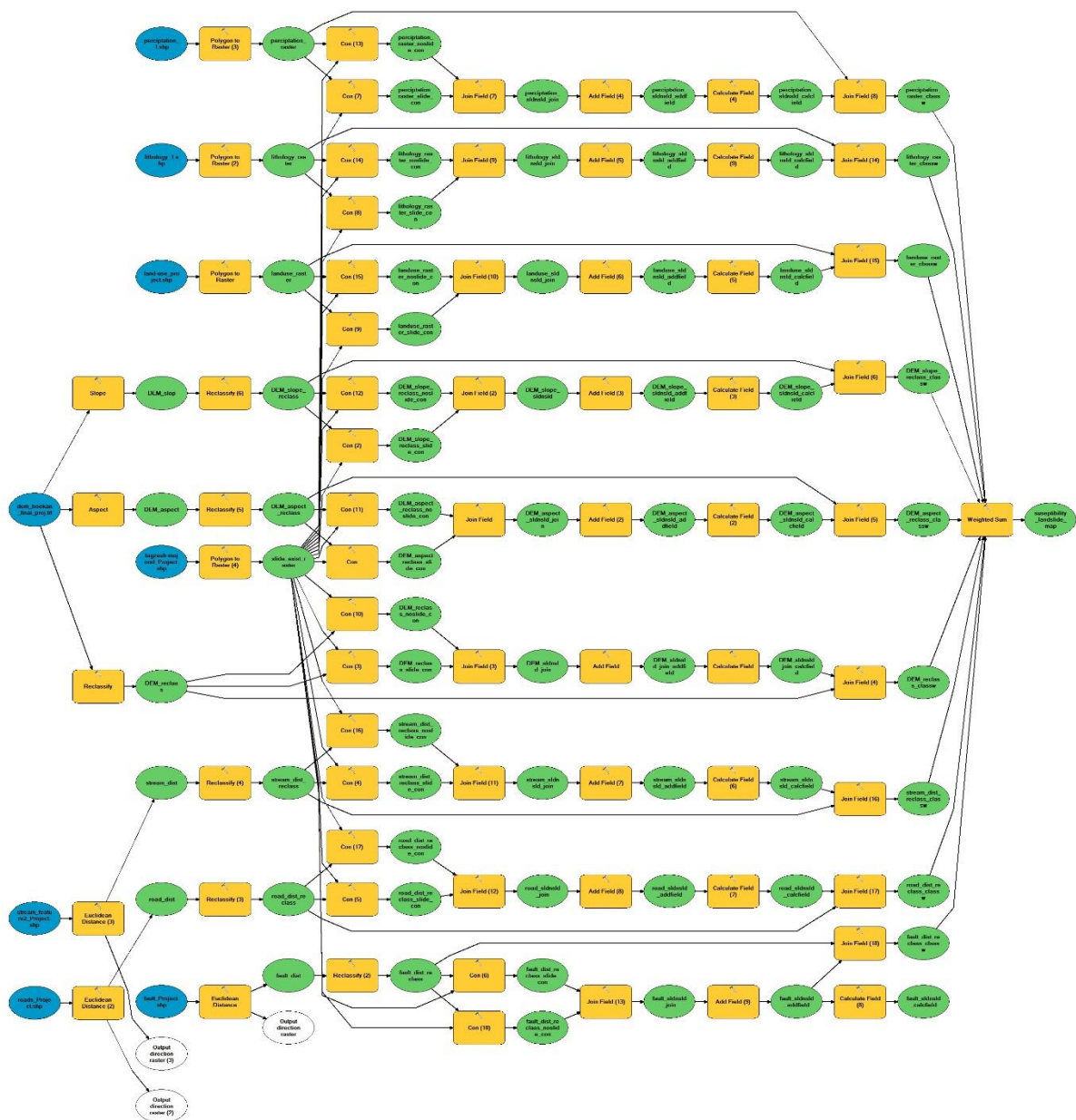
داده های زمین شناسی برای این تحقیق از نقشه های زمین شناسی موجود (بوکان، مهاباد، میاندوآب) که به وسیله سازمان زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منتشر شده با تفکیک واحدهای سنگ شناسی بدست آمد.

برای انجام اینکار تمامی گروه های سنگی در ۳ گروه مقاومتی طبقه بندی گردیدند، که دارای آسیب پذیری های متفاوت نسبت به وقوع زمین لغزش می باشند (شکل ۷).

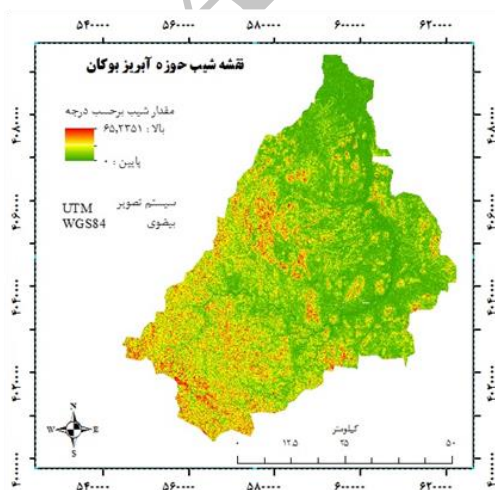


شکل ۷- نقشه واحدهای سنگ شناسی

کاربری زمین منطقه مورد مطالعه با طبقه بندی تصاویر ماهواره ای لندست ETM+ سال ۲۰۰۶ سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردید (شکل ۸).



شکل ۱۰- مدل تحلیلی ایجاد نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از تحلیل آماری دو متغیره و فرآیند سلسله مراتبی



شکل ۱۱- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

لایه های ورودی به این مدل ۷ لایه توصیف کننده عوامل کاربری زمین، واحدهای سنگ شناسی، بارندگی، ارتفاع، راهها، گسلها، نهرها و یک لایه زمین لغزشهای موجود منطقه مورد مطالعه می باشد. ارتفاعات نیز بعنوان یکی از عوامل موثر در خطر زمین لغزش، در کنترل درجه و نوع فرسایش و فعالیت های انسانی نقش بسزایی دارد. برای این منظور DEM منطقه نیز با استفاده از ابزار Reclassify طبقه بندی گردید. از DEM منطقه با اعمال ابزار Slope و Aspect به ترتیب نقشه شیب و نقشه جهت شیب استخراج گردیدند (شکلهای ۱۱ و ۱۲).

Join Field وستون مشترک class (طبقات هر لایه) بهم متصل گردیدند.

برای بدست آوردن وزن های مثبت و منفی حساسیت زمین لغزش هریک از طبقات عوامل موثر، ستون های مختلفی که در شکل ۱۳ نشان داده شده به جدول لایه های متصل شده با استفاده از ابزار Add Field اضافه گردید.

برای محاسبه مقادیر هریک از ستونها ابتدا تعداد پیکسل های هریک از چهار حالت ترکیب هر عامل موثر با زمین لغزش نشان داده شده در جدول ۱ از روابط زیر بدست آمد:

تعداد کل پیکسل ها در لایه n_{layer}

تعداد کل پیکسل های زمین لغزش در لایه n_{slide}

تعداد کل پیکسل ها در طبقه n_{class}

تعداد پیکسل های زمین لغزش در طبقه $n_{slclass}$

$npix1 = n_{slclass}$,

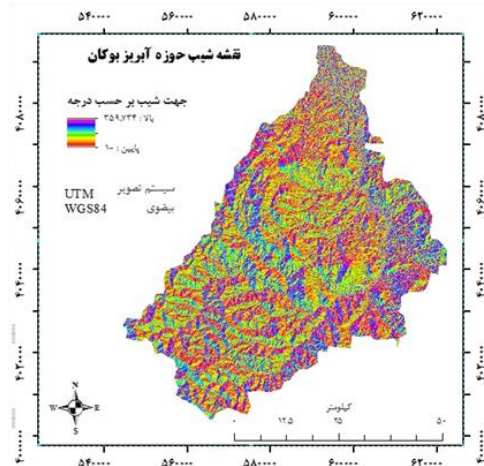
$npix2 = n_{slide} - n_{slclass}$,

$npix3 = n_{class} - n_{slclass}$,

$npix4 = n_{layer} - n_{slide} - n_{class} + n_{slclass}$

با استفاده از روابط ۵ و ۶ وزنه های مثبت و منفی حساسیت زمین لغزش بدست آمد. از رابطه ۷ وزن کلی حساسیت زمین لغزش و از رابطه ۸ نیز ضریب کنتراست با استفاده از ابزار Calculate Field برای هر طبقه محاسبه گردید. نتایج محاسبات در جداول غیر مکانی برای هر لایه مربوط به هر عامل ذخیره گردیدند که جدول ۴ نمونه ای از محاسبات وزن کلی حساسیت زمین لغزش و ضریب کنتراست را برای لایه عامل شیب نشان می دهد.

لایه های اصلی طبقه بندی شده هر عامل شامل لایه های طبقه بندی شده فاصله از گسلها، فاصله از نهرها و فاصله ها از راهها، شیب، جهت شیب، مدل ارتفاعی رقومی و همچنین لایه های بارندگی، کاربری زمین و واحدهای سنگ شناسی که از قبل دارای طبقه بندی بودند، بر اساس ستون مشترک class (طبقات) و با استفاده از ابزار Join Field به جدولی مانند جدول ۴ متصل گردیدند.



شکل ۱۲- نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

لایه های شیب و جهت شیب نیز برای انجام مراحل بعدی با استفاده از ابزار Reclassify طبقه بندی گردیدند.

لایه لیتولوژی نشان دهنده واحدهای سنگ شناسی، لایه کاربری زمین و لایه میزان بارندگی منطقه با استفاده از ابزار Polygon to Raster به لایه های رستری تبدیل گردیدند. (اشکال ۷، ۸ و ۹)

با استفاده از ابزار Euclidean Distance به ترتیب نقشه های فاصله از گسل ها، فاصله از نهرها و فاصله ها از راهها تولید گردیدند. این نقشه ها نیز با استفاده از ابزار Reclassify طبقه بندی گردیدند.

ابزار Con بر روی لایه های ورودی شرطی اعمال می کند و بر اساس درست یا غلط بودن شرط لایه خروجی را تولید می کند. بنابراین لایه های زمین لغزش و بدون زمین لغزش با حضور طبقات مختلف عوامل موثر، با اعمال ابزار Con بر روی لایه های طبقه بندی شده فاصله از گسلها، فاصله از نهرها و فاصله ها از راهها، شیب، جهت شیب، مدل ارتفاعی رقومی و همچنین لایه های بارندگی، کاربری زمین و واحدهای سنگ شناسی که از قبل دارای طبقه بندی بودند و اعمال شرطهای $slide_exist = 1$ و $slide_exist = 0$ تولید گردیدند. لایه های زمین لغزش و بدون زمین لغزش هریک از عوامل موثر با استفاده از ابزار

جدول ۴- نتایج محاسبات وزن کلی حساسیت زمین لغزش و ضریب کنتراست برای عامل شیب

W _{class}	C _w	W ⁻	W ⁺	npix4	npix3	npix2	npix1	کلاس
-۰.۴۲۵۸۶۶	۰.۵۰۵۲۲۵	-۰.۲۲۳۵۷۰	۰.۲۸۱۶۵۵	۳۲۹۱۵۰۰	۲۰۲۶۹۸۶	۴۵۱۰۴	۴۶۰۳۵	۱
-۰.۲۱۷۱۵۱	-۰.۱۲۷۷۹۲	۰.۲۶۶۷۷	-۰.۱۰۱۱۱۵	۳۸۲۰۵۱۷	۱۴۸۷۹۶۹	۶۸۰۹۳	۲۳۰۴۶	۲
-۰.۲۵۲۳۹۹	-۰.۲۲۴۰۴۰	۰.۴۲۳۲۲	-۰.۲۳۰۷۰۸	۴۳۷۵۵۵۸	۹۴۰۹۲۸	۷۸۳۳۷	۱۲۸۰۲	۳
-۰.۴۹۶۶۶۲	-۰.۴۱۷۳۰۳	۰.۲۵۸۶۲	-۰.۳۸۱۴۴۱	۴۷۶۹۳۴۹	۵۴۹۱۱۳۷	۸۴۷۱۳	۶۴۲۶	۴
-۰.۶۷۰۷۹۵	-۰.۵۹۱۴۳۶	۰.۲۰۱۵۱	-۰.۵۷۱۲۸۵	۵۰۸۰۸۴۷	۳۳۷۶۳۹	۸۸۸۳۹	۲۳۰۰	۵
-۱.۰۰۰۰۷۱	-۰.۹۲۱۳۵	۰.۰۷۱۷۸	-۰.۹۱۴۱۷۲	۵۲۵۵۳۰۴	۶۳۱۸۲	۹۰۷۰۵	۴۳۴	۶
-۱.۰۲۵۴۸۰	-۰.۹۴۶۱۲۳	۰.۰۰۱۱۴	-۰.۹۴۴۹۸۳	۵۳۰۸۵۷۷	۹۹۰۹	۹۱۰۷۳	۶۶	۷
-۰.۲۶۳۱۵۴	۰.۳۴۲۵۱۳	-۰.۰۰۰۰۷۳	۰.۳۴۲۴۴	۵۳۱۷۵۳۳	۹۵۳	۹۱۱۱۶	۲۳	۸
۱.۱۰۸۰۴	۱.۱۸۷۴	-۰.۰۰۰۰۳۸	۱.۱۸۷۳۶	۵۳۱۸۴۷	۸۹	۹۱۱۳۴	۵	۹
۱.۸۴۷۱۵	۱.۹۲۶۵۱	-۰.۰۰۰۰۱۹	۱.۹۲۶۴۹	۵۳۱۸۴۶۹	۱۷	۹۱۱۳۷	۲	۱۰

۵-۴- محاسبه وزن اهمیت لایه ها

در این تحقیق برای اولویت بندی عوامل از نظرات ۳ کارشناس که به نوعی با حوضه سیمینه رود آشنایی داشتند استفاده گردید و کلیه عوامل دو به دو با هم مقایسه شدند. یک ماتریس مربعی ۹×۹ بصورت شکل ۱۴ که تعداد سطرها و ستونهای آن به تعداد عوامل موثر در زمین لغزش است تشکیل گردیده و هر یک از المانهای این ماتریس با مقایسه زوجی عوامل بر اساس جدول ۲ همراه با نظر کارشناسی، تعیین گردیدند.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
B	1.0	1.0	3.0	1.0	2.0	3.0	2.0	2.0	4.0
C	1/2	1/3	1.0	3.0	3.0	1.0	5.0	3.0	4.0
D	1.0	1.0	1/3	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	3.0
E	1/2	1/2	1/3	1.0	1.0	3.0	2.0	1.0	3.0
F	1/2	1/3	1.0	1.0	1/3	1.0	2.0	2.0	4.0
G	1/2	1/2	1/5	1.0	1/2	1/2	1.0	3.0	1.0
H	1/2	1/2	1/3	1/2	1.0	1/2	1/3	1.0	3.0
I	1/3	1/4	1/4	1/3	1/3	1/4	1.0	1/3	1.0

شکل ۱۴- مقایسه زوجی عوامل موثر در زمین لغزش

این عوامل موثر به ترتیب آورده شده در ماتریس مقایسه زوجی عبارتند از فاصله تا راه (A)، شیب (B)، جهت شیب (C)، ارتفاعات (D)، لیتولوژی (E)، کاربری اراضی (F)، فاصله تا رودخانه (G)، فاصله تا گسل (H) و بارندگی (I). برنامه ای به زبان Python که یکی از زبانهای برنامه نویسی بسته نرم افزاری ArcGIS است، برای محاسبه وزن اهمیت لایه ها و تعیین نسبت سازگاری ماتریس بر اساس روابط ذکر شده در بخش روش تحلیل سلسله مراتبی توسعه داده شد.

همانطور که این ماتریس هم نشان میدهد، ماتریس مقایسه زوجی یک ماتریس مربعی است و اعضای قطر اصلی آن ۱ است و مقدار عضو سطر i ام، ستون j ام عکس مقدار عضو سطر j ام، ستون i ام می باشد.

در نتیجه اجرای این برنامه برای عوامل موثر فاصله تا راه مقدار وزن ۰،۱۵۷۰۷۷، شیب مقدار وزن ۰،۱۸۷۵۱۱، جهت شیب مقدار وزن ۰،۱۷۳۴۷۲، ارتفاعات (مقدار وزن ۰،۱۱۰۹۳۸، لیتولوژی مقدار وزن ۰،۱۰۴۱۹۴، کاربری اراضی مقدار وزن ۰،۰۹۶۳۹۶، فاصله تا رودخانه مقدار وزن ۰،۰۷۱۰۰۱، فاصله تا گسل مقدار وزن ۰،۰۶۲۹۷۸ و بارندگی مقدار وزن ۰،۰۳۶۴۳۵ محاسبه گردید.

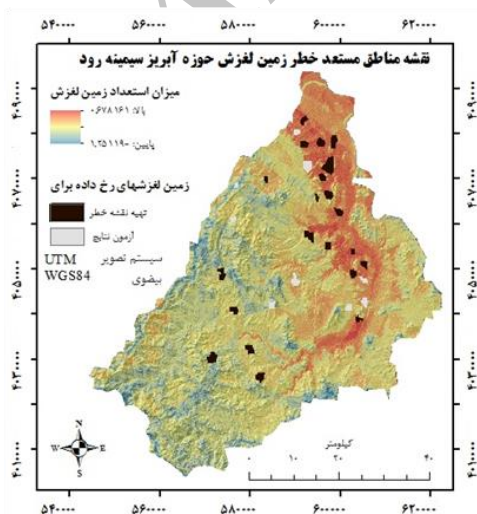
۵-۵- همپوشانی لایه ها

لایه های طبقه بندی شده فاصله از گسلها، فاصله از نهرها، فاصله ها از راهها، شیب، جهت شیب، مدل ارتفاعی رقومی، بارندگی، کاربری زمین و واحدهای سنگ شناسی متصل شده به جداول دارای ستون وزن کلی حساسیت زمین لغزش بر اساس رابطه ۹ و به نسبت وزن اهمیت هر لایه با هم ترکیب می شوند. وزن مورد استفاده در این رابطه، وزن اهمیت هر یک از لایه ها می باشد که از روش AHP حاصل گردیده اند. بنابراین ترکیب لایه های وزن های حساسیت زمین لغزش حوضه آبریز سیمینه رود بصورت زیر بیان می گردد.

$$S_i = 0.1735*aspect + 0.0364*precipitation + 0.1109*DEM + 0.0630*distancToFault + 0.0710*distancToStream + 0.1571*disancToRoad + 0.0964*landuse + 0.1042*lithology + 0.1892*slope ()$$

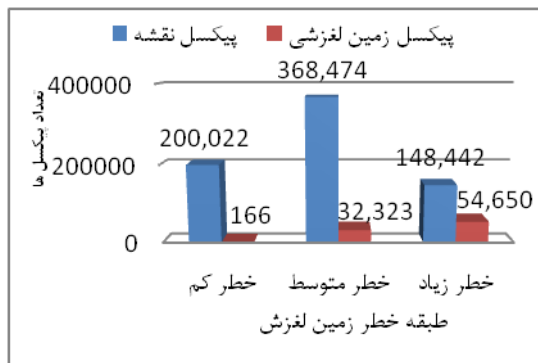
رابطه فوق با استفاده از ابزار Weighted Sum، لایه های حساسیت زمین لغزش عوامل موثر در حوضه آبریز سیمینه رود را باهم ترکیب نموده تا نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش تولید گردد. این نقشه در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.

نقشه نمایش داده شده در شکل ۱۵ با استفاده از ابزار Reclassify به سه طبقه خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد طبقه بندی گردید که نقشه در شکل ۱۶ نشان داده شده است. محدوده طبقه ها طوری تنظیم شد که اکثر زمین لغزشهای رخ داده شده مورد استفاده برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر در طبقه با خطر بالا قرار گیرند.



شکل ۱۵- نقشه خطر زمین لغزش حوضه آبریز سیمینه رود

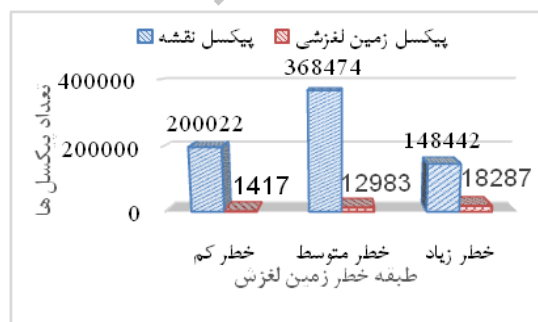
همانطوریکه نمودار شکل ۱۷ نشان می دهد از ۹۱۱۳۹ پیکسل زمین لغزشی موجود مورد استفاده برای تهیه نقشه تعداد ۵۴۶۵۰ پیکسل زمین لغزشی در طبقه خطر زیاد قرار دارد. عبارت دیگر ۶۰٪ پیکسل های زمین لغزشی بوسیله ۲۸٪ پیکسلهای نقشه پیش بینی می گردند.



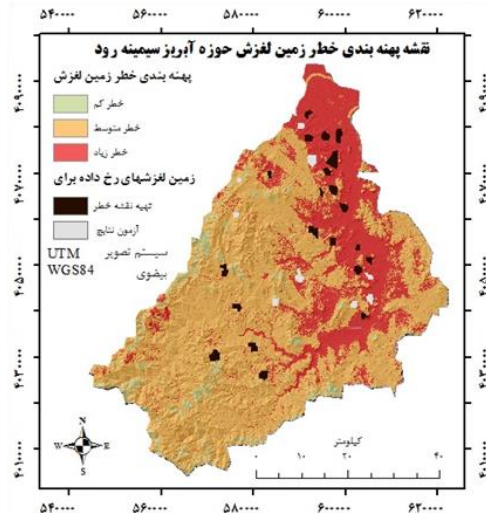
شکل ۱۷- تعداد پیکسلهای زمین لغزشی رخ داده در طبقه های نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز سمینه رود

تراکم زمین لغزش در طبقه خطر زیاد در حدود ۳۷٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۳۷ پیکسل زمین لغزشی)، در طبقه خطر متوسط ۸٫۸٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۸٫۸ پیکسل زمین لغزشی)، و در طبقه خطر کم ۰٫۸۳٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۰٫۸۳ پیکسل زمین لغزشی)، می باشد.

میزان پیش بینی نقشه حساسیت زمین لغزش با زمین لغزشهای رخ داده که برای ارزیابی نتایج از فهرست زمین لغزشهای منطقه مورد مطالعه کنار گذاشته شده اند مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. آمار این زمین لغزشها در نمودار شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانطوریکه این نمودار نشان می دهد، از تعداد ۳۲۶۸۷ پیکسل زمین لغزشی ۱۸۲۸۷ پیکسل (۵۶٪) در طبقه خطر زیاد قرار گرفته و بوسیله ۲۸٪ کل پیکسلهای نقشه پیش بینی می گردند.



شکل ۱۸- تعداد پیکسلهای زمین لغزشی ارزیابی نتایج در طبقه های نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز سمینه رود



شکل ۱۶- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز سمینه رود

۶- مقایسه و ارزیابی نتایج

همانطور که محاسبات وزن اهمیت در فرایند AHP نشان داد، وزن اهمیت عوامل شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، ارتفاعات، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و بارندگی به ترتیب ۰٫۱۸۷۵، ۰٫۱۷۳۵، ۰٫۱۵۷۱، ۰٫۱۱۰۹، ۰٫۱۰۴۲، ۰٫۰۹۶۴، ۰٫۰۷۱۰، ۰٫۰۶۳۰، ۰٫۰۳۶۴ می باشد که شیب دارای بیشترین وزن است و بیشترین تأثیر را در میان عوامل موثر در پهنه بندی زمین لغزش دارد و بارندگی با کمترین وزن، کمترین تأثیر را در میان عوامل موثر در زمین لغزش دارا می باشد.

در طول اجرای برنامه محاسبه وزن لایه ها، ماتریس مقایسه ۲۴ بار در خودش ضرب شده تا اختلاف بین وزنهای بدست آمده از مرحله قبل با وزن های بدست آمده در مرحله بعدی به صفر برسد. باتوجه به جدول ۳ که مقدار شاخص سازگاری تصادفی برای ماتریس مقایسه زوجی ۹ در ۹ مقدار ۱٫۴۵ می باشد، مقادیر شاخص سازگاری و نسبت سازگاری به ترتیب ۰٫۱۳۳۰۶۸ و ۰٫۰۹۱۷۷۱ بدست آمدند. مقدار نسبت سازگاری در این حالت کمتر از ۰٫۱ بوده و نشان دهنده قابل قبول بودن ماتریس مقایسه زوجی و وزنهای محاسبه شده برای عوامل موثر می باشد.

توان پیش بینی نقشه وزنی حساسیت زمین لغزش از طریق تحلیل میزان موفقیت و میزان پیش بینی آن می تواند مورد آزمون قرار گیرد. میزان موفقیت نقشه می تواند از طریق طبقه بندی پیکسلهای نقشه حساسیت و تحلیل سازگاری مکانی بین نقشه حاصل شده و زمین لغزش های رخ داده مورد استفاده در تولید نقشه محاسبه گردد.

ترکیب لایه ها منجر به نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه آبخیز سیمینه رود شد.

۷-۲- نتایج تحقیق

همانطور که محاسبات وزن اهمیت در فرایند AHP نشان داد، شیب دارای بیشترین وزن در میان عوامل موثر در لغزش است و بارندگی با کمترین وزن، کمترین تأثیر را در میان عوامل موثر در زمین لغزش دارا می باشد.

بعلاوه نتایج تحقیق نشان می دهد که حدود ۶۰٪ پیکسلهای زمین لغزش رخ داده مورد استفاده در تهیه نقشه در طبقه خطر زیاد قرار گرفته و از هر ۱۰۰ پیکسل این طبقه ۳۷ پیکسل زمین لغزشی می باشند که نشان دهنده میزان موفقیت نقشه پهنه بندی می باشد. همچنین برآورد میزان پیش بینی نقشه با استفاده از زمین لغزشهای به تصادف انتخاب شده برای ارزیابی نتایج نشان داد که حدود ۵۶٪ پیکسلهای زمین لغزش در طبقه خطر زیاد نقشه پهنه بندی قرار می گیرند که نشاندهنده نرخ پیش بینی نقشه می باشد.

۷-۳- پیشنهاد برای تحقیق آتی

برای اغلب مسائل مکانی مورد علاقه، دانش فرد خبره با واژگانی مثل نزدیکی به عارضه، یا عباراتی شامل "گاهی اوقات" یا "ممکن است" بیان می شود. با توجه به اینکه این عبارات معنایی مفید و نادقیق نیز در پهنه بندی خطر زمین لغزش توسط فرد خبره بکار می رود، بنابراین امکان تحقیق در مورد استفاده از منطق فازی در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش وجود دارد.

تراکم زمین لغزش ها بر اساس نمودار شکل ۱۸ در طبقه خطر زیاد در حدود ۱۲٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۱۲ پیکسل زمین لغزشی)، در طبقه خطر متوسط ۳٫۵٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۳٫۵ پیکسل زمین لغزشی)، و در طبقه خطر کم ۰٫۸۳٪ (از هر ۱۰۰ پیکسل ۰٫۷ پیکسل زمین لغزشی)، می باشد.

۷- خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- خلاصه

در این مقاله پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود بونکا با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی ارائه شده است.

پس از شناسایی عوامل موثر در زمین لغزش منطقه مورد مطالعه لایه های مکانی توصیف کننده این عوامل موثر تولید گردیدند. سپس برای آماده سازی لایه های مکانی پردازشهای مختلفی از قبیل تولید شیب و جهت شیب، تولید فاصله و طبقه بندی بر روی این لایه ها انجام گرفت.

از مدلسازی وزن های شاهد برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش که یک تحلیل دو متغیره آماری می باشد استفاده گردید.

لایه های طبقه بندی شده عوامل موثر که به جداول دارای ستون وزن کلی حساسیت زمین لغزش متصل شده با هم ترکیب شدند. وزن اهمیت هر لایه با استفاده از روش AHP حاصل گردیده و در ترکیب لایه ها بکار رفتند.

مراجع

- [1] Emrehan, K. S., Cengizhan, I. and Taskin, K. (2015). "A Comparison of Feature and Expert-Based Weighting Algorithms in Landslide Susceptibility Mapping." *Procedia Earth and Planetary Science* 15 (2015), 462-467.
- [2] Omar, F. Althwaynee, Biswajeet, P. and Noordin A. (2014). "Landslide susceptibility mapping using decision-tree based CHI-squared automatic interaction detection (CHAID) and Logistic regression (LR) integration." *7th International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 20 (2014) 012032. Doi: 10.1088/1755-1315/20/1/012032.
- [3] Dai, F.C. And Lee, C.F. (2002). "Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island.", *Hong Kong, Geomorphology*. 42 (2002), 213– 228.
- [4] Capitani M., Ribolini A. and Bini, M. (2014). "The slope aspect: A predisposing factor for landsliding?" *C. R. Geoscience*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2013.11.002>.
- [5] Behniafar, A., Mansouri Daneshvar, M.R, and Kahrobaeyan, P. (1389). "Application of AHP Model and Fuzzy Logic in Landslide Hazard Zonation Case Study: Farizi Chachment." *Journal of Natural Geography*. Vol. , No. 9, PP. .

- [6] Tolabi, S., Abedini, M. and Farhadinejad, T. (1392). "Landslide Hazard Zonation Using AHP Method and EC and GIS Softwares (Case Study: Nojian Catchment.)" The first National Virtual Geoscience Conference, Orumiyeh, http://www.civilica.com/Paper-GEOCKU01-GEOCKU01_082.html.
- [7] Amirahmadi, A., Kamrani-Dalir, H. and Sadeghi, M. (1389). "Landslide Hazard Zonation Using AHP Method (Case Study: Chelaw-Amol Catchment.)" *Journal of Geography*. 8, 27, 181-203.
- [8] Abedini, M. and Ghasemiyan, B. (1394). "Landslide Hazard Zonation in Bigar City with AHP Method" *Journal of Geography*. 19, 52, Summer, 205-227.
- [9] Pourghasemi, H., Moradi, H., Mohammadi, M., Mostafazadeh, R. and Goljirandeh, A. (1391). "Landslide Hazard Zonation Using Beyzin Theory." *Journal of Agriculture and Natural Resource Science and Technology, Water and Soil Science*. year of 16th, 62,(1391), Winter.
- [10] Kornejadi, A. Onagh, M. and Saadodin, A. (1394). "Landslide Hazard Zonation and Damage Case Study: Ziyarat Catchment in Golestan Province." *Journal of Emergency Management*. 51, 7, Spring and Summer of 1394.
- [11] Bonham-Carter, G.F. (1994). "Geographic Information Systems for Geoscientists. Modelling with GIS." *Computer Methods in the Geosciences*. 13, pp 267- 302. Pergamon.
- [12] Richard L. Church and Alan T. Murray. (2009). "Business Site Selection, Location Analysis, and GIS." ISBN 978-0-470-19106-4, John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Saaty, T. L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process." New York, McGraw-Hill International.

Archive of SID